

**ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СИСТЕМ**

**Материалы
Всероссийской конференции
с международным участием**

Москва, РУДН, 20–24 апреля 2015 года

УДК 004:007(063)

ББК 32.81

И74

Организаторы конференции: Российский университет дружбы народов;

Московский технический университет связи и информатики;

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук;

Лаборатория информационных технологий Объединённого института ядерных исследований.

Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 15-07-20169.

Программный комитет: Башарин Г. П., д.т.н., проф., РУДН; Боголюбов А. Н., д.ф.-м.н., проф., МГУ; Виноцкий С. И., д.ф.-м.н., проф., ЛТФ ОИЯИ; Вишневский В. М., д.т.н., проф., НПФ «ИНСЕТ»; Гайдамака Ю. В., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Гнатич М. М., проф., University P.J. Safarik, Kosice, Словакия; Гольдштейн Б. С., д.т.н., проф., СПб ГУТ; Гудкова И. А., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Дружинина О. В., д.ф.-м.н., проф., ВЦ (ФИЦ ИУ РАН); Ефимушкин В. А., к.ф.-м.н., доцент, ОАО «Интеллект Телеком»; Кореньков В. В., д.т.н., проф., ЛИТ ОИЯИ; Крынев А. В., д.ф.-м.н., проф., НИЯУ «МИФИ»; Кулябов Д. С., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Кучерявый А. Е., д.т.н., проф., СПб ГУТ; Кучерявый Е. А., проф., Tampere University of Technology, Финляндия; Ланеев Е. Б., д.ф.-м.н., проф., РУДН; Мартикайнен О. Е., проф., Service Innovation Research Institute, Финляндия; Наумов В. А., проф., Service Innovation Research Institute, Финляндия; Осипов Г. С., д.ф.-м.н., проф., ИСА (ФИЦ ИУ РАН); Пузынин И. В., д.ф.-м.н., проф., ЛИТ ОИЯИ; Пшеничников А. П., к.т.н., проф., МТУСИ; Ромашкова О. Н., д.т.н., проф., МГПУ; Самуилов К. Е., д.т.н., проф., РУДН; Севастьянов А. Л., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Севастьянов Л. А., д.ф.-м.н., проф., РУДН; Степанов С. Н., д.т.н., проф., ОАО «Интеллект Телеком»; Стрельцова О. И., к.ф.-м.н., с.н.с., ЛИТ ОИЯИ; Толмачев И. Л., к.ф.-м.н., проф., РУДН; Хачунов В. М., д.т.н., проф., ИСА (ФИЦ ИУ РАН); Цирулев А. Н., д.ф.-м.н., проф., ТвГУ; Цитович И. И., д.ф.-м.н., доцент, ИПИ РАН; Шоргин С. Я., д.ф.-м.н., проф., ИПИ ФИЦ ИУ РАН; Щетинин Е. Ю., д.ф.-м.н., проф., СТАНКИН.

Оргкомитет:

Председатель: Самуилов К. Е., д.т.н., профессор, РУДН.

Сопредседатели: Севастьянов Л. А., д.ф.-м.н., проф., РУДН; Толмачёв И. Л., к.ф.-м.н., профессор, РУДН.

Учёный секретарь: Острикова Д. Ю., РУДН

Члены оргкомитета: Никитина Е. В., к.х.н., зам. декана РУДН; Гайдамака Ю. В., к.ф.-м.н., доцент, РУДН;

Гудкова И. А., к.ф.-м.н., РУДН; Демидова А. В., РУДН; Диваков Д. В., РУДН; Королькова А. В., к.ф.-м.н.,

РУДН; Кулябов Д. С., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Масловская Н. Д.; РУДН Соченков И. В., к.ф.-м.н., РУДН;

Таланова М. О., РУДН.

Секции:

Теория телеграфика и ее применения

Сопредседатели: д.т.н., проф. Башарин Г. П. (РУДН), к.т.н., проф. Пшеничников А. П. (МТУСИ), к.ф.-м.н.

Гудкова И. А. (РУДН).

Секретарь: Масловская Н. Д. (РУДН).

Сети связи следующего поколения: управление, качество, архитектура

Сопредседатели: д.т.н., проф. Самуилов К. Е. (РУДН), д.т.н., проф. Вишневский В. М. (НПФ),

к.ф.-м.н., доцент Гайдамака Ю. В. (РУДН).

Секретарь: Таланова М. О. (РУДН)

Прикладные информационные системы

Сопредседатели: проф. Осипов Г. С., ИСА (ФИЦ ИУ РАН), проф. Толмачев И. Л. (РУДН).

Секретарь: к.ф.-м.н. Соченков И. В. (РУДН).

Высокопроизводительные технологии распределенных вычислений

Сопредседатели: д.т.н., проф. Кореньков В. В. (ЛИТ ОИЯИ), к.ф.-м.н., доцент Кулябов Д. С. (РУДН).

Секретарь: к.ф.-м.н. Королькова А. В. (РУДН).

Математическое моделирование

Сопредседатели: д.ф.-м.н., проф. Севастьянов Л. А. (РУДН), д.ф.-м.н., проф. Крынев А. В. (НИЯУ

«МИФИ»), д.ф.-м.н., проф. Дружинина О. В., ВЦ (ФИЦ ИУ РАН).

Секретари: Демидова А. В. (РУДН), Диваков Д. В. (РУДН).

И74

Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, РУДН, 20–24 апреля 2015 г. — Москва : РУДН, 2015. — 331 с. : ил.

ISBN 978-5-209-06416-9

УДК 004:007(063)

ББК 32.81

© Коллектив авторов, 2015

© Российский университет дружбы народов, Издательство, 2015

Содержание

Теория телетрафика и её применения

| | |
|---|----|
| Бородакий В. Ю., Гудкова И. А., Острикова Д. Ю., Харин П. А. Применение СМО с групповым обслуживанием для анализа восстановления файлов в сети LTE по технологии мультимедиа | 9 |
| Горбунова А. В., Зарядов И. С. Анализ системы массового обслуживания с двумя входящими потоками и вероятностным сбросом | 12 |
| Гудкова И. А., Власкина А. С., Семенова О. В., Норкина М. А. К анализу среднего времени выполнения бизнес-процесса методами теории массового обслуживания и имитационного моделирования | 15 |
| Ефимов В. И. СМО с групповым пуассоновским входящим потоком и инверсионной вероятностной дисциплиной обслуживания | 18 |
| Ибрагимов Б. Г., Гусейнов Ф. И. Исследование и анализ показателей качества функционирования систем сигнализации | 21 |
| Калинина К. А. Об эффективной пропускной способности узлов коммуникационной сети | 24 |
| Кутбитдинов С. Ш., Лохмотко В. В. Толерантные к перегрузкам аппроксимации функций задержки пакета для моделирования IP сетей | 27 |
| Маркова Е. В., Гудкова И. А. Анализ средней скорости передачи трафика мультимедиа в сети LTE со схемой адаптивного управления доступом | 30 |
| Масловская Н. Д., Ахулу Ф., Гие Душ Рамуш Р. Д. Анализ вероятности блокировки облачного центра обработки данных с ненадежными виртуальными машинами | 33 |
| Мокров Е. В., Андреев С. Д., Пономаренко-Тимофеев А. А., Коротков С. В., Жавнис Р. С. Имитационная модель для анализа производительности соты сети LTE с технологией временного выделения диапазона частот (LSA) | 35 |
| Наумов В. А., Мартикайнен О. Е. О применении формулы Линдли к анализу колонн автомобилей | 38 |
| Наумов В. А., Самуйлов К. Е., Сопин Э. С. Об инвариантности системы с ограниченными ресурсами относительно распределения времени обслуживания | 41 |
| Обжерин Ю. Е., Сидоров С. М. Полумарковские модели многофазных систем с промежуточными накопителями | 44 |
| Поляницев В. Д. Системы массового обслуживания с обновлением, функционирующие в дискретном времени | 47 |
| Потахина Л. В. Регенеративный метод в анализе стационарности телекоммуникационных систем | 50 |
| Русина Н. В. Алгоритм расчета вероятно-временных характеристик модели передачи трафика в фрагменте WDM-TDMA PON | 53 |
| Степанов М. С. Косвенная оценка параметров и характеристик обобщенной модели контакт-центра | 56 |
| Щербанская А. А., Зарядов И. С. Числовые характеристики системы с вероятностным обновлением и повторным обслуживанием | 59 |

Сети связи следующего поколения: управление, качество, архитектура

| | |
|--|-----|
| Абаев П. О., Бесчастный В. А. Построение и анализ модели SIP-сервера с резервированием и пороговым управлением | 62 |
| Абаев П. О., Зарипова Э. Р., Исхоков Д. С., Синицын И. Э. О задаче управления маршрутизацией потоков трафика межмашинного взаимодействия в сети LTE | 65 |
| Агаларханов Б. А. О чувствительности характеристик надежности дублированных систем передачи данных к виду функции распределения времени безотказной работы их элементов. | 67 |
| Андреев С. Д., Пономаренко-Тимофеев А. А., Гудкова И. А., Мокров Е. В. Имитационная модель схемы реализации технологии LSA для аэропорта и мобильного оператора | 70 |
| Антонова В. М., Цирик И. А. Имитационная модель передачи разноскоростного трафика в соте сети LTE | 73 |
| Берсенеv Г. Б., Петрусевич Ю. А. Разработка и исследование дуальной сетевой системы контроля знаний на основе масштабируемых тестов | 76 |
| Бутурлин И. А., Першаков Н. В., Чукарин А. В. Алгоритм решения многокритериальной задачи оптимизации радиоресурсов соты сети LTE для мультисервисного M2M трафика | 79 |
| Вишневский В. М., Ларионов А. А. Исследование выходного потока многофазной системы массового обслуживания с входящим MAP-потокoм и кросс-трафиком. | 82 |
| Гайдамака Ю. В., Васильев И. Ю., Магамадов Р. С. Имитационная модель оптимизации стратегии выбора соседей в потоковой одноранговой сети | 85 |
| Гудкова И. А., Острикова Д. Ю., Гурков С. А., Андреев С. Д., Пономаренко-Тимофеев А. А. Модель для анализа распределения нагрузки между постоянным и временным диапазонами частот в сети LTE | 88 |
| Дорт-Гольц А. А. Оптимальный сбор данных сенсорной сети с применением беспилотных летательных аппаратов | 91 |
| Коновалов М. Г., Разумчик Р. В. Об оптимальном распределении заявок фиксированной длины в гетерогенных системах с параллельным детерминированным обслуживанием | 94 |
| Кучерявый Е. А., Андреев С. Д., Молчанов Д. А., Гайдамака Ю. В., Самуйлов А. К., Этезов Ш. А. Формализация задачи оценки качества сигнала при взаимодействии устройств в беспроводной сети с учетом интерференции | 96 |
| Медведева Е. Г., Гайдамака Ю. В., Агеев К. А. К анализу параметров качества передачи одноканального потокового трафика в одноранговой сети | 99 |
| Мионов Ю. Б., Бужин И. Г. Моделирование работы протокола JET в полностью оптической сети OBS | 103 |
| Острикова Д. Ю., Дзантиев И. Л., Андреев С. Д., Пономаренко-Тимофеев А. А., Самарев Р. С., Гашев Д. В. К расчету среднего числа пользователей, ожидающих возобновления обслуживания, в сети LTE с технологией LSA | 105 |
| Разумчик Р. В. Алгебраический метод нахождения стационарного распределения очереди в многоканальной системе конечной емкости с упорядоченным входом | 108 |

| | |
|---|-----|
| Самуйлов А. К., Бегишев В. О., Ковальчуков Р. Н. Расчет интерференции при взаимодействии беспроводных устройств в квадратных кластерах | 110 |
| Скляр И. Б. Модель системы облачных вычислений с групповым поступлением заявок | 113 |
| Сопин Э. С., Вихрова О. Г. К анализу показателей качества обслуживания в современных беспроводных сетях | 116 |

Прикладные информационные системы и технологии

| | |
|--|-----|
| Абрамов Н. С. Управление видеокамерой беспилотных летательных аппаратов. | 119 |
| Абрамов Н. С., Шишкин О. Г. Архитектура системы мониторинга состояния космического аппарата | 122 |
| Андрейчук А. А. Jump Point Search - алгоритм эвристического поиска пути на графе особой структуры | 125 |
| Ермакова Т. Н., Ромашкова О. Н. Объединенная информационная модель управления образовательным комплексом. | 128 |
| Жантемирова А. Ш. Обзор методов формализации и представления знаний и онтологий | 131 |
| Занг Н. Т. Оптимизация применения модели N-грамм в выявлении плагиата | 134 |
| Илюкович-Страковская А. М. Методы обработки категориальных признаков в задачах классификации данных. | 137 |
| Исаев А. А., Новикова Г. М. Проектирование информационной базы для системы управления ТОРО | 140 |
| Казёнова Н. С., Новикова Г. М. Подход к проектированию системы мониторинга производственных процессов | 143 |
| Кузнецов Е. А., Фомин М. Б. Реклассификация данных в многомерных информационных системах | 146 |
| Люлько О. Ю. Эвристический поиск в пространстве состояний. Алгоритм A* | 149 |
| Люляева Д. Д. Методы и алгоритмы эвристического поиска на графах особой структуры. Алгоритм Basic Theta* | 152 |
| Малютина Т. В. Обзор фундаментальных онтологий | 155 |
| Меняшина А. Ю., Козлова М. И., Трофимова Н. А., Толмачев И. Л. О технологии функционирования процессов, сопровождающих подготовку специалистов в рамках системы управления движением документов | 158 |
| Молодченков А. И., Шелманов А. О. Основные методы гибридного алгоритма автоматизированного построения медицинских технологических карт. | 161 |
| Молодченков А. И., Суворов Р. Е., Шелманов А. О. Удалённый мониторинг состояния здоровья пациентов | 164 |
| Нгуен З. Т. Обзор и анализ методов распознавания лиц | 167 |
| Неверов М. П., Змеев Д. О. Разработка системы учёта компьютерного оборудования и программного обеспечения на основе IC | 170 |
| Позняк К. С. Моделирование процессов управления цепочками поставок | 173 |

| | |
|--|-----|
| Хейдари М. Концептуальная объектно-ориентированная многомерная модель | 176 |
| Хромов Н. А. Разработка алгоритмов, структур данных и программных средств для поиска изображения по визуальному подобию | 179 |
| Черчик К., Толмачев И. Л. К вопросу о движении документа | 181 |
| Ядринцев В. В. Средства формирования тезауруса на основе сбора и извлечения данных из энциклопедии «Википедия» | 184 |

Высокопроизводительные технологии распределённых вычислений

| | |
|--|-----|
| Адам Г., Беляков Д. В., Валя М., Зрелов П. В., Кореньков В. В., Матвеев М. А., Подгайный Д. В., Стрельцова О. И. Гетерогенный кластер HybriLIT: структура и назначение | 187 |
| Вальова Л., Галактионов В. В., Голубь Д. С., Заикина Т. Н., Киракосян М. Х., Приходько А. В., Горосян Ш. Г. Информационная поддержка пользователей гетерогенного кластера HybriLIT | 190 |
| Зуев М. И., Александров Е. И., Земляная Е. В., Подгайный Д. В., Стрельцова О. И. Тестирование GPU-составляющей гетерогенного кластера HybriLIT | 192 |
| Мусаев В. К. Математическое моделирование волн напряжений в задаче Лэмба при сосредоточенном вертикальном воздействии в виде функции Хевисайда | 196 |
| Самойлов С. Н., Суцев Т. С., Дикова Е. В., Стародубцев В. В., Куранцов О. В. Моделирование защиты окружающей среды от взрывных воздействий на набережной речного порта с заполненным водным объектом с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. | 199 |
| Синячкин А. Ю., Петров М. А., Ершов Н. М. Инструментальная среда низкоуровневого моделирования на основе стохастических блочных клеточных автоматов | 202 |
| Суцев Т. С., Дикова Е. В., Самойлов С. Н., Стародубцев В. В., Сергунов А. Б. Моделирование безопасности окружающей среды при нестационарных ударных воздействиях на фундамент машины с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В.К. | 205 |
| Храбров Р. Н. Особенности симуляции жидкости в моделях на базе PhysX | 208 |

Математическое моделирование

| | |
|---|-----|
| Аль-Натор М. С., Аль-Натор С. В. Однопериодные портфельные сделки с комиссией в условиях неопределенности | 210 |
| Аль-Натор С. В., Мальцева Т. А. Построение универсальной модели прогнозирования финальных потерь по портфелю однородных ссуд коммерческого банка | 213 |
| Аль-Натор М. С., Павлюк О. И. Методы оптимизации ожидаемой полезности инвестиционного портфеля | 216 |
| Амирханов И. В., Саркар Н. Р., Сархадов И. С., Тухлиев З. К., Шарипов З. А. Исследование свойств квазистационарных состояний в двухбарьерной открытой яме | 219 |
| Амирханов И. В., Саркар Н. Р., Сархадов И. С., Тухлиев З. К., Шарипов З. А. Исследование тепловых процессов в материалах, описываемых параболическими и гиперболическими уравнениями | 222 |
| Бочкарев В. В., Крянев А. В., Устинова Ю. Г., Ханбикова Д. Т. Схема ранжирования ядерно- и радиационно опасных объектов с использованием нечетких чисел | 225 |

| | |
|---|-----|
| Будочкина С. А. Симметрии уравнений и связанные с ними алгебраические структуры | 228 |
| Буурулдай А. Э., Шорохов С. Г. Построение дельта- и гамма-нейтральных портфелей опционов | 230 |
| Вальда Васкес Л. Реализация алгоритмов AQM в ns-3 | 232 |
| Васильев С. А., Болотова Г. О., Урусова Д. А. Построение асимптотических решений бесконечных систем нелинейных дифференциальных уравнений с малым параметром и неоднородные счетные цепи Маркова | 235 |
| Васильев С. А., Канзитдинов С. К., Коршок Е. О. Построение асимптотических решений сингулярно возмущенных стохастических дифференциальных уравнений бесконечного порядка | 236 |
| Васильев С. А., Полежаева И. С. Построение асимптотического решения краевой задачи для уравнения Кадышевского с периодическими краевыми условиями | 238 |
| Велиева Т. Р. Моделирование управляющего модуля маршрутизатора типа RED на GNS3 | 239 |
| Вельможный Д. Э. О выборе и внедрении DLP-системы | 242 |
| Геворкян М. Н., Кулябов Д. С., Севастьянов Л. А., Егоров А. Д. Обзор стохастических методов Рунге-Кутты | 245 |
| Герасимов А. А., Пиунова А. П. Сравнительный анализ реализации протоколов Диффи-Хеллмана и Эль-Гамала в эллиптической криптографии | 249 |
| Дашицыренов Г. Д. Постановка и решение задачи компьютерного синтеза тонкоплочной обобщенной волноводной линзы Люнеберга | 252 |
| Демидова А. В., Дружинина О. В., Масина О. Н. Построение стохастической модели динамики популяций, учитывающей конкуренцию и миграцию видов | 255 |
| Денисович А. П., Матюшенко С. И. Сравнительный анализ принципов назначения страховых премий в области краткосрочного страхования жизни | 259 |
| Диваков Д. В., Тютюнник А. А. Применение метода Канторовича к задаче моделирования открытых волноводов | 263 |
| Дружинина О. В., Масина О. Н. Подход к исследованию систем интеллектуального управления на основе сравнительного анализа полиномиальных TS-моделей | 265 |
| Ефферина Е. Г., Королькова А. В., Кулябов Д. С., Малютин В. Б. Операторный метод для одношаговых процессов | 269 |
| Зорин А. В. Компьютерная реализация модели квантовых измерений | 272 |
| Игонина Е. В. Моделирование маятниковых систем интеллектуального управления | 275 |
| Камнев А. В., Велиева Т. Р., Королькова А. В., Кулябов Д. С. Имитационное моделирование алгоритма RED в симуляторе NS-3 | 279 |
| Касимов Ю. Ф., Мальцева Т. А. Анализ связи финальных потерь портфеля однородных ссуд и ранних показателей просрочки коммерческого банка | 283 |
| Крянев А. В., Пинегин А. А., Климанов С. Г., Рыжов А. А. Схемы выявления аномалий энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов | 286 |
| Кузив Я. Ю. Компьютерная модель замкнутой развивающейся экономики на основе модели Чернавского | 289 |

| | |
|--|-----|
| Любин П. Г., Щетинин Е. Ю. Робастный алгоритм построения сглаживающих сплайнов | 292 |
| Любин П. Г., Щетинин Е. Ю., Химий Б. В. Stochastic Mortality Rates Modeling for Longevity Risks Estimating in Modern Russia | 294 |
| Мариняк Б. В. Сравнение алгоритмов симметричного шифрования DES и ГОСТ 28147-89 | 296 |
| Марков П. Н. Моделирование иерархических структур статистических зависимостей экстремального типа | 298 |
| Мигаль И. А. Вычисления интегралов от быстро осциллирующих функций – сравнение двух методов по скорости | 301 |
| Пашина А. В., Матюшенко С. И. О разовых нетто-премиях для основных непрерывных видов страхования жизни | 303 |
| Петров В. А., Савин А. С., Хохлов А. А., Четов А. И. Анализ временных рядов методом «Гусеница»-SSA в Big Data | 305 |
| Петров В. А., Савин А. С., Хохлов А. А., Четов А. И. Задача формирования маркетинговых стратегий для ресторанного бизнеса | 308 |
| Погосян А. С. О применении стратегий управления самофинансируемым портфелем активов с заданными динамическими свойствами | 310 |
| Севастьянов Л. А., Васильев С. А., Блинов А. И. Математическое моделирование сложных экономических систем с использованием нейронных сетей | 313 |
| Слива Д. Е. Формирование эффективных портфелей долей компании на рынках услуг | 314 |
| Та Тху Ч., Хасанов И. Ш., Никитин А. К. Аналитические модели спектра и зависимости энергии термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов (ТППП) от температуры | 317 |
| Хлопин Д. А. Исследование взаимовлияния экономик стран–участниц ЕАЭС методами эконометрического моделирования | 320 |
| Шарапова А. А. Нахождение распределения коэффициента преломления для линзы Люнеберга произвольной конфигурации | 323 |
| Ягнов Н. К. Решение задачи восстановления функции распределения электронов по энергиям путем минимизации функционала Тихонова | 326 |
| Авторский указатель | 329 |

Теория телетрафика и её применения

ПРИМЕНЕНИЕ СМО С ГРУППОВЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФАЙЛОВ В СЕТИ LTE ПО ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИВЕЩАНИЯ¹

Бородакий В.Ю.¹, Гудкова И.А.², Острикова Д.Ю.², Харин П.А.²

¹ОАО «Концерн «Системпром», bvu@systemprom.ru,

²Российский университет дружбы народов, {igudkova;dyostrikova}@sci.pfu.edu.ru, pxarin@mail.ru

Построена марковская модель восстановления файлов в сети LTE в виде одноканальной системы массового обслуживания с групповым обслуживанием и со случайным временем формирования группы. Численно решена задача нахождения оптимального значения временного интервала опроса пользователей.

Ключевые слова: LTE, MBMS, восстановление файлов, мультимедиа, интервал опроса, вероятность простоя.

Введение

В современных сотовых сетях увеличение спроса на высокоскоростные услуги привело к необходимости решения задачи эффективного использования ограниченного объема частотно-временных ресурсов сети. Для данной цели была разработана отдельная подсистема MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service), реализующая предоставление услуг в режимах широковещания и мультимедиа.

Одним из типов услуг, предоставляемых с использованием подсистемы MBMS, являются услуги по загрузке файлов [1]. Однако при загрузке файлов в режимах широковещания или мультимедиа зачастую возникают потери или повреждение сегментов этих файлов. Для решения данной проблемы применяется процедура восстановления поврежденных файлов (file repair procedure) [2], осуществляемая в одноадресном, многоадресном и широковещательном режимах.

Авторами при помощи аппарата теории массового обслуживания построена модель восстановления файлов по технологии мультимедиа со случайным временем формирования группы. В отличие от исследованной в [3] модели, где время формирования группы определяется числом заявок, авторами рассматривается случай, когда время формирования группы складывается из фиксированных интервалов опроса пользователей сети. Подобная процедура опроса ранее исследовалась в [4].

Математическая модель

Рассмотрим СМО, состоящую из одного обслуживающего прибора и накопителя емкости r , $r < \infty$. На систему поступает пуассоновский поток заявок с параметром λ . Пусть t_i , $i > 0$ – момент времени поступления i -ой заявки, при этом в момент $t_0 = 0$ система свободна. $\xi_i = t_i - t_{i-1}$, $i > 0$ – случайная величина (СВ) времени между поступлениями $(i-1)$ -ой и i -ой заявками. Обслуживание заявок производится группами. При этом группа может начать обслуживаться только в моменты τ_j , $j > 0$, по достижению которых в очереди находится хотя бы одна заявка, а прибор не занят обслуживанием предыдущей группы. Время формирования каждой группы заявок складывается из СВ $\Delta_j = \tau_j - \tau_{j-1}$, $j > 0$, распределенных по экспоненциальному закону с параметром γ . Обслуживание группы начинается в момент τ_j , $j > 0$ завершения формирования этой группы и завершается в момент $\tilde{\tau}_k$, $k > 0$. Время η_k , $k > 0$

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 13-07-00953 и № 15-07-03608.

обслуживания k -группы заявок является СВ, распределенной по экспоненциальному закону с параметром μ .

Пусть n – число заявок в накопителе, m – состояние прибора. При этом $m = 0$, если прибор свободен, $m = 1$, если прибор занят. Тогда пространство состояний задается формулой (1):

$$X = \{(n, m) : n = 0, 1, \dots, r; m = 0, 1\}. \quad (1)$$

Ненормированные вероятности $q(n, m)$ состояний модели могут быть вычислены по формуле (2):

$$\begin{aligned} q_{00} &= 1, \quad q_{n0} = \left[\left(\frac{a}{a+1} \right)^n + \sum_{k=1}^n \left(\frac{\rho}{\rho+1} \right)^k \left(\frac{a}{a+1} \right)^{n-k+1} \right], \quad n = 1, \dots, r-1, \\ q_{n1} &= \left(\frac{\rho}{\rho+1} \right)^n \rho, \quad n = 0, \dots, r-1, \quad q_{r1} = \left(\frac{\rho}{\rho+1} \right)^{r-1} \rho^2, \\ q_{r0} &= \left[a \left(\frac{a}{a+1} \right)^{r-1} + a \sum_{k=1}^{r-1} \left(\frac{\rho}{\rho+1} \right)^k \left(\frac{a}{a+1} \right)^{r-k} + \rho a \left(\frac{\rho}{\rho+1} \right)^{r-1} \right], \\ \rho &= \frac{\lambda}{\mu}, \quad a = \frac{\lambda}{\gamma}. \end{aligned} \quad (2)$$

Задача нахождения оптимального значения интервала опроса пользователей

Поскольку процедура восстановления файлов осуществляется в фоновом режиме, на ее реализацию должно выделяться как можно меньше частотно-временных ресурсов сети. Для достижения этой цели необходимо решить задачу нахождения оптимального значения временного интервала γ^{-1} опроса пользователей сети. Требуется максимизировать вероятность P_0 простоя радиоресурсов. При этом согласно соглашению об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA), вероятность блокировки B запросов пользователей на восстановление файла и средняя задержка W начала восстановления файла не должны превышать значений B^* и W^* соответственно. Тогда задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{cases} P_0(\gamma^{-1}) \rightarrow \max, \\ W(\gamma^{-1}) \leq W^*, \\ B(\gamma^{-1}) \leq B^*. \end{cases} \quad (3)$$

В табл. 1 получены рекомендуемые значения временного интервала γ^{-1} опроса пользователей сети для различных значений B^* и W^* .

Таблица 1. Пример решения задачи оптимизации

| W^* / B^* | 0,004 | 0,008 | 0,02 |
|-------------|-------|-------|------|
| 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 0,13 | 0,06 | 0,08 | 0,08 |
| 0,2 | 0,06 | 0,08 | 0,1 |

Рис. 2 иллюстрирует решение задачи оптимизации (3) при ограничениях $B^* = 0,004$ и $W^* = 0,13$ с .

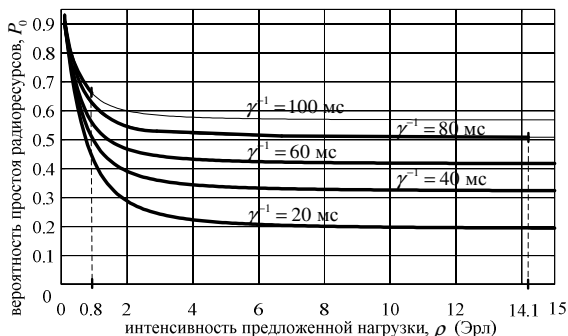


Рис. 2. Вероятность простоя радиоресурсов

Анализируя данный рисунок, можно сделать вывод о том, что оптимальное значение временного интервала опроса пользователей, при котором вероятность простоя будет максимальна, а заданные ограничения B^* и W^* будут выполняться на всем диапазоне нагрузки, равно 60 мс.

Выводы

В заключение отметим, что в докладе представлены также результаты численного анализа средней задержки начала восстановления файла и вероятности блокировки запросов пользователей на восстановление файла.

Литература

1. 3GPP TS 22.246: Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) user services; Stage 1 (Release 12). – 2014.
2. 3GPP TS 26.346: Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs (Release 12). – 2014.
2. Самуйлов К.Е., Першаков Н.В., Гудкова И.А. Построение и анализ моделей системы с групповым обслуживанием заявок // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – 2007. – № 3–4. – С. 45–52.
4. Бородакий В.Ю., Гудкова И.А., Острикова Д.Ю. Анализ предоставления услуг мультимедиа в сетях LTE в виде системы с групповым обслуживанием // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – М.: Издательский дом Медиа Паблшер. – 2013. – № 11. – С. 50–53.

BATCH SERVICE QUEUE MODEL FOR ANALYZING MULTICAST FILE REPAIR PROCEDURE IN LTE NETWORKS

Borodakiy V.Y.¹, Gudkova I.A.², Ostrikova D.Y.², Harin P.A.²

¹JSC "Concern "Systemprom", bv@systemprom.ru,

²Peoples' Friendship University of Russia, {igudkova;dyostrikova}@sci.pfu.edu.ru, pxarin@mail.ru

We propose a batch service queue model for analyzing multicast file repair procedure in LTE networks. We also determine the optimal time interval of the multicast group formation.

Key words: LTE, MBMS, file repair, multicast, inquiry intervals, downtime probability.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ДВУМЯ ВХОДЯЩИМИ ПОТОКАМИ И ВЕРОЯТНОСТНЫМ СБРОСОМ¹

Горбунова А.В., Зарядов И.С.

Российский университет дружбы народов, avgorbunova@rambler.ru, izaryadov@sci.pfu.edu.ru

Рассматривается система массового обслуживания с двумя независимыми входящими потоками заявок, заявки первого потока в момент окончания обслуживания сбрасывают из накопителя все заявки второго потока.

Ключевые слова: обновление, система массового обслуживания, два входящих потока, сброс заявок, вероятностно-временные характеристики.

Введение

В настоящее время являются очень актуальными вопросы обеспечения заданного качества обслуживания (QoS) в сетях передачи данных. Проблемы, связанные с потерей данных, также могут возникать вследствие поломки обслуживающих устройств, поступления особого типа данных, оказывающих негативное влияние на эффективность обслуживания и функционирование сетевого элемента (прибора) в целом [1-5].

С целью регулирования интенсивности входящего потока данных и уменьшения негативных последствий исследуются различные механизмы управления и предотвращения перегрузок при работе сетевых устройств. Так, например, RED-подобные алгоритмы (Random Early Detection) [6-8] в условиях перегрузки или в ситуации близкой к ней позволяют контролировать степень нагрузки в очереди посредством вероятностного сброса пакетов.

В данной работе в качестве одной из модификаций алгоритма регулирования состояния потока рассматривается однолинейная система массового обслуживания с накопителем неограниченной емкости, в которую поступают два независимых пуассоновских потока заявок с различными интенсивностями и приоритетами. Заявка первого типа (приоритетная), находящаяся на приборе, в момент окончания обслуживания сбрасывает все заявки второго типа (неприоритетные заявки) из накопителя и покидает систему [1-4,6-8]. Длительности обслуживания заявок обоих типов имеют экспоненциальные распределения с различными значениями интенсивностей обслуживания.

Вероятностные характеристики системы

Для рассматриваемой системы массового обслуживания строится непрерывный двумерный марковский процесс $X(t) = (v_1(t), v_2(t))$, где $v_1(t)$ – это непрерывная случайная величина, характеризующая число заявок первого (приоритетного) типа в системе, а $v_2(t)$ – непрерывная случайная величина, характеризующая число заявок второго (неприоритетного) типа в системе. Множество значений двумерного марковского процесса $-X = \{(i, j), i \geq 0, j \geq 0\}$. Система уравнений равновесия (СУР):

$$\begin{aligned}
 (\lambda_1 + \lambda_2)p_{0,0} &= \mu_2 p_{0,1} + \mu_1 \sum_{j=0}^{\infty} p_{1,j}, \\
 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_{i,0} &= \lambda_1 p_{i-1,0} + \mu_1 \sum_{j=0}^{\infty} p_{i+1,j} + \mu_2 p_{i,1}, \quad i \geq 1, \\
 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_{0,j} &= \lambda_2 p_{0,j-1} + \mu_2 p_{0,j+1}, \quad j \geq 1, \\
 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)p_{i,j} &= \lambda_1 p_{i-1,j} + \lambda_2 p_{i,j-1} + \mu_2 p_{i,j+1}, \quad i \geq 1, j \geq 1
 \end{aligned}$$

с условием нормировки

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 13-07-00223, 15-07-03007, 14-07-00090

$$\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} p_{i,j} = 1.$$

Суммируя уравнения СУР по индексу j и используя условие нормировки, легко получить стационарное вероятностное распределение числа приоритетных заявок в системе:

$$p_{i,\cdot} = \left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i p_{0,\cdot}, \quad i \geq 1, \quad p_{0,\cdot} = 1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}.$$

Здесь $p_{i,\cdot} = \sum_{j=0}^{\infty} p_{i,j}$.

Вводя производящую функцию

$$B_0(z) = \sum_{j=0}^{\infty} p_{0,j} z^j = \frac{\mu_2(1-z)p_{0,0} - \mu_1 p_{1,z}}{\lambda_2 z^2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)z + \mu_2}, \quad 0 \leq z \leq 1,$$

и используя условие ее аналитичности в точке $z_2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 - \sqrt{(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)^2 - 4\lambda_2\mu_2}}{2\lambda_2}$, можно получить вероятность простоя системы $p_{0,0}$:

$$p_{0,0} = \frac{\mu_1 - \lambda_1}{\mu_2} \cdot \frac{z_2}{1 - z_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1}.$$

Вероятность обслуживания неприоритетной заявки p^{serv} легко найти из того факта, что заявка второго потока может встать на прибор только тогда, когда в момент ее прихода в системе нет ни одной заявки из первого (приоритетного) потока:

$$p^{serv} = \sum_{j=0}^{\infty} p_{0,j} = p_{0,\cdot} = 1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}.$$

Распределение времени ожидания начала обслуживания неприоритетной заявки в терминах производящей функции и преобразования Лапласа-Стилтьеса имеет вид:

$$\omega^{serv}(s) = \frac{1}{p^{serv}} \sum_{j=0}^{\infty} p_{0,j} \left(\frac{\mu_2}{\mu_2 + s}\right)^j = \frac{1}{p^{serv}} B_0\left(\frac{\mu_2}{\mu_2 + s}\right).$$

Из полученной для $\omega^{serv}(s)$ формулы для неприоритетной заявки легко получить среднее значение и дисперсию времени ожидания начала обслуживания.

Выводы

В работе рассмотрена марковская система массового обслуживания с двумя входящими потоками. Заявки первого потока имеют приоритет над заявками второго потока – в момент окончания своего обслуживания они освобождают накопитель от всех заявок второго потока. В явном виде представлено стационарное распределение числа приоритетных заявок в системе, вероятность простоя системы. Также получено выражение для вероятности простоя системы. Для неприоритетных заявок найдены вероятность ее сброса из системы приоритетной заявкой, стационарное распределение времени ожидания начала обслуживания (в терминах преобразований Лапласа-Стилтьеса и производящих функций), а также среднее время ожидания начала обслуживания.

Литература

1. Kreinin A. Queueing Systems with Renovation // Journal of Applied Math. Stochast. Analysis. — 1997. — Vol. 10, No 4. — Pp. 431–443.
2. Бочаров П. П., Зарядов И. С. Стационарное распределение вероятностей в системах массового обслуживания с обновлением // Вестник РУДН. Серия .Математика. Информатика. Физика.. — 2007. — № 1-2. — С. 15–25.
3. Zaryadov I. S., Pechinkin A. V. Stationary Time Characteristics of the $GI/M/n/\infty$ System with Some Variants of the Generalized Renovation Discipline // Automation and Remote Control. — 2009. — No 12. — Pp. 2085–2097.

4. Zaryadov I. S. The $GI/M/n/\infty$ Queuing System with Generalized Renovation // Automation and Remote Control. — 2010. — No 4. — Pp. 663–671.
5. Adamu A., Gaidamaka Y., Samuylov A. Discrete Markov Chain Model for Analyzing Probability Measures of P2P Streaming Network // Lecture Notes in Computer Science / Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking 11th International Conference, NEW2AN 2011, and 4th Conference on Smart Spaces, ruSMART 2011. — St. Petersburg, Russia, August 22–25; Germany, Heidelberg, Springer-Verlag, 2011. — Pp. 428–439.
6. Korolkova A. V., Zaryadov I. S. The Mathematical Model of the Traffic Transfer Process with a Rate Adjustable by RED // ICUMT 2010 — International Conference on Ultra Modern Telecommunications. — Moscow: 2010. — Pp. 1046–1050.
7. Зарядов И. С., Королькова А. В. Применение модели с обобщённым обновлением к анализу характеристик систем активного управления очередями типа Random Early Detection (RED) // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2011. — № 7. — С. 84–88.
8. Зарядов И. С., Королькова А. В., Разумчик Р. В. Математические модели расчёта и анализа характеристик систем активного управления очередями с двумя входящими потоками и различными приоритетами // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2012. — № 7. — С. 107–111.

THE ANALYSIS OF QUEUEING SYSTEM WITH TWO INPUT FLOWS AND STOCHASTIC DROP MECHANISM

Gorbunova A.V., Zaryadov I.S.

Peoples' Friendship University of Russia, avgorbunova@rambler.ru, izaryadov@sci.pfu.edu.ru

The queueing system with two independent flows of requests with different types of priorities is considered. The priority requests at the end of its service drop non-priority ones with renovation probability equal to one.

Key words: queueing system, two input flows, renovation probability, stochastic drop mechanism, time-probability characteristics.

К АНАЛИЗУ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Гудкова И.А., Власкина А.С., Семенова О.В., Норкина М.А.

Российский университет дружбы народов, igudkova@sci.pfu.edu.ru,
vlaskina.anastasia@yandex.ru, okvsemenova@mail.ru, marynor@mail.ru

Проводится описание подхода к моделированию бизнес-процессов для оценки их эффективности на примере бизнес-процесса получения кредита. Расчет среднего времени выполнения процесса предлагается проводить методами теории массового обслуживания для сетей массового обслуживания и при помощи имитационного моделирования.

Ключевые слова: BPM, BPMN, бизнес-процесс, время выполнения, сеть массового обслуживания, имитационного моделирование.

Введение

Внедрение систем управления бизнес-процессами (Business Process Management, BPM) обусловлено, в том числе, необходимостью проведения качественного и количественного анализа выполнения бизнес-процессов для эффективного управления деятельностью компании [1,2]. Одним из важнейших показателей эффективности является среднее время выполнения бизнес-процесса. Для разработки и оптимизации бизнес-процессов на помощь приходят, в том числе, методы математического моделирования – теории массового обслуживания (ТМО) [3] – и имитационного моделирования [4], которые позволяют оценить эффективность существующих в компании бизнес-процессов, а также определить потенциальные «узкие места».

Проиллюстрируем применение методов ТМО и имитационного моделирования для анализа среднего времени выполнения бизнес-процесса оформления заявки на кредит.

Бизнес-процесс как сеть массового обслуживания

На рис. 1 изображена схема модели бизнес-процесса в нотации BPMN (Business Process Model and Notation). Заявка на кредит поступает на обработку, после чего технические специалисты проверяют кредитную историю и источники дохода клиента. Далее аналитик проводит оценку заявки, на основе результатов которой принимает решение о выдаче кредита. В случае положительного ответа составляется кредитное предложение, и заявка считается обработанной. В противном случае, аналитик уведомляет клиента об отказе, а автоматизированная система отслеживает получение обратного ответа от клиента, который может либо повторно подать запрос с уточненными данными, либо нет.

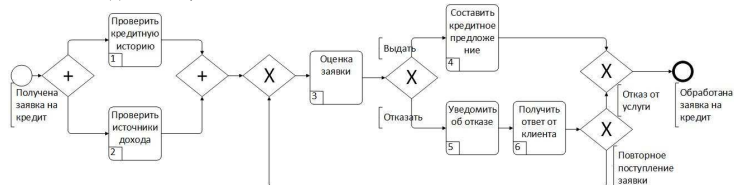


Рис. 1. Схема модели бизнес-процесса в нотации BPMN

Бизнес-процесс можно представить в виде сети массового обслуживания (СеМО) (см. рис. 2), где узлы СеМО описывают выполняемые действия, а заявками являются запросы клиентов на получение кредита. Обслуживание могут выполнять как сотрудники компании различной квалификации и с разными должностными обязанностями

(действия 1–5 в примере на рис. 1 и 2), так и специализированные автоматизированные системы, поддерживающие, в том числе параллельные вычисления (действие 6 в примере на рис. 1 и 2). Для рассматриваемого примера действия 1 и 2 выполняют технические специалисты, действия 4, 5 и 6 – аналитики, действие 6 – автоматизированная система.

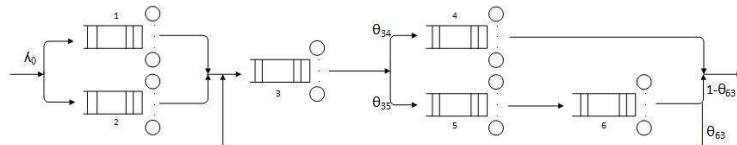


Рис. 2. Схема сети массового обслуживания

В докладе среднее время выполнения бизнес-процесса, иными словами, среднее время пребывания заявки в СеМО, найдено по трем методам: 1) метод для неоднородной экспоненциальной СеМО, разработанный Самойловым К.Е. и Гайдамака Ю.В. для оценки времени установления сессии в ОКС-7 для услуги Free Phone 800; 2) приближенный метод для однородной неэкспоненциальной СеМО по двум моментам, разработанный Геленбе Е. и Пюжолем Г. с использованием приближенной формулы Крамера и Лангенбах-Бельца и модифицированный Башариным Г.П., Бочаровым П.П. и Наумовым В.А.; 3) приближенный метод для многофазной системы массового обслуживания (СМО) с фоновым трафиком, разработанный Наумовым В.А.

Имитационное моделирование бизнес-процесса

Провести анализ бизнес-процесса можно и посредством имитационного моделирования. Среди средств имитационного моделирования бизнес-процессов можно выделить такие российские системы как Actor Pilgrim, AGNES, AnyLogic, а также зарубежные VIMR, Aimsun, Arena, AweSim и т.д.

Для рассматриваемого бизнес-процесса получения кредита имитационное моделирование проведем при помощи имитатора VIMR [4]. Предположим, что действия 1 и 2 выполняют по три технических специалиста, действия 4, 5 и 6 – по три аналитика, а автоматизированная система обрабатывает запросы последовательно. Средние значения и дисперсии времени выполнения каждого действия приведены в табл.1. Моделирование завершается, когда будут обработаны 500 заявок на кредит.

Таблица 1. Исходные данные

| Действие | Среднее значение | Дисперсия |
|------------------------------------|------------------|-----------|
| 1. Проверить кредитную историю | 10 | 2 |
| 2. Проверить источники дохода | 10 | 4 |
| 3. Оценка заявки | 20 | 4 |
| 4. Составить кредитное предложение | 10 | 2 |
| 5. Уведомление об отказе | 10 | 2 |
| 6. Получить ответ от клиента | 10 | 4 |

На рис.3 показано распределение числа заявок по времени выполнения бизнес-процесса. Из рисунка видно, что в основном на обработку запроса тратится от получаса до часа.

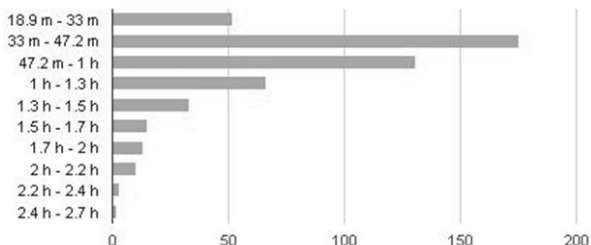


Рис. 3. Распределение числа заявок по времени выполнения бизнес-процесса

Выводы

В докладе приведены результаты численного анализа среднего времени выполнения бизнес-процесса оформления заявки на кредит, как методами анализа СеМО, так и при помощи имитационного моделирования.

Литература

1. Самуйлов К.Е., Чукарин А.В., Яркина Н.В. Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями. – М.: Альпина Паблшерз, 2009. – 442 с.
2. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., and Reijers H. Fundamentals of business process management // Springer, 2013. – 399 P. (доступ к дополнительным материалам: <http://fundamentals-of-bpm.org/>).
3. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика: Учеб. пособие. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: РУДН, 2009. – 342 с.
4. The Business Process Simulator (доступ: <http://bimp.cs.ut.ee/>).

ANALYSING MEAN EXECUTION TIME OF BUSINESS PROCESSES BY MEANS OF QUEUING THEORY AND SIMULATION

Gudkova I.A., Vlaskina A.S., Semenova O.V., Norkina M.A.

*Peoples' Friendship University of Russia, igudkova@sci.pfu.edu.ru,
vlaskina.anastasia@yandex.ru, okvsemenova@mail.ru, marynor@mail.ru*

We represented the description of business-process modeling on the example of receipt credit. This model enables the analysis of the system, including mean execution time of business-process from different points of view.

Key words: BPM, business process, execution time, BPMN, network of queues.

СМО С ГРУППОВЫМ ПУАССОНОВСКИМ ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ И ИНВЕРСИОННОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ДИСЦИПЛИНОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ефимов В.И.

Российский университет дружбы народов, vladimefim@yandex.ru

В работе приводится описание системы, система уравнений для расчета стационарных вероятностей. Представлены результаты работы разработанной имитационной модели системы для различных случаев.

Ключевые слова: групповой входящий поток, инверсионная вероятностная дисциплина

Введение

В данной работе рассматривается система с групповым пуассоновским входящим потоком с инверсионной вероятностной дисциплиной обслуживания и произвольным обслуживанием ($M[x]|G|1|_{\infty}$, LCFS PP). Похожая система была рассмотрена в [1], но для случая пуассоновского входящего потока. В настоящей работе приводится описание системы, способа нахождения стационарных вероятностей, а также приводятся основные показатели производительности системы.

Описание системы

Данная система рассматривается как расширение системы с инверсионным порядком обслуживания с вероятностным приоритетом, рассмотренной в [1] на случай группового входящего потока с параметром λ .

В этом случае в систему поступает группа из n заявок с вероятностью l_n ($0 \leq l_n \leq 1$, $\sum_{n=1}^{\infty} l_n = 1$). При этом предполагаем, что мы знаем время обслуживания первой из них, и оно равно x . Также мы знаем точное время обслуживания заявки, которая находится на приборе, и оно равно y .

Первая пришедшая заявка занимает прибор с вероятностью $d(x, y)$, после чего остальные заявки в группе становятся за ней в очередь, после которых в очередь становится та заявка, которая обслуживалась на приборе, после которой встанут все остальные.

С вероятностью $1 - d(x, y)$ обслуживаемая заявка продолжает обслуживаться, после нее в очередь становится группа пришедших заявок.

В данной системе нас интересует распределение вероятностей и основные показатели производительности, такие как среднее число заявок в системе и среднее время пребывания заявки в системе. Интересует также зависимость характеристик от вида функции $d(x, y)$.

Марковский процесс, описывающий функционирование системы.

Нахождение стационарных вероятностей.

Для исследования системы применим метод введения дополнительных переменных. Для этого рассмотрим случайный процесс $\eta(t) = \{(v(t), \bar{\xi}(t)), t \geq 0\}$, где $v(t)$ - число заявок в системе в момент t , а $\bar{\xi}(t) = (\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_{v(t)}(t))$, где $\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_{v(t)}(t)$ - (остаточные) длины заявок, находящихся в системе и расположенных в порядке очереди в момент t . В случае $v(t) = 0$ вектор $\bar{\xi}(t)$ не определяется. Процесс $\eta(t)$ является марковским.

Обозначим через p_0 предельную (стационарную) вероятность того, что в системе отсутствуют заявки, а через $P_n(x_1, \dots, x_n), n = \overline{0, \infty}$, предельные (стационарные)

вероятности того, что в системе находится n заявок длин меньше x_1, \dots, x_n . И пусть

$$p_n(x_1, \dots, x_n) = \frac{\partial^n}{\partial x_1 \dots \partial x_n} P_n(x_1, \dots, x_n)$$
 соответствующие плотности вероятностей.

Для вычисления стационарных вероятностей состояний воспользуемся методом, основанном на исключении из рассмотрения тех интервалов времени, когда в системе находится более n заявок, и последующем «склеивании» оставшихся кусков процесса $\eta(t)$ (см. [1] или [2]). Используя этот метод, были выписаны интегро-дифференциальные уравнения для нахождения плотностей вероятностей $p_n(x_1, \dots, x_n)$, но в силу своей громоздкости они здесь не приводятся. Вероятность p_0 находится из условия нормировки.

Показатели производительности системы

Для исследования системы была составлена имитационная модель. Для того, чтобы показать, как способ выбора заявки влияет на ее вероятностно-временные характеристики, рассмотрим систему с одним обслуживающим прибором с экспоненциальным временем обслуживания, в которую заявки поступают группами от 1 до 3 штук, и будем рассматривать случаи, когда $d(x, y) = \min(x, y)$ и $d(x, y) = \max(x, y)$.

$$\text{Пусть } \lambda = 2, \mu = 5, l_1 = l_2 = l_3 = \frac{1}{3}.$$

Распределение вероятностей представлено в табл. 1. Можем видеть, что вероятность p_0 не зависит от способа выбора заявки, в то время как остальные вероятности отличаются. Разница видна на графике зависимости вероятности того, что в системе меньше или равно 5 заявок $P(5)$ от μ (рис. 1).

Таблица 1. Распределение вероятностей

| p | \min | \max |
|-------|---------|---------|
| p_0 | 0.2 | 0.2 |
| p_1 | 0.09405 | 0.07216 |
| p_2 | 0.09564 | 0.07753 |
| p_3 | 0.10051 | 0.07135 |
| p_4 | 0.07935 | 0.05965 |
| ... | ... | ... |

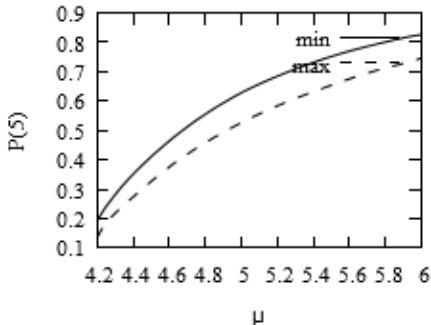


Рис. 1. Зависимость распределения вероятностей от μ

Также от способа выбора заявки зависит среднее число заявок в системе N и среднее время пребывания заявки в системе ω . Для нашей системы результаты представлены в табл.2. Сравнение также видно на графике зависимости от μ (рис. 2).

Таблица 2. Показатели производительности системы

| | <i>min</i> | <i>max</i> |
|----------|------------|------------|
| $P(5)$ | 0.637831 | 0.53274 |
| N | 5.07169 | 7.6514 |
| ω | 1.27046 | 1.92054 |

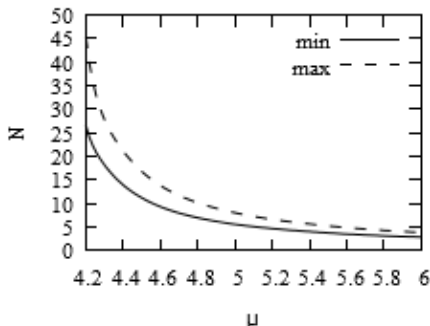


Рис. 2. Зависимость среднего числа заявок в системе от μ

Видно, что способ выбора заявки существенно влияет на функционирование системы. Правильно выбрав функцию $d(x, y)$ можно снизить среднее число заявок в системе и среднее время пребывания заявки в системе.

Выводы

В работе была описана модель, были найдены основные параметры производительности системы и распределение вероятностей. Была наглядно продемонстрирована зависимость параметров производительности от вида функции $d(x, y)$.

Литература

1. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания: Учебник. -М.: Изд-во. РУДН, 1995. - 529с., ил.
2. Печинкин А.В., Свищева Т.А. Система MAP/G/1/∞ с инверсионным порядком обслуживания и вероятностным приоритетом // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Прикладная математика и информатика, 2003. № 1. С. 109–118.

QUEUEING SYSTEM WITH THE GROUP POISSON ARRIVAL AND THE INVERSION PROBABILISTIC SERVICE DISCIPLINE

Efimov V.I.

Peoples' Friendship University of Russia, vladimefim@yandex.ru

This paper describes a system, contains a system of equations to calculate stationary probabilities. Presents the results of developed simulation model of the system for different occasions.

Key words: group arrival, inversion probabilistic service discipline

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ

Ибрагимов Б.Г., Гусейнов Ф.И.

Азербайджанский технический университет, Баку, i.bayram@mail.ru

Институт кибернетики НАН Азербайджана

В работе проанализированы мультисервисные сети телекоммуникации на основе концепции сеансовой связи IMS и предложена аналитическая модель звена системы сигнализации.

Ключевые слова: протокол SIP, среднее время обслуживания пакета, мультимедийные услуги, сигнальный трафик, звено систем сигнализации, самоподобный трафик.

Введение

Развитие мультисервисных сетей телекоммуникации с использованием архитектурной концепции NGN (Next Generation Network) требует создания адекватной аналитической модели качества функционирования системы сигнализации на базе подсистемы мультимедийной связи Softswitch/IMS (IP Multimedia Subsystem). Здесь, мультимедийной связи подразумевается организация видеоконференции, телефонные соединения, передачу мультимедийной информации, а также услуги Triple Play, включающие голосовые услуги, доступ в Интернет и просмотр телевизионных программ [1].

Подсистема Softswitch/IMS является распределенной структурой управления сеансами связи, использующей системы и протоколы сигнализации – SIP (Session Initiation Protocol), которые обеспечивают управление передачей служебного и полезного трафиков. Протокол SIP, является основным протоколом установления мультимедийной связи в сетях NGN.

Установлено [2], что передаваемые служебные трафики протоколы сигнализации по сети NGN обладают свойствами самоподобия с коэффициентом Херста, достигающими в отдельных случаях значений $H = 0,65, \dots, 0,95$.

В рамках доклада рассматривается решение задачи – исследование и анализ показателей качества функционирования систем сигнализации с учетом свойств самоподобия сигнального трафика.

Описание аналитической модели

Рассматриваемая система сигнализации Softswitch/IMS представляет собой систему массового обслуживания (СМО) типа fBM/G/1/N_{бн}, с некоторыми допущениями при критической загрузке $\rho_i \leq 1$, $i = \overline{1, n}$. Сигнальный трафик, поступающий на обслуживание в СМО, является пуассоновским [2, 3], с интенсивностью λ_i , $i = \overline{1, n}$, (где n – общее количество типов потоков пакетов сигнального трафика), длительность обслуживания i -го трафика имеет функцию распределения: $B(t) = P[B \leq t]$ с преобразованием Лапласа-Стилтьеса (ПЛС) $b(s) = E[\exp(-bs)]$ и моментами b_i , $i = \overline{1, n}$.

В данной СМО, предполагаем, что прерывание обслуживания сигнальных пакетов не допускается. В работе также будем полагать отсутствие потерь пакетов сигнального трафика, т.е. емкость буферного накопителя $N_{бн}$ достаточно велика ($N_{бн} \leq \infty$), а скорость работы сети NGN больше суммарной интенсивности поступления пакетов от источников сетей NGN (ISUP, MAP, INAP, и др.), что означает выполнение неравенства:

$$\lambda_i \cdot N \leq C_{i, \max}(\rho), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $C_{i, \max}(\rho)$ – максимальная пропускная способность узлов коммутации Softswitch/IMS сетей NGN при передаче пакета i -го сигнального трафика и $C_{i, \max}(\rho) \geq 155$ Мбит/с.

Функция стационарного распределения длины периода занятости $T(t) = P[T \leq t]$ имеет ПЛС $\pi(s) = E[\exp(-sT)]$. При этом условие $\rho_i < 1$ является необходимым и достаточным условием существования стационарного режима системы Softswitch/IMS.

Учитывая общее решение на основе СМО типа fBM/G/1/N_{бн} ПЛС функции распределения времени пребывания пакетов сигнальных единиц в стационарном режиме с относительным приоритетом и ненадежным узлов коммутации Softswitch/IMS определяется выражением [3]:

$$v(s) = w(s) \cdot h(s), \text{ Res} \geq 1, \quad (2)$$

где $w(s)$ – ПЛС функции распределения времени ожидания начала обслуживания сигнальных пакетов в СМО; $h(s)$ – ПЛС функции распределения времени обслуживания сигнальных пакетов ненадежных узлов коммутации и определяется следующим образом:

$$h(s) = \beta[s + c(1 - \delta(s))], \quad (3)$$

где c – интенсивность исправной работы узлов коммутации; $\beta(\cdot)$ – ПЛС функции распределения длительности обслуживания пакетов сигнальных единиц $B(t)$.

Дальнейшее исследование будем проводить в предположении, что в узлы коммутации на базе подсистемы мультимедийной связи Softswitch/IMS, поступают пакеты сигнального трафика в очередь к каждой из N -источников сетей NGN по закону Пуассона с интенсивностью λ_i , $i = \overline{1, n}$.

Оценка времени обслуживания пакетов

На основе модели СМО, среднее время приема для пакетов i -го сигнального трафика, поступающих в очередь к сеансовой связи Softswitch/IMS определяется следующим образом:

$$E[T_{np}] = T_i = [1 - \exp(-\mu \cdot \rho_i)]^{-1} - (1/\lambda_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где E – знак математического ожидания.

Учитывая диффузионной аппроксимации [2] коэффициент эффективного использования Softswitch/IMS при обслуживании трафика протокола SIP сетей NGN выражается следующим образом:

$$\rho(\lambda_i, H) = L_i^{ce} \cdot \frac{\lambda_i}{C_{i, \max}(\rho)} \cdot f(H) \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (5)$$

где L_i^{ce} – длина передаваемого пакета сигнальных единиц i -го трафика; $f(H) = 2H$ – функция, учитывающая свойство самоподобия поступающих пакетов сигнального трафика протокола; H – коэффициент Хэрста для потока трафика протокола, который выражается следующим образом [2]: $H = 1 - 0.5\beta$, $0 < \beta < 1$.

Тогда на основе формулы Литтла находим среднее время передачи пакетов i -го сигнального трафика:

$$E[T_{nep}] = L(\rho, C_s^2) / N \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $L_{cз,0}(\rho, C_s^2)$ – среднее значение длины очереди в системе, зависящее от сетевых параметров ρ , и C_s^2 ; C_s^2 – квадратичный коэффициент вариации времени обслуживания, равный отношению дисперсии времени обслуживания к квадрату его математического

ожидания $C_s^2 = D(t_s) \cdot b_i^{-1}$, где b_i – среднее значения время обслуживания сигнального i -го трафика в системе и $b_i = 1/\mu_i, i = \overline{1, n}$.

Учитывая вышеизложенное, можно определить среднее время обслуживания пакетов сигнального трафика узлов коммутации Softswitch/IMS следующим выражением:

$$E[T_{\text{общ.}}] = [L(\rho, C_s^2) / N \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i] + (1 - \rho_0) \cdot E[T_{\text{np}}], \quad (7)$$

где ρ_0 – вероятность нулевого числа принятых пакетов у системы управления сеансами Softswitch/IMS в конце кадра сигнального трафика.

Таким образом, на основе предложенной аналитической модели узлов коммутации сетей NGN, получены выражения (5), (6) и (7), определяющие качество обслуживания (Quality of Service - QoS) трафика протокола SIP, которые являются одним из основных показателей качества функционирования систем сигнализации, отражающих способность мультисервисных сетей связи выполнять свои функции.

Выводы

В результате исследования предложена аналитическая модель узлов коммутации сетей NGN, на основе которых получены важные выражения, позволяющие оценить показатели качества функционирования СМО с учетом свойств самоподобия сигнального трафика при оказании мультимедийных услуг.

Литература

1. Деарт В.Ю. Мультисервисные сети связи. Ч.2: Протоколы и системы управления сеансами (Softswitch/IMS). М.: Брис-М, 2011, 198 с.
2. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р. Об одном подходе к оценке качества функционирования звена сети сигнализации // Всероссийской НТК по «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высоко-технологичных систем». Секция «Теория телетрафика». РУДН, Москва, 2012, с. 38-40.
3. Ляхов А.И., Лукин Д.В. Аналитическая модель передачи данных в сети IEEE 802.16. Автоматика и телемеханика. 2009, №11, с. 87-100.

RESEARCH AND ANALYSIS INDICATORS OF THE QUALITY FUNCTIONING SIGNALING SYSTEMS

Ibrahimov B.G., Guseynov F.I.,

Azerbaijan Technical University, i.bayram@mail.ru

Cybernetics Institute of ANAS, Baku

This paper analyzes the multiservice network telecommunications based on the concept of a session connection IMS and proposed analytical model level signaling systems.

Key words: protocol SIP, average service time package, multimedia services, signaling traffic, link signaling systems, self-similar traffic.

ОБ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЗЛОВ КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Калинина К. А.*

Институт прикладных математических исследований КартЦ РАН, smesharikk@mail.ru

Описан регенеративный метод и его применение для оценивания эффективной пропускной способности узла коммуникационной сети.

Ключевые слова: эффективная пропускная способность; квази-регенерация; качество обслуживания; моделирование

Введение

Мы рассматриваем сеть с процессом незавершенной нагрузки W , конечным размером буфера b и постоянной скоростью обслуживания C . В классической теории систем обслуживания величина C , которую обслуживающее устройство способно выполнить за единицу времени, полагается равной 1. Однако в условиях реальных коммуникационных сетей мощность C необходимо выбирать, чтобы выполнить требуемый уровень обслуживания (QoS). В системах высокой надежности таким определяющим показателем качества является вероятность превышения процессом W некоторого достаточно большого уровня b . Если величину мощности C можно выбирать, а уровень b известен, то задача QoS заключается в выборе такого значения C , которое гарантирует выполнения следующего условия:

$$P_b := P(W > b) \leq \Gamma \quad (1)$$

Значение C , удовлетворяющее требованию (1), называется эффективной пропускной способностью (ЭПС).

Предыдущие исследования тандемной сети показали преимущество регенеративной оценки, поскольку она гарантирует выполнение условия (1) с определенным запасом. В этой работе данный результат установлен для узлов в более сложной ациклической коммуникационной сети. Анализ регенеративного входного процесса является естественным в связи с тем, что процесс остается регенеративным, проходя через (неперегруженную) сеть. Результаты моделирования подтверждают, что регенеративная оценка ЭПС может применяться в системах высокой надежности, так как переоценивание (избыточная пропускная способность) в большинстве случаев оказывается незначительной.

Метод оценивания

Рассмотрим дискретную шкалу времени. Пусть v_i - нагрузка, поступающая в сеть на интервале времени $[i; i+1), i=0,1,\dots$. Полагаем входной процесс $\{v_i\}$ регенеративным с моментами регенерации $\{\beta_n\}$. Это означает, что случайные блоки

$$(v_0, \dots, v_{\beta_1-1}), \dots, (v_{\beta_{k-1}}, \dots, v_{\beta_k-1}), \dots \quad (2)$$

являются н.о.р. с типичной длиной цикла β . Суммарные нагрузки на каждом таком блоке

$$X_k := \sum_{i=\beta_k}^{\beta_{k-1}-1} v_i, k \geq 0, \beta_0 = 0 \quad (3)$$

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-02354 А.

образуют последовательность н.о.р. с.в. с типичным элементом X . Построим оценку логарифмической функции моментов

$$\Lambda_k(\theta^*) := \frac{k}{\beta_k} \ln \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k e^{\theta^* X_i}, k \geq 1, \theta^* = -\frac{\ln \Gamma}{b} > 0, \quad (4)$$

Используя результаты теории восстановления, легко показать

$$\Lambda_k(\theta^*) \rightarrow \frac{\ln Ee^{\theta^* X}}{E\beta} = \Lambda(\theta^*) \quad (5)$$

Этот предел называется (предельной) логарифмической функцией моментов входного процесса. Тогда регенеративная оценка ЭПС примет вид

$$C_k(\theta^*) = \frac{\Lambda_k(\theta^*)}{\theta^*} \rightarrow \frac{\ln Ee^{\theta^* X}}{\theta^* E\beta} \quad (6)$$

Имитационное моделирование

Для исследования точности регенеративной оценки (6) моделировалась работа фрагмента ациклической сети (см. рис.1).

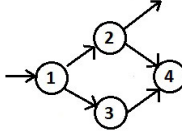


Рис. 1. Ациклическая сеть

Рассчитывалась регенеративная оценка ЭПС на узле 4. Интенсивность обслуживания на узлах 1-3 принималась постоянной и равной 1. В качестве с.в. $\{\beta_n\}$ использовались моменты (квази-регенерации) прихода на последний узел заявки, которая не ожидала обслуживания ни в одном из узлов. С.в. $\{v_i\}$ внутри каждого цикла регенерации связаны зависимостью вида

$$v_i = v_{i-1} + \eta_i, 1 \leq i \leq \beta, \quad (7)$$

где с.в. η_i распределены по равномерному закону на отрезке $\left[-\frac{v_{i-1}}{2}, \frac{v_{i-1}}{2}\right]$.

Результаты моделирования показали, что правая часть (6) дает верхнюю границу ЭПС с запасом примерно 16-17%, что делает ее удобной оценкой для применения в сетях высокой надежности, см. Рис.2, где $\Gamma = 10^{-5}$ - заданное требование QoS (1), C_i^{\wedge} - промежуточные значения ЭПС, которые меньше оценки, найденной по формуле (6), а Γ^{\wedge} - соответствующая им оценка вероятности переполнения.

Выводы

Исследование показало, что регенеративный метод дает переоценивание ЭПС (порядка 16-17%), допустимое в сетях высокой надежности.

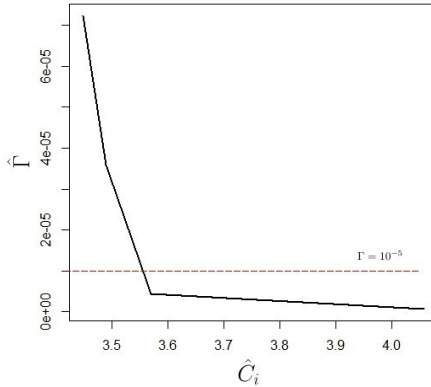


Рис. 2. Регенеративная оценка

Литература

1. *Borodina A., Kalinina K., Morozov E.* On the accuracy of the effective bandwidth regenerative estimation, ICUMT, 2014, Saint-Petersburg, 652-656.
2. *Kelly F.* Notes on effective bandwidths//Stochastic Networks: Theory and Applications// Royal Statistical Society Lecture Notes Series,4.— Oxford University Press, 1996. P. 141-168.
3. *Lewis J. T., Russell R.* An introduction to large deviation for teletraffic engineers. DIAS Technical Report DIAS-STP 97-16, 1997.

ON THE EFFECTIVE BANDWIDTH ESTIMATION IN COMMUNICATION NETWORK

Kalinina K. A.

Karelian Research Center, smesharikk@mail.ru

In this paper we apply regenerative method to estimate the required effective bandwidth of a station in an acyclic communication network.

Key words: effective bandwidth; quasi-regeneration; estimation; simulation.

ТОЛЕРАНТНЫЕ К ПЕРЕГРУЗКАМ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ IP СЕТЕЙ

Кутбитдинов С.Ш.¹, Лохмотко В.В.²

¹Государственное унитарное предприятие Центр научно-технических и маркетинговых исследований - «UNICON.UZ»,

г. Ташкент, Республика Узбекистан, kutbidinov@unicon.uz

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, lvv1950@iut.by

Предлагаются аппроксимации разрывных функций задержки пакета для СМО класса M/M/1 с многомерным входящим потоком, позволяющие упростить решение задачи распределения избыточных потоков.

Ключевые слова: IP сеть, машинно-ориентированная модель СеМО, задержка пакета, разрывная функция задержки, точка разрыва 2-го рода, выпуклая аппроксимация, распределение потоков, алгоритм девиации потока.

Введение

Ресурсосберегающий характер задачи распределения потоков (РП), сетеориентированная предметная область и системообразующая организация, предопределяют широкие проектные возможности алгоритмов РП, начиная с расчета вероятностей выбора исходящих каналов в задачах управления потоками и статической маршрутизации, и заканчивая планированием сетевых ресурсов [1].

Практика сопровождения НИОКР, связанных с распределением потоков на IP сетях, сталкивается с отсутствием эффективных методов и инструментальных средств распределения потоков избыточной нагрузки, временно возникающей в периоды перегрузки ($\lambda > \mu$) сетевого оборудования [1–3] и осложняющей решение любой прикладной задачи, прямо или косвенно связанной с РП.

Актуальность проблематики распределения избыточного пакетного трафика обуславливается сложностью нахождения начального реализуемого плана РП и неустойчивой работой алгоритмов РП в окрестности точек насыщения ($\lambda = \mu$) сетевых элементов.

Постановка задачи

Предполагаются заданными структурные, ресурсные и потоковые характеристики IP сети, в частности:

- топологическая структура сети, представляемая n -узловым, m -реберным графом произвольной структуры;
- многомерный входящий поток в виде P межузловых матриц информационного тяготения (P – число пользовательских приложений);
- пропускные способности каналов, представляемые интенсивностью μ_{ξ}

обслуживания пакета ξ -го пользовательского приложения.

Также предполагается, что:

- в процессе распределения элементы матриц информационного тяготения (адресные потоки) в различных комбинациях и пропорциях агрегируются в каналные потоки

$$\lambda_i^{(p)}, \quad i = 1, m, \quad p = 1, P;$$

– маршрутизация – статическая, «механизм» поиска оптимального плана РП – девиация потока [1,2], веса ребер измеряются в метрике $\partial E / \partial \lambda_i^{(p)}$.

В качестве критерия эффективности E может быть выбрана, например, среднесетевая задержка [1] или для нескольких пользовательских приложений – показатель потерь [3] экономической природы (в данной работе принципиального значения не имеет).

В качестве вероятностной модели выбрана СеМО типа M/M/1/∞ с многомерным входящим потоком, которая на основании теоремы Джексона и допущения о независимости фаз обслуживания декомпозируется на совокупность независимых очередей [1], а средняя канальная задержка пакета для дисциплины неприоритетного обслуживания смешанного трафика представляется функцией с компонентой $f = 1 / (1 - \sigma)$ с точкой ($\sigma = 1$) разрыва 2-го рода

$$T_p = \mu_p^{-1} + \left(\sum_{\xi=1}^P \rho_{\xi} / \mu_{\xi} \right) \cdot (1 - \sigma)^{-1}, \quad p, \xi = \overline{1, P}, \quad (1)$$

где: ρ_{ξ} – нагрузка канала пакетами ξ -го приложения;

σ – суммарная нагрузка канала пакетами всех приложений, либо моделями СМО приоритетного обслуживания, содержащими в отличие от (1) компоненту $g = (1 - \rho_1 - \dots - \rho_{p-1})^{-1} (1 - \rho_1 - \dots - \rho_p)^{-1}$ [1] с двумя точками разрыва.

Требуется найти векторы $\{\lambda_1^{(p)}, \dots, \lambda_i^{(p)}, \dots, \lambda_m^{(p)}\}$, $p = \overline{1, P}$, $i = \overline{1, m}$ канальных потоков, которые доставляли бы оптимум критерию E .

Отличие данной постановки от традиционной постановки задачи РП, приведенной в [1, 2] для $P = 1$, состоит в числе пользовательских приложений и снятии ограничения $\sigma < 1$, запрещающего перегрузку сетевых элементов.

Аппроксимирующие функции задержки пакета

Трансформация разрывной модели (1) в машинно-ориентированную модель проводится путем снятия ограничения $\sigma < 1$, введения дополнительной (достаточно малой) константы ε и построения в недопустимой области вспомогательной хорошо организованной аппроксимирующей функции \tilde{f}

$$\tilde{f} = \begin{cases} \frac{1}{1 - \sigma + \varepsilon}, & \sigma \leq 1 \\ \frac{\sigma - 1 + \varepsilon}{\varepsilon^2}, & \sigma > 1 \end{cases}. \quad (2)$$

Для дисциплин приоритетного обслуживания аналогичная аппроксимация разрывной функции g принимает тернарную форму [3], где вместо полной суммы σ используется частичная сумма – нагрузка σ_p СМО потоками пакетов различных приоритетов до p -го включительно

$$\tilde{g} = \begin{cases} (1 - \sigma_{p-1} + \varepsilon)^{-1} (1 - \sigma_p + \varepsilon)^{-1}, & \rho_p \leq 1 \\ (1 - \sigma_{p-1} + \varepsilon)^{-1} (\sigma_p - 1 + \varepsilon) \varepsilon^{-2}, & \rho_{p-1} > 1 \geq \rho_p \\ (\sigma_{p-1} - 1 + \varepsilon) (\sigma_p - 1 + \varepsilon) \varepsilon^{-4}, & \rho_p > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Нетрудно показать, что аппроксимирующие функции (2) и (3) являются выпуклыми, хорошо организованными функциями своих потоков (загрузок), как в допустимой области, так и в области перегрузки. Выбор линейной аппроксимации в недопустимой области объясняется тем, что при большой нагрузке длина очереди растет (приближенно) линейно с увеличением коэффициента использования [4].

Выводы

Расширение области допустимых значений машинно-ориентированных моделей СМО на базе аппроксимаций (2) и (3) позволяет без потери основных свойств задачи распределения потоков наделять существующие алгоритмы РП новыми конкурентными преимуществами: возможностью решения задачи РП за один проход, устойчивостью к перегрузкам, позволяющей переходить (автоматически) к распределению избыточных потоков тогда, когда входящим потокам не хватает пропускной способности, и, наконец, простотой обслуживания, поскольку априорные вопросы типа: «хватит ли канального ресурса?», «как найти начальный реализуемый план распределения потоков?» и т.п. теряют свою актуальность.

Литература

1. *Бертсекас Д., Галлагер Р.* Сети передачи данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
2. Materials e-Blog Technical-recipes.com [electronic resource] // Implementing the Flow Deviation Algorithm in C ++, Network Journal. Date: 31.12.2013. URL: <http://www.technical-recipes.com/2013/implementing-the-flow-deviation-algorithm-in-c/> (date accessed: 01/08/2015).
3. *Лохмотко В.В., Пирогов К.И.* Анализ и оптимизация цифровых сетей интегрального обслуживания. – Мн.: Наука и техника, 1991. – 192 с.
4. *Баширин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А.* Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. – М.: Наука, 1989. – 336 с.

TOLERANT TO OVERLOAD APPROXIMATIONS OF PACKET DELAY FUNCTIONS FOR MODELING OF IP NETWORKS

Kutbitidinov S.Sh.¹, Lohmotko V.V.²

¹Scientific Engineering and Marketing Research Center «UNICON.UZ», Tashkent, Republic of Uzbekistan, E-mail: kutbitidinov@unicon.uz

²The Bonch-Bruевич Saint - Petersburg State University of Telecommunications, Saint - Petersburg, Russian Federation. E-mail: lvv1950@tut.by

Approximations of packet delay discontinuous functions for M/M/1 class QS with multidimensional input flow are offered, which allow to simplify the solution of excess flows distribution.

Key words: IP network, computer-based QS model, packet delay, discontinuous function of delay, break point of the 2-nd kind, convex approximation, flows distribution, flow deviation algorithm.

АНАЛИЗ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА МУЛЬТИВЕЩАНИЯ В СЕТИ LTE СО СХЕМОЙ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ¹

Маркова Е.В., Гудкова И.А.

Российский университет дружбы народов, mkatyushka@mail.ru, igudkova@sci.pfu.edu.ru

Сформулирована задача максимизации средней скорости передачи многоадресного трафика для модели схемы доступа в мультисервисной сети LTE с прерыванием передачи одноадресного трафика и адаптивным изменением скорости передачи многоадресного трафика. Численно решена задача оптимизации в ограничениях на основные показатели эффективности модели – вероятности блокировки и прерывания одноадресного трафика.

Ключевые слова: LTE, управление доступом, мультивещание, адаптивный трафик, вероятность блокировки, вероятность прерывания обслуживания, средняя скорость передачи, задача оптимизации.

Введение

Согласно международным стандартам (TS 36.300, TS 23.401, TS 23.203), в сетях связи четвертого поколения на базе технологии LTE [1] выделяют девять типов услуг, отличающихся друг от друга, в первую очередь, приоритетами в обслуживании и скоростью передачи данных (GBR или non-GBR) [2], в зависимости от значения которой установлено соответствие между типом услуги и типом генерируемого ей трафика – потоковым одноадресным, потоковым многоадресным или эластичным.

В докладе формулируется одна из возможных оптимизационных задач для модели схемы доступа, реализующей механизмы снижения скорости передачи многоадресного трафика и прерывания одноадресного трафика, в сети LTE с суммарной для всех пользователей пиковой скоростью C (например, Мбит/с).

Математическая модель схемы доступа

Предположим, что входящий поток является пуассоновским с параметрами λ , ν для запросов на передачу многоадресного и одноадресного трафика соответственно, со средним экспоненциальным временем занятия соединения μ^{-1} , κ^{-1} и предложенной нагрузкой $\rho = \lambda / \mu$, $a = \nu / \kappa$. Скорость передачи одноадресного трафика d является гарантированной (GBR), без ограничения общности будем считать $d = 1$. Скорость передачи многоадресного трафика может адаптивно изменяться по некоторому заданному набору значений $b_1 > \dots > b_k > \dots > b_K$ в зависимости от загрузки ресурсов соты.

Обозначим $n \in \{0, 1, \dots, C\}$ число установленных одноадресных соединений, $m_k \in \{0, 1\}$, $k = \overline{1, K}$ состояние многоадресного соединения: $m_k = 1$ – услуга мультивещания предоставляется хотя бы одному пользователю со скоростью b_k , $m_k = 0$ – услуга не предоставляется пользователям со скоростью b_k .

Управление доступом реализовано в два этапа – снижение скорости передачи многоадресного трафика до минимального значения b_k , прерывание $b_k - (C - dn)$ одноадресных соединений в случае недостаточности ресурсов для установления

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-03608.

многоадресного соединения даже с минимальным требованием. В связи с этими особенностями схемы управления доступом, основными показателями эффективности модели являются средняя скорость передачи многоадресного трафика

$$\bar{b} = \left(b_1 \sum_{n=0}^{C-b_1} p(\mathbf{e}_1, n) + \sum_{k=2}^K b_k \sum_{n=C-b_k+1}^{C-b_k} p(\mathbf{e}_k, n) \right) \cdot \left(\sum_{n=0}^{C-b_1} p(\mathbf{e}_1, n) + \sum_{k=2}^K \sum_{n=C-b_k+1}^{C-b_k} p(\mathbf{e}_k, n) \right)^{-1},$$

а также вероятность блокировки $B = p(\mathbf{0}, C) + p(\mathbf{e}_K, C - b_K)$ и прерывания обслуживания запросов на передачу одноадресного трафика

$$\Pi = \sum_{n=C-b_K+1}^{C-1} \left[\frac{\binom{n-1}{b_K - (C-n) - 1}}{\binom{n}{b_K - (C-n)}} \right] \frac{\lambda}{\lambda + \nu + n\kappa} p(\mathbf{0}, n) + \left[\frac{\binom{C-1}{b_K - 1}}{\binom{C}{b_K}} \right] \frac{\lambda}{\lambda + C\kappa} p(\mathbf{0}, C).$$

Все эти показатели могут являться целевыми функциями некоторой оптимизационной задачи, результаты решения которой могут быть использованы операторами сетей 4G для разработки рекомендаций по выбору значений параметров услуг в зависимости от требований пользователей, предъявляемых к качеству обслуживания. Отметим, что распределение вероятностей состояний модели $p(\mathbf{m}, n)$ не представимо в мультипликативном виде [3], и для расчета показателей эффективности разработан рекуррентный алгоритм.

Задача оптимизации средней скорости передачи многоадресного трафика

Поскольку решение данной многокритериальной задачи трудоемко, то сведем ее решение к оптимизации одного из параметров в ограничениях на остальные параметры, а именно, максимизируем среднюю скорость передачи многоадресного трафика таким образом, чтобы она не была ниже некоторого порогового значения b^* , в ограничениях на остальные показатели эффективности – вероятность блокировки B^* и прерывания Π^* передачи одноадресного трафика.

Отметим, что средняя скорость \bar{b} также зависит как от начального набора значений скоростей $D = \{d_1, d_2, \dots, d_M\}$, так и от их количества K . Тогда задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned} & \bar{b}(K; b_1, \dots, b_K) \rightarrow \max \\ & \text{многоадресный трафик: } \begin{cases} b_k \in D = \{d_1, d_2, \dots, d_M\}, k = 1, \dots, K, \\ b_1 > b_2 > \dots > b_K, \\ b_K \geq b^*, \end{cases} & (1) \\ & \text{однадресный трафик: } \begin{cases} B(K; b_1, \dots, b_K) \leq B^*, \\ \Pi(K; b_1, \dots, b_K) \leq \Pi^*. \end{cases} \end{aligned}$$

Для иллюстрации примера решения рассмотрим $D = \{8, 6, 4\}$. С таким начальным набором, можно выделить семь различных вариантов наборов скоростей: $(K; b_1, \dots, b_K)$: (1; 4), (1; 6), (1; 8), (2; 6, 4), (2; 8, 4), (2; 8, 6), (3; 8, 6, 4). Однако, согласно проведенным исследованиям, средние скорости максимальны всего для трех наборов: (1; 8), (2; 8, 6), (3; 8, 6, 4). Определим диапазоны суммарной предложенной нагрузки $\rho + a$, в которых при ограничениях $B^* = 10^{-1}$, $\Pi^* = 10^{-4}$ и $b^* = 7.5$ могут быть использованы предложенные наборы скоростей так, чтобы средняя скорость \bar{b} передачи многоадресного трафика была максимальной. Рисунок 1 показывает, как

попарное влияние ограничений на выбор наборов скоростей предоставления услуги мультивещания, так и отображает все три ограничения и позволяет определить точные диапазоны нагрузки, в которых используется каждый из исследуемых наборов.

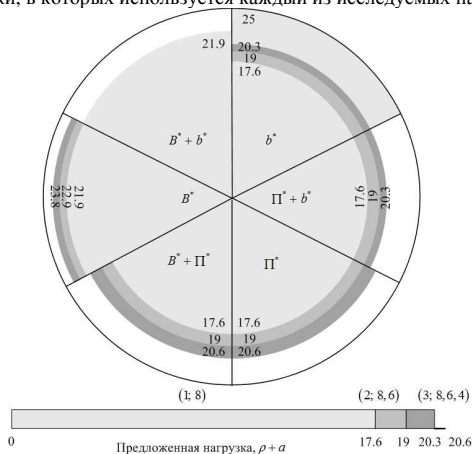


Рис. 1. Выбор набора скоростей при ограничениях b^* , B^* и Π^*

Выводы

В докладе численно решена задача оптимизации для услуг, генерирующих многоадресный и одноадресный трафик, получены рекомендуемые значения набора скоростей предоставления услуги мультивещания для различных значений b^* , B^* и Π^* .

Литература

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
2. Бородакий В.Ю., Гудкова И.А., Маркова Е.В., Рекуррентный алгоритм для расчета характеристик модели приоритетного управления доступом в сети LTE // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – № 11. – С. 45–49.
3. Borodakiy V.Y., Gudkova I.A., Samouylov K.E., and Markova E.V., Modelling and performance analysis of pre-emption based radio admission control scheme for video conferencing over LTE // Proc. of the 2014 ITU Kaleidoscope Conference. – 2014. – P. 53–59.

ANALYZING MEAN BIT RATE OF MULTICAST TRAFFIC IN LTE NETWORK WITH ADAPTIVE RADIO ADMISSION CONTROL SCHEME

Markova E.V., Gudkova I.A.

Peoples' Friendship University of Russia, mkatyushka@mail.ru, igudkova@sci.pfu.edu.ru

The optimization problem is formulated for maximizing the mean bit rate of multicast traffic for RAC scheme in LTE network with service interruption of unicast traffic and quality degradation of multicast traffic. The optimization problem is solved numerically in restrictions on performance measures of model - blocking and pre-emption probabilities for unicast traffic.

Key words: LTE, RAC, multicasting, adaptive traffic, blocking probability, pre-emption probability, mean bit rate, optimization problem.

АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ БЛОКИРОВКИ ОБЛАЧНОГО ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С НЕНАДЕЖНЫМИ ВИРТУАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

Масловская Н.Д., Ахулу Ф.Э.С., Гие Душ Рамуш Р.Д.

*Российский университет дружбы народов,
maslov.natik@mail.ru, dalilarita12@hotmail, comfranckeric99@ymail.com*

Представлен анализ вероятности блокировки запросов в облачной инфраструктуре для центра обработки данных с ненадежными виртуальными машинами.

Ключевые слова: облачный центр обработки данных, виртуальные машины, вероятность блокировки, первая модель Эрланга.

Введение

Облачные вычисления – интенсивно развиваемая и наиболее популярная в последнее время область автоматизации и виртуализации ИТ-процессов, которая позволяет снижать сложность ИТ-систем за счет эффективно управляемых и доступных для запросов пользователей сервисов виртуальной инфраструктуры.

Значение надежности возрастает с усложнением используемых систем и с ростом ответственности выполняемых ими функций. К числу таких систем следует отнести и облачные системы, для которых одной из важнейшей характеристик качества обслуживания пользователя является вероятность блокировки запроса на предоставление ему облачной услуги.

Анализ вероятности блокировки для ЦОД

Рассмотрим облачный центр обработки данных (ЦОД), в котором имеется C виртуальных машин (ВМ). Функционирование ВМ описывается марковским процессом (МП) над пространством состояний $\{0, \dots, C\}$.

Предположим, что ВМ ненадежны и выход из строя ВМ происходит с интенсивностью α , возобновление работы ВМ – с интенсивностью β , причем с вероятностью c (от англ. coverage probability) выход из строя одной ВМ не оказывает влияния на работоспособность всех остальных ВМ. Обозначим через P_m вероятность того, что m ВМ находится в рабочем состоянии. Граф интенсивностей переходов показан на Рис. 1.

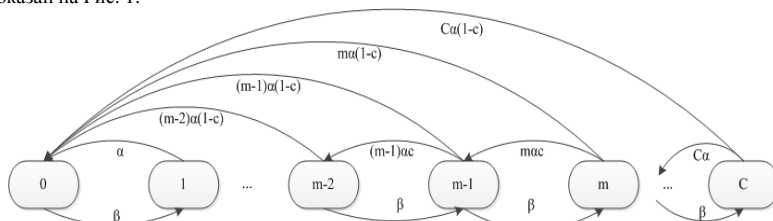


Рис. 1. Граф интенсивностей переходов между состояниями ВМ

Если $c = 0$, то распределение вероятностей имеет вид:

$$P_m = P_0 \frac{\beta^m}{\prod_{i=1}^m (\beta + i\alpha)}, \quad m = 1, \dots, C-1, \quad P_C = P_0 \frac{\beta^C}{C\alpha \prod_{i=1}^{C-1} (\beta + i\alpha)},$$

$$P_0 = \left[\sum_{m=0}^{c-1} \frac{\beta^m}{\prod_{i=1}^m (\beta + i\alpha)} + \frac{\beta^c}{C\alpha \prod_{i=1}^{c-1} (\beta + i\alpha)} \right]^{-1}.$$

Если $c = 1$, то распределение вероятностей имеет вид:

$$P_m = P_0 = \frac{\beta^m}{\alpha^m m!}, \quad m = 1, \dots, C,$$

$$P_0 = \left[\sum_{m=0}^c \frac{\beta^m}{\alpha^m m!} \right]^{-1}.$$

Пусть в ЦОД поступает пуассоновский поток запросов на предоставление облачной услуги с интенсивностью λ , а длительность пользования услугой распределена по экспоненциальному закону со средним μ^{-1} . Запрос пользователя будет обслужен при наличии в ЦОД хотя бы одной свободной работающей ВМ. Вероятность блокировки запроса пользователя в ЦОД находится по первой формуле Эрланга. Основной вероятностно-временной характеристикой данной модели является вероятность B блокировки запроса на предоставление облачной услуги с учетом ненадежности ВМ, которую можно найти по формуле полной вероятности:

$$B \approx \sum_{m=0}^c E(m, \rho) \cdot P_m. \quad (1)$$

Выводы

В докладе приведены результаты численного анализа вероятности блокировки для облачного ЦОД, состоящего из ВМ, функционирующих в ненадежном режиме, в том числе проведена оценка точности предложенной формулы (1) при помощи имитационного моделирования.

Литература

1. Башарин Г. П. Лекции по математической теории телетрафика. – М.: Изд-во РУДН, 2007. – 268 с.: ил.
2. Qian H., Medhi D. and Triverdi K. 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management 2011: A Hierarchical Model to Evaluate Quality of Experience of Online Services hosted by Cloud Computing//University of Missouri-Kansas City, USA, Duke University, USA. – 2011.
3. Гудкова И.А., Смекалова В.А. К анализу вероятности блокировки в модели доступа к распределенной облачной инфраструктуре // Материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН, 2013. – С. 26-28.

ANALYZING BLOCKING PROBABILITY OF CLOUD DATA CENTER WITH UNRELIABLE VIRTUAL MACHINES

Maslovskaya N.D., Ahulu F., Gie Dush Ramush R. D.

Peoples' Friendship University of Russia, maslov.natik@mail.ru, dalilarita12@hotmail, comfranckeric99@ymail.com

The analysis of request blocking probability in cloud infrastructure data center with unreliable virtual machines is submitted.

Key words: cloud data center, virtual machines, blocking probability, Erlang's B-formula.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОТЫ СЕТИ LTE С ТЕХНОЛОГИЕЙ ВРЕМЕННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ (LSA)¹

Мокров Е.В.¹, Андреев С.Д.^{1,2}, Пономаренко-Тимофеев А.А.²,
Коротков С.В.³, Жавнис Р.С.³

¹Российский университет дружбы народов,

²Технологический университет Тампере, Тампере, Финляндия

³ОАО «Концерн «Системпром»

melkor77@yandex.ru, serge.andreev@gmail.com, alexeyponomarenko92@gmail.com,
skorotkov@vivos.ru, zhavnis@gmail.com

Построена имитационная модель для анализа производительности системы с временным диапазоном частот в соте сети LTE (Licensed Shared Access). Проведен анализ основных характеристик системы – среднего числа пользователей, обслуживание которых было прервано, и вероятности блокировки.

Ключевые слова: LTE, LSA, имитационное моделирование, диапазон частот, недоступность услуги

Введение

Технология временного выделения диапазона частот позволяет владельцу полосы частотного спектра сдавать редко используемые им полосы частот другой стороне – арендатору – при гарантированной возможности изъятия этих частот в случае необходимости. Данная технология особенно актуальна в связи с наблюдаемой в последнее время нехваткой свободных частот. Эта технология может использоваться как крупными операторами для расширения своего частотного спектра, так и небольшими операторами связи в качестве доступной альтернативы покупке дорогостоящей лицензии на использование частот. Она также помогает владельцу задействовать малоиспользуемые им участки сети [1] по всем трем измерениям – частоте, территории и времени без значительной потери качества, а также сохраняет за ним право изъятия сдаваемой им полосы в любой момент времени.

Постановка задачи

Целью данной работы является анализ работы LSA-полосы (Licensed Shared Access). В связи с этим будем считать, что у оператора нет своей полосы частот, и он использует только одну LSA-полосу, которая может быть изъята владельцем в любой момент времени. В случае изъятия полосы, пользователи (заявки), подключенные к ней в момент изъятия, переходят в режим ожидания в буфере. При возвращении полосы заявки, чье обслуживание было прервано, в приоритетном относительно вновь поступивших заявок порядке занимают полосу (приборы), где они дообслуживаются оставшее время [2]. Таким образом, рассматриваемую систему можно описать как систему массового обслуживания с ненадежными приборами и сохранением места в очереди.

Проведено имитационное моделирование работы такой системы и исследованы среднее число пользователей, ожидающих начала обслуживания, среднее число пользователей в системе, среднее число пользователей, обслуживание которых было прервано, а также вероятность блокировки.

Данная работа отражает только часть текущих результатов по технологии LSA. В [3] описан сценарий реализации LSA для аэропорта и мобильного оператора, поэтому

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-00953 а.

данная работа опирается на этот сценарий при проведении имитационного моделирования. Согласно [3], время изъятия полосы определяется временем пролета самолета над сотой, поэтому для него было рассмотрено детерминированное распределение. Интервал времени между изъятиями определяется расписанием вылетов, и, таким образом, соответствующее распределение не имеет «тяжелого хвоста». В связи с этим, было выбрано нормальное распределение времени между изъятиями.

Для моделирования число приборов бралось равным $C = 8$, размер буфера равнялся $r = 20$, среднее время между изъятиями полосы равнялось $\alpha^{-1} = 120$ с, среднее время изъятия — $\beta^{-1} = 60$ с. Средняя продолжительность предоставления услуги пользователю $\mu^{-1} = 250$ с, при этом в случае приостановления обслуживания, пользователь будет дожидаться возобновления обслуживания. Были рассмотрены экспоненциальное (кривые 1 и 2) и детерминированное (кривые 3 и 4) распределения времени изъятия полосы, а также экспоненциальное (кривые 1 и 3) и нормальное (кривые 2 и 4) распределения времени между изъятиями полосы.

Стоит отметить, что в работе [2] эти результаты получены в аналитическом виде для случая экспоненциального распределения времени изъятия и времени между изъятиями. Однако в данной работе эти результаты получены путем имитационного моделирования, а также проведено их сравнение с результатами, полученными для случаев 2-4. При этом погрешность результатов, полученных по приведенным в [2] формулам относительно представленных в данной работе для кривой 1 была минимальна.

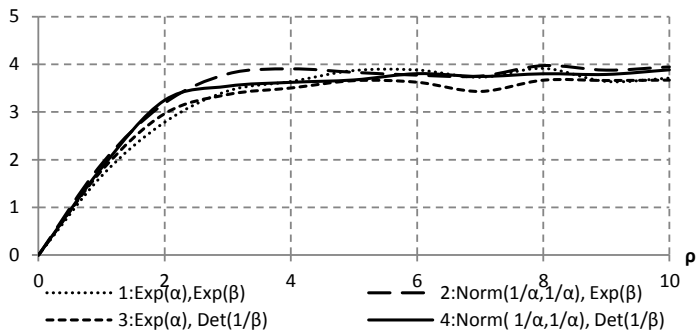


Рис. 1. Среднее число пользователей, обслуживание которых было прервано

На рис. 1 показано среднее число пользователей, чье обслуживание было прервано, при различных распределениях времени между изъятиями полосы и времени изъятия полосы. Как видно из графика, погрешность результатов при различных распределениях не так велика — максимальное расхождение в 0,46 достигается между 1 и 4 случаями при нагрузке равной 2 Эрл, причем при росте нагрузки погрешность уменьшается. Можно видеть, что среднее число прерванных заявок не превосходит 4. Такое слабое изменение числа прерванных заявок связано с тем, что для построения данного графика при постоянной интенсивности обслуживания изменялась только интенсивность поступления заявок, в то время как число прерванных заявок зависит в большей степени от интенсивностей изъятия и возврата полосы, а также, в меньшей степени, от интенсивности обслуживания заявки. Тем не менее, заметен рост числа прерванных заявок, в зависимости от роста нагрузки.

На рис. 2 показан график вероятности блокировки для соответствующих значений нагрузки для всех рассматриваемых случаев. Можно видеть, что для рассматриваемых значений максимальное значение абсолютной погрешности 0,13 достигается при нагрузке 2 Эрл между 2 и 3 случаями, причем при росте нагрузки погрешность падает и

при нагрузке в 7 Эрл ее среднее значение уже равно 0,05 с максимумом 0,09, а при 10 Эрл среднее равняется 0,02. Таким образом, можно сделать вывод, что при достаточно больших значениях нагрузки, абсолютная погрешность при расчете для 4 рассмотренных распределений будет достаточно мала.

Также стоит отметить, что для малых значений нагрузки, кривая 2 может выступать в качестве оценки сверху для полученных результатов.

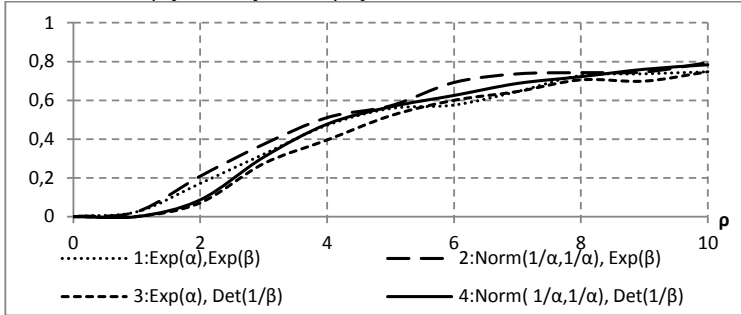


Рис. 2. Вероятность блокировки

Заключение

В данной работе представлены результаты имитационного моделирования системы с LSA-полосой. При этом были рассмотрены различные распределения времени изъятия и возврата полосы.

Литература

1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference document (SRdoc); Mobile broadband services in the 2 300 MHz - 2 400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime // ETSI TR 103 113v1.1.1(2013-07)
2. Borodakiy V.Y., Samouylov K.E., Gudkova I.A., Ostrikova D.Y., Ponomarenko A.A., Turlikov A.M., and Andreev S.D. Modeling unreliable LSA operation in 3GPP LTE cellular networks // Proc. of the 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2014 (October 6–8, 2014, St. Petersburg, Russia).//– IEEE. – 2014. – P. 390–396.
3. Андреев С.Д., Пономаренко-Тимофеев А.А., Гудкова И.А., Мокров Е.В. Имитационная модель схемы реализации технологии LSA для аэропорта и мобильного оператора // в данном сборнике.

SIMULATION FOR PERFORMANCE ANALYSIS OF LTE NETWORK WITH LSA BAND

Mokrov E.V.¹, Andreev S.D.^{1,2}, Ponomarenko-Timofeev A.A.², Korotkov S.V.³, Zhvanis R.S.³

¹ Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia

²Tampere University of Technology, Tampere, Finland

³“Concern “Systemprom”

melkor77@yandex.ru, serge.andreev@gmail.com, alexeyponomarenko92@gmail.com,

skorotkov@vivos.ru, zhvanis@gmail.com

In this paper a simulation model to evaluate the LTE network cell performance with licensed shared access technology (LSA) was built. The analysis of the main characteristics of the system has been conducted – the average number of users waiting for the service to start, the average number of users that were interrupted and blocking probability.

Key Words: LTE, LSA, simulation, frequency band, unavailable service

О ПРИМЕНЕНИИ ФОРМУЛЫ ЛИНДЛИ К АНАЛИЗУ КОЛОНН АВТОМОБИЛЕЙ

Наумов В.А., Мартикайнен О.Е.

*Исследовательский центр процессов обслуживания, Хельсинки
valeriy.naumov@pfju.fi, olli.martikainen@pfju.fi*

В этой работе мы мы приводим вариант формулы Линдли, удобный для применения к анализу колонн в автомобильных транспортных сетях.

Ключевые слова – формула Линдли, временной интервал, дистанция, колонна автомобилей.

Введение

Рассмотрим автомобили движущиеся в одном направлении по единственной полосе. Колонной мы будем называть группу автомобилей, в которой все, кроме лидера группы, движутся на дистанции безопасности от впереди идущих. Автомобили находящиеся между такими колоннами, а также лидеры колонн, движутся свободно – у них расстояние до впереди идущего автомобиля больше, чем дистанция безопасности. Колонны автомобилей чем-то напоминают очереди в системах массового обслуживания (СМО). Неудивительно, что постоянно предпринимаются новые попытки использовать теорию массового обслуживания (ТМО) для анализа движения автомобилей (см. обзоры [1] и [2]). Для описания ситуации на дороге можно использовать либо координаты автомобилей в определённый момент времени t (пространственная модель), либо моменты времени, когда автомобили проезжают некоторый пункт s на дороге (временная модель). При этом положение автомобиля на дороге может задать координатой его заднего бампера. Желаемое положение автомобиля – это его положение на дороге при отсутствии помех со стороны впереди идущего автомобиля. Аналогично, желаемое время прибытия автомобиля в определённый пункт – это время его прибытия туда при свободном движении. В [3] были получены формулы описывающие образование на однополосной дороге колонн автомобилей, аналогичные формуле Линдли [4]. В настоящей работе мы приводим другой вариант этой формулы, более удобный для применения.

Уравнение Линдли

Перенумеруем все автомобили начиная с 0, и введём следующие обозначения которые проиллюстрированы на рис. 1 и 2.

$d_k^B(s)$ - желаемое время прибытия k -го автомобиля в пункт s ;

$a_k^B(s)$ - действительное время прибытия k -го автомобиля в пункт s ;

$f_k^B(s)$ - временной интервал безопасности для $(k+1)$ -го автомобиля в пункте s ;

$\delta_k^B(s) = a_k^B(s) - d_k^B(s)$ - опоздание k -го автомобиля в пункт s ;

$\tau_k^B(s) = d_k^B(s) - d_{k-1}^B(s)$ - длительность интервала между желательными временами прибытиями $(k-1)$ -го и k -го автомобилей в пункт s ;

$d_k^{\Pi}(t)$ - желаемое положение k -го автомобиля в момент t ;

$a_k^{\Pi}(t)$ - действительное положение k -го автомобиля в момент t ;

$f_k^{\Pi}(t)$ - дистанция безопасности для $(k+1)$ -го автомобиля в момент t ;

$\delta_k^\Pi(t) = d_k^\Pi(t) - a_k^\Pi(t)$ - отставание k -го автомобиля в момент t ;

$\tau_k^\Pi(t) = d_{k-1}^\Pi(t) - d_k^\Pi(t)$ - расстояние между желаемыми положениями $(k-1)$ -го и k -го автомобилей в момент t .

В этих обозначениях верхние символы **в** и **п** указывают на то, какая модель рассматривается, временная или пространственная.

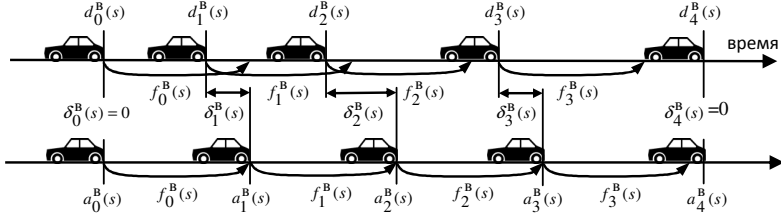


Рис. 1. Временная модель движения автомобилей

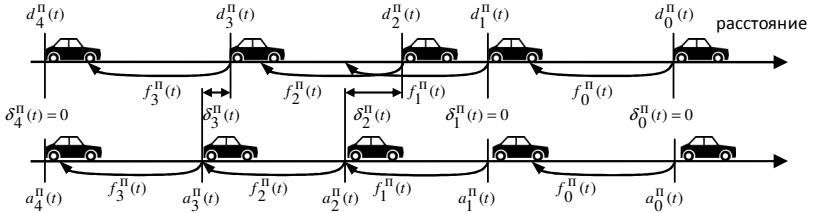


Рис. 2. Пространственная модель движения автомобилей

В [3] показано, что величины $\delta_k^B(s)$ и $\delta_k^\Pi(t)$ удовлетворяют рекуррентной формуле Линдли для длительностей ожидания заявок в СМО $G/G/1/\infty$ [4], а именно:

$$\delta_0^B(s) = 0, \quad \delta_k^B(s) = (\delta_{k-1}^B(s) + f_{k-1}^B(s) - \tau_k^B(s))^+, \quad k \geq 1, \quad (1)$$

$$\delta_0^\Pi(t) = 0, \quad \delta_k^\Pi(t) = (\delta_{k-1}^\Pi(t) + f_{k-1}^\Pi(t) - \tau_k^\Pi(t))^+, \quad k \geq 1, \quad (2)$$

где z^+ обозначает положительную часть числа z . При этом величины $f_k^B(s)$ и $f_k^\Pi(t)$ играют роль длительностей обслуживания заявок, а величины $\tau_k^B(s)$ и $\tau_k^\Pi(t)$ аналогичны длительностям интервалов между их поступлениями.

Уточнение формул

Обозначим $V_k(s)$ – скорость k -го автомобиля в пункте s , Δ_k – его длину и $\Delta_k^B(s) = \Delta_k / V_k(s)$ – время прохождения им пункта s . Величины $f_{k-1}^\Pi(t) > \Delta_k$ и $\tau_k^\Pi(t) > \Delta_k$ включают в себя длину k -го автомобиля, а величины $f_{k-1}^B(s) > \Delta_k^B(s)$ и $\tau_k^B(s) > \Delta_k^B(s)$ – время прохождения k -м автомобилем пункта s . Поэтому плотности

распределения этих величин равны нулю на интервалах $(0, \Delta_k)$ и $(0, \Delta_k^B(s))$ соответственно. К сожалению, в ТМО не так много результатов для СМО с такими распределениями. Однако в нашем случае ситуация упрощается тем, что как плотности величин $f_{k-1}^{\Pi}(t)$, $\tau_k^{\Pi}(t)$, так и плотности величин $f_{k-1}^B(s)$, $\tau_k^B(s)$, сдвинуты вправо на одинаковые величины. Введём новые величины

$$\tilde{f}_{k-1}^B(s) = f_{k-1}^B(s) - \Delta_k^B(s), \quad \tilde{\tau}_k^B(s) = \tau_k^B(s) - \Delta_k^B(s),$$

$$\tilde{f}_{k-1}^{\Pi}(t) = f_{k-1}^{\Pi}(t) - \Delta_k, \quad \tilde{\tau}_k^{\Pi}(t) = \tau_k^{\Pi}(t) - \Delta_k.$$

Очевидно равенства (1)-(2) эквивалентны следующим рекуррентным формулам:

$$\delta_0^B(s) = 0, \quad \delta_k^B(s) = (\delta_{k-1}^B(s) + \tilde{f}_{k-1}^B(s) - \tilde{\tau}_k^B(s))^+, \quad k \geq 1, \quad (3)$$

$$\delta_0^{\Pi}(t) = 0, \quad \delta_k^{\Pi}(t) = (\delta_{k-1}^{\Pi}(t) + \tilde{f}_{k-1}^{\Pi}(t) - \tilde{\tau}_k^{\Pi}(t))^+, \quad k \geq 1, \quad (4)$$

в которых плотности величин помеченных символом \sim уже не имеют сдвига вправо.

Пусть, например, величины $\tilde{f}_k^{\Pi}(t)$, $k=0,1,\dots$, $\tilde{\tau}_k^{\Pi}(t)$, $k=1,2,\dots$, независимы в совокупности, причём $\tilde{f}_k^{\Pi}(t)$ экспоненциально распределены с параметром $\mu(t)$, а $\tilde{\tau}_k^{\Pi}(t)$ экспоненциально распределены с параметром $\lambda(t) < \mu(t)$. Тогда при k стремящемся к ∞ среднее значение величин $\delta_k^{\Pi}(t)$ стремится к $\rho(t)/(\mu(t) - \lambda(t))$, где $\rho(t) = \lambda(t)/\mu(t)$ [4].

Выводы

В этой работе мы показали как при анализе колонн автомобилей с использованием формулы Линдли можно избежать трудностей вызванных тем, что плотности распределения интервалов между желаемыми положениями соседних автомобилей и плотности распределения дистанций безопасности имеют сдвиг вправо.

Литература

1. Gartner N., Messer C.J., Rathi A.K. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report. Transportation Research Board, Washington. –2001.
2. Maerivoet S., De Moor B. Transportation Planning and Traffic Flow Models. // SISTA Technical Report 05-155. –2008. –<http://arxiv.org/pdf/physics/0507127.pdf>
3. Naumov V. New Queueing Approach to the Vehicle Platoon Analysis, // Proc. 5th Int. Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, Valencia, Spain, September 20-25, –2010. –Pp. 175-179.
4. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н., Введение в теорию массового обслуживания. 2-е издание. –Наука, –1987.

ON APPLICATION OF LINDLEY'S FORMULA TO THE VEHICLE PLATOON ANALYSIS

Naumov V.A., Martikainen O.E.

Service Innovation Research Institute, Helsinki
valeriy.naumov@pfu.fi, olli.martikainen@pfu.fi

In this paper we present a variant of the Lindley's formula which is convenient for the vehicle platoon analysis.

Keywords - Lindley's formula, distance headway, time headway, vehicle platoon.

ОБ ИНВАРИАНТНОСТИ СИСТЕМЫ С ОГРАНИЧЕННЫМИ РЕСУРСАМИ ОТНОСИТЕЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ¹

Наумов В.А.¹, Самуйлов К.Е.², Сопин Э.С.²

¹Российский университет дружбы народов, {ksam, esopin}@sci.pfu.edu.ru

²Исследовательский центр процессов обслуживания, Хельсинки, valeriy.naumov@pfu.fi

В работе доказана инвариантность стационарного распределения системы с ограниченными ресурсами относительно распределения времени обслуживания заявок.

Ключевые слова: система массового обслуживания, ограниченные ресурсы, инвариантность относительно распределения времени обслуживания, LTE.

Введение

Популярность мультимедийных услуг в современных беспроводных системах связи, таких как LTE (Long Term Evolution) и LTE-Advanced, вынуждает искать способы эффективного использования ограниченных радиоресурсов, а также разработать методы и алгоритмы для оценки показателей качества предоставляемых услуг.

При этом классические мультисервисные модели, используемые для анализа беспроводных сетей, не учитывают важную особенность их функционирования. Количество радиоресурсов, таких как доступный частотный диапазон или максимальная мощность передачи сигнала, выделяемых каждой сессии, зависит не только от требуемой скорости передачи данных, но и от удаленности мобильного терминала от базовой станции, преград между ними и т.д. Поэтому в работах [1, 2] была предложена новая модель для анализа вероятностно-временных характеристик базовой станции в виде многолинейной системы массового обслуживания, в которой заявки в течение всего времени обслуживания занимают некоторый объем ресурсов. В статье [3] было получено стационарное распределение системы в аналитическом виде в случае пуассоновского входящего потока и экспоненциального распределения времени обслуживания заявок.

В данной работе доказана теорема об инвариантности стационарного распределения рассматриваемой системы относительно функции распределения времени обслуживания заявок.

Система с ограниченными ресурсами

Рассматривается многолинейная система массового обслуживания с $N < \infty$ приборами, в которой заявки в течение всего времени обслуживания занимают некоторое количество из ограниченного объема $R < \infty$ ресурсов. Предположим, что поступающий поток является пуассоновским с параметром λ , длительности обслуживания заявок независимы между собой и от поступающего потока.

Поступающая в систему заявка занимает случайное количество r_i ресурсов, если в системе имеется нужный объем свободного ресурса, в противном случае заявка теряется (рис. 1). Случайные величины r_i независимы в совокупности и одинаково распределены с функцией распределения (ФР) $F(x)$. В момент окончания обслуживания заявки τ_i суммарный объем занятого ресурса уменьшается на случайную величину v_i . Случайные величины v_i при заданном числе заявок в системе $\xi(\tau_i)$ и суммарном объеме занятого

¹ Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-07-03608.

ресурса $\delta(\tau_i)$ не зависит от поведения системы в прошлом и имеет функцию распределения

$$F_k(x|y) = P(v_i \leq x | \xi(\tau_i) = k; \delta(\tau_i) = y), \quad x \leq y, \quad \text{где}$$

$$F_k(x|y) = P(r_k \leq x | r_1 + r_2 + \dots + r_k = y).$$

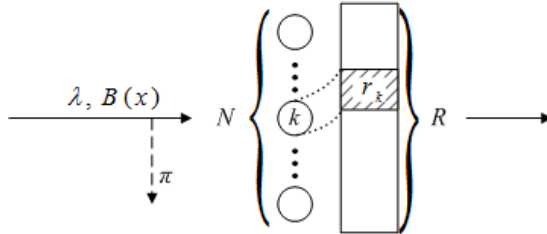


Рис. 1. Система массового обслуживания с N приборами и объемом ресурсов R .

В случае экспоненциального закона распределения времени обслуживания заявок получены аналитические формулы для стационарного распределения системы [3]:

$$Q_k(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = k; \delta(t) \leq x\} = q_0 F^{(k)}(x) \frac{\rho^k}{k!}, \quad 0 \leq x \leq R, \quad 0 < k \leq N, \quad (1)$$

$$q_0 = \left(1 + \sum_{k=1}^N F^{(k)}(R) \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где $F^{(k)}(x)$ - k -кратная свертка ФР $F(x)$.

Анализ рассматриваемой модели в случае с произвольным законом распределения времени обслуживания $B(x)$ с конечным математическим ожиданием можно проводить с помощью однородного марковского процесса в более сложном пространстве состояний $(\xi(t), \delta(t), \beta(t))$, где $\beta(t) = (\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_{\xi(t)}(t))$ - время, прошедшее с момента поступления заявок на обслуживание.

По аналогии с теоремой Севастьянова [4] об инвариантности первой модели Эрланга относительно распределения времени обслуживания была доказана следующая теорема.

Теорема. Если $B(x)$ имеет конечное математическое ожидание, то стационарное распределение определенного выше марковского процесса имеет вид

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = k; \delta(t) \leq x; \beta_1(t) < \beta_1, \dots, \beta_k(t) < \beta_k\} = q_0 F^{(k)}(x) \frac{\lambda^k}{k!} [1 - B(\beta_1)] \dots [1 - B(\beta_k)], \quad 0 \leq x \leq R, \quad 0 < k \leq N, \quad (3)$$

$$q_0 = \left(1 + \sum_{k=1}^N F^{(k)}(R) \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Легко проверить, что проинтегрировав формулу (3) по $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, мы получим формулу (1) для случая экспоненциального распределения времени обслуживания, а значит, стационарное распределение системы не зависит от вида ФР $B(x)$.

Выводы

В работе доказана инвариантность многолинейной системы массового обслуживания с ограниченным ресурсом относительно распределения времени обслуживания заявок. Помимо прочего, полученный результат имеет и существенное прикладное значение, поскольку позволяет провести анализ показателей качества функционирования беспроводных сетей связи без учета особенностей различных распределений времени обслуживания.

Литература

1. Наумов В.А., Самуйлов К.Е.. О моделировании систем массового обслуживания с множественными ресурсами // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика», №3, 2014. - с. 58–62.
2. Naumov V., Samouylov K., Sopin E., Andreev S. Two Approaches to Analysis of Queuing Systems with Limited Resources. Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), IEEE, 2014, pp. 485–488.
3. Наумов В.А., Самуйлов К.Е., Самуйлов А.К. О суммарном объеме ресурсов, занимаемых заявками. // Автоматика и телемеханика (в печати).
4. Севастьянов Б.А. Эргодическая теорема для марковских процессов и ее приложение к телефонным системам с отказами // Теория вероятностей и ее применения. Том II, №1, 1957. - с. 106-116.

ON INVARIANCE OF QUEUING SYSTEM WITH LIMITED RESOURCES WITH RESPECT TO SERVICE TIME DISTRIBUTION FUNCTION

Naumov V.A.¹, Samuylov K.E.², Sopin E.S.²

¹Service Innovation Research Institute, Helsinki, valeriy.naumov@pfu.fi,

²Peoples' Friendship University of Russia, ksam, esopin@sci.pfu.edu.ru

In this work, we proved the invariance of multiserver queuing system with limited resources with respect to service time distribution.

Key words: queuing system, limited resources, invariance with respect to service time distribution.

ПОЛУМАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ

Обжерин Ю.Е., Сидоров С.М.

ФГБОУ ВО Севастопольский государственный университет, vmsevntu@mail.ru

В работе построены полумарковские модели с дискретно-непрерывным пространством состояний многофазных систем с промежуточными накопителями. Для приближенного нахождения характеристик надежности и эффективности используются алгоритмы фазового укрупнения.

Ключевые слова: полумарковский процесс, промежуточные накопители, характеристики надежности и эффективности, алгоритм фазового укрупнения.

Введение

Многофазные системы с промежуточными накопителями играют важную роль в автоматизированном производстве, информационно-телекоммуникационных системах, системах энергоснабжения и т.д. [1-5]. Промежуточные накопители повышают надежность и эффективность функционирования систем, согласовывают работу элементов системы, имеющих различную производительность. В информационных системах в качестве накопителей используются промежуточные запоминающие устройства.

Одной из проблем при моделировании многофазных систем с промежуточными накопителями является большая размерность состояний. В данной работе для построения моделей многофазных систем с промежуточными накопителями используется аппарат теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний. Для приближенного нахождения характеристик надежности и эффективности систем используются алгоритмы фазового укрупнения [6-7].

Описание системы

Рассмотрим для определенности многофазную однопоточную систему, состоящую из обслуживающих устройств и промежуточных накопителей, связи между которыми изображены на рис. 1.

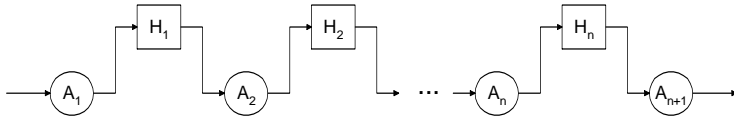


Рис. 1. Структурная схема многофазной однопоточной системы с накопителями

На схеме приняты следующие обозначения: $A_i, i = \overline{1, n+1}$ – обслуживающие устройства; $H_i, i = \overline{1, n}$ – промежуточные накопители. Полумарковская модель системы строится при следующих предположениях:

1. Возможными состояниями каждого из обслуживающих устройств A_i являются: работоспособное, восстановления и отключения.

2. Время безотказной работы (восстановления) устройства A_i является случайной величиной $\alpha_i^{(1)}(\alpha_i^{(0)})$ с функциями распределения $F_i^{(1)}(x)(F_i^{(0)}(x))$. Случайные

величины $\alpha_i^{(1)}(\alpha_i^{(0)})$ независимы, имеют конечные математические ожидания; у функций распределения $F_i^{(1)}(x)(F_i^{(0)}(x))$ существуют плотности $f_i^{(1)}(x)(f_i^{(0)}(x))$.

3. Накопители H_i являются абсолютно надежными устройствами, имеющими ограниченные емкости $h_i \geq 0$ (емкость накопителя H_i выражается в единицах времени, которое понадобится устройству A_{i+1} для освобождения этого накопителя, полностью заполненного).

4. Работоспособное устройство A_i отключается, сохраняя работоспособное состояние, при пустом накопителе H_{i-1} или переполненном накопителе H_{i+1} .

5. Производительность устройства A_i равна c_i , при этом $c_i \geq c_{i+1}$, $i = \overline{1, N}$.

6. Система находится в состоянии отказа, если выходное устройство A_{n+1} не производит продукцию.

7. Восстановление устройства A_i предполагается неограниченным.

Для описания функционирования рассматриваемой системы введем следующее множество полумарковских состояний:

$$E = \left\{ i\bar{d}\bar{x}\bar{z} : i = \overline{1, n+1}, \bar{d} = (d_1, \dots, d_{n+1}), \bar{x} = (x_1, \dots, x_{n+1}), \bar{z} = (z_1, \dots, z_n) \right\},$$

где i – номер устройства A_i , отказавшего или восстановившегося последним. Элемент d_k вектора \bar{d} фиксирует состояние устройства A_k : работоспособное ($d_k = 1$), восстановления ($d_k = 0$), отключения ($d_k = 2$). Значением элемента x_k вектора \bar{x} является время, прошедшее с момента изменения состояния устройства A_k ; отметим, что $x_i = 0$. Компонента z_k вектора \bar{z} определяет время, в течение которого накопитель H_k может снабжать продукцией устройство A_{k+1} , $0 \leq z_k \leq h_k$, $k = \overline{1, n}$.

Нахождение характеристик системы

Для приближенного нахождения стационарных характеристик системы используем метод, разработанный в [7], и имеющий общую основу с алгоритмами фазового укрупнения [6-7].

Важным моментом применения этого метода является выбор опорной системы S_0 . Предположим, что у устройств $A_i, i = \overline{1, n}$ «быстрое» восстановление, т.е. их времена восстановления $\alpha_i^{(0)}$ зависят от малого положительного параметра ε таким образом, что

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} M\alpha_i^{(0, \varepsilon)} = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

а у выходного устройства A_{n+1} времена безотказной работы и восстановления фиксированы. Это приводит к тому, что опорной системой S_0 будет являться система, у которой устройства $A_i, i = \overline{1, n}$ восстанавливаются мгновенно, а накопители H_i полностью заполнены.

Используя указанный подход, можно получить приближенные выражения для стационарных характеристик системы. Например, для стационарного коэффициента готовности $K_c(h_1, \dots, h_n)$ получается следующее выражение:

$$K_c(h_1, \dots, h_n) \approx \prod_{k=1}^{n+1} M\alpha_k^{(1)} \left/ \left[\prod_{k=1}^{n+1} M\alpha_k^{(1)} + M\alpha_{n+1}^{(0)} \prod_{i=1}^n M\alpha_i^{(1)} + \sum_{i=1}^n \prod_{r=1}^{i-1} M\alpha_r^{(1)} \int_{\sum_{i=1}^n h_i}^{\infty} \bar{F}_i^{(0,e)} dt \prod_{m=i+1}^{n+1} \int_{\sum_{i=1}^m h_i}^{\infty} \bar{F}_m^{(1)}(x_m) dx_m \right] \right. \quad (2)$$

Производительность $\Pi(h_1, \dots, h_n)$ многофазной однопоточной линии приближенно определяется по формуле:

$$\Pi(h_1, \dots, h_n) = K_c(h_1, \dots, h_n) \cdot c_{n+1}, \quad (3)$$

где c_{n+1} – производительность выпускного устройства A_{n+1} .

Выводы

В работе рассмотрены полумарковские модели многофазных систем с промежуточными накопителями. Данный подход может быть использован при моделировании многофазных систем различной структуры. Показано, что для приближенного нахождения характеристик систем можно эффективно использовать алгоритмы фазового укрупнения.

Литература

1. Севастьянов Б.А. Задача о влиянии бункеров на среднее время простоя автоматической линии станков // Теория вероятностей и ее применение. – 1962, Т.7. – Вып.4. – С.11-24.
2. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
3. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2000. – 284 с.
4. Joa D.D., Buzacott J.A. Flexible manufacturing system with limited local buffers // Intern. J. of Production Research. –1986. – V.24. – No1. – P.107-117.
5. Ushakov I.A. Probabilistic reliability models. Wiley, 2012. 244 p.
6. Королук В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. – К.: Наук. Думка, 1982. – 236 с.
7. Корлат А.Н., Кузнецов В.Н., Новиков М.М., Турбин А.Ф. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 276 с.

SEMI-MARKOV MODELS OF MANY-PHASE SYSTEMS WITH INTERMEDIATE BUFFERS

Obzherin Yu. E., Sidorov S.M.

Sevastopol State University, vmsevtu@mail.ru

In this work semi-Markov models with discrete-continuous state space of multiphase systems with intermediate buffers are built. For the approximate determination of the characteristics of reliability and efficiency algorithms of phase merging are applied.

Key words: semi-Markov process, intermediate buffers, characteristics of reliability and efficiency, algorithm of phase merging.

СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОБНОВЛЕНИЕМ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИЕ В ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ

Полянцеv В.Д.

Российский университет дружбы народов, РУДН, v-king07@mail.ru

В докладе приводится описание системы массового обслуживания с обновлением, строится граф переходов, находятся стационарные вероятности состояний цепи Маркова.

Ключевые слова: системы массового обслуживания с обновлением, функционирование в дискретном времени.

Введение

Первыми системы массового обслуживания (СМО) с обновлением начал изучать А.Я. Крейнин в 70-ых годах прошлого столетия. И, не смотря на сравнительно небольшой возраст, эта тема вызывает достаточно большой интерес. Подобные системы уже применяются в моделировании компьютерных и телекоммуникационных систем, а так же некоторых финансовых и экономических процессов. А за счет своей универсальности СМО с обновлением имеют перспективу со временем найти применение во множестве других областей.

Общее описание модели

Рассматривается модель СМО с одним обслуживающим прибором, накопителем конечной емкости и двумя типами поступающих заявок:

- 1) Обычные заявки
- 2) Заявки «с вирусом»

При пустой системе заявка поступает сразу на прибор, если прибор занят – встает в очередь, а если накопитель заполнен – теряется.

Обычная заявка после обслуживания просто покидает систему, а заявка «с вирусом», покидая систему после обслуживания, очищает накопитель или, другими словами, «убивает» очередь. Таким образом, после обслуживания заявки «с вирусом» рассматриваемая система массового обслуживания остается пустой и начинает заполняться заново.

Описание функционирования модели в дискретном времени

Данную СМО характеризует цепь Маркова, образованная числом заявок, находящихся в системе, в последовательные моменты окончания тактов.

Входящий поток имеет геометрическое распределение. Это означает, что на каждом такте с вероятностью a , не зависящей от моментов поступления всех предыдущих заявок, в систему поступит новая заявка.

Время обслуживания заявки так же распределено геометрически. Значит, вероятность окончания обслуживания заявки, находящейся на приборе, на любом такте равна b и не зависит от предыстории функционирования системы.

Таким образом, мы имеем систему $Geo|GeoR|1|C$, которая является аналогом системы, функционирующей в непрерывном времени, $M|MR|1|C$.

Как и для всякой СМО, функционирующей в дискретном времени, для $Geo|GeoR|1|C$ необходимо задать последовательность действий в момент окончания такта. В данной работе последовательность будет следующая:

- 1) Заявка, находящаяся на приборе, завершает обслуживание.
- 2) Если заявка «с вирусом», то убивает очередь.

3) Новая заявка поступает в систему модель СМО с одним обслуживающим прибором, накопителем конечной емкости.

Для наглядности построим граф состояний цепи Маркова для данной СМО. В состоянии 0 и 1 мы можем попасть из абсолютно любого состояния системы. Очевидно, что в состояние 0 из произвольного состояния СМО мы попадаем после обслуживания на приборе заявки «с вирусом» и покидания ею системы. А вот попадание в состояние 1 возможно благодаря избранной нами последовательности действий в момент окончания такта, ведь, в соответствие с ней, поступление новой заявки происходит после очистки накопителя заявкой «с вирусом». Граф переходов показан на рисунке 1.

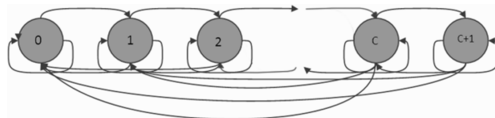


Рис. 1. Граф переходов

Теперь определим с какими вероятностями осуществляются эти переходы и построим матрицу переходных вероятностей (МПВ):

$$\begin{bmatrix} \bar{a} & a & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \bar{a}\bar{b} & \bar{a}\bar{b}+ab & a\bar{b} & \dots & \dots & 0 & 0 \\ q\bar{a}\bar{b} & t\bar{a}\bar{b}+q\bar{a}\bar{b} & \bar{a}\bar{b}+tab & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q\bar{a}\bar{b} & q\bar{a}\bar{b} & 0 & \dots & \dots & \bar{a}\bar{b}+tab & a\bar{b} \\ q\bar{a}\bar{b} & q\bar{a}\bar{b} & 0 & \dots & \dots & t\bar{a}\bar{b} & tab+\bar{b} \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Матрица переходных вероятностей

Имея МПВ, выпишем систему уравнений равновесия (СУР). Легко заметить, что все уравнения кроме трех, а именно: нулевого, первого и последнего, практически идентичны. Нулевое и первое уравнения получаются довольно громоздкими, так как в состоянии 0 и 1 можно попасть абсолютно из любого состояния системы. СУР выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} p_0 = p_0\bar{a} + p_1\bar{a}\bar{b} + q\bar{a}\bar{b} \sum_{i=2}^{C+1} p_i \\ p_1 = p_0a + p_1(\bar{a}\bar{b} + ab) + p_2t\bar{a}\bar{b} + q\bar{a}\bar{b} \sum_{i=2}^{C+1} p_i \\ \dots \\ p_i = p_{i-1}a\bar{b} + p_i(\bar{a}\bar{b} + tab) + p_{i+1}t\bar{b}, i = \overline{2, C} \\ \dots \\ p_{C+1} = p_C\bar{a}\bar{b} + p_{C+1}(tab + \bar{b}) \end{cases}$$

Рис. 3. Система уравнений равновесия

Добавив к СУР условие нормировки, мы можем найти стационарное распределение числа заявок в системе.

По полученным формулам была написана тестовая программа для вычисления стационарных вероятностей на языке С#. Пример работы программы:

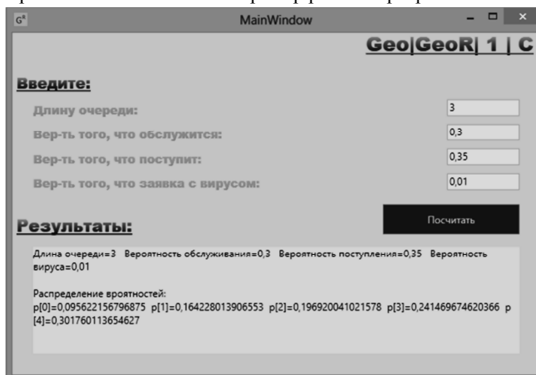


Рис. 4. Пример функционирования программы

Выводы

В работе была рассмотрена СМО с обновлением, функционирующая в дискретном времени, и для нее были найдены СУР и МПВ, что позволяет нам найти стационарное распределение числа заявок в системе.

Литература

1. Зарядов И. С. «Системы массового обслуживания с нестандартными дисциплинами обслуживания».
2. Печинкин А. В., Соколов И. А. «Система массового обслуживания с ненадежным прибором в дискретном времени».

QUEUEING SYSTEMS WITH RENOVATION, OPERATING IN DISCRETE TIME

Polyantsev V. D.

Peoples' Friendship University of Russia, v-king07@mail.ru

In the report presented a description of queueing systems with renovation, operating in discrete time, drawing of graph of transitions and finding of stationary probabilities of Markov chain's states.

Key words: queueing systems with renovation, operating in discrete time.

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ МЕТОД В АНАЛИЗЕ СТАЦИОНАРНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Потахина Л.В.*

Институт Прикладных Математических Исследований КарНЦ РАН,
lpotahina@gmail.com

Описан регенеративный метод и его применение к анализу стационарности систем с оптическим буфером и систем, где время обработки заявки управляется Марковской цепью. Кроме того, рассматривается применение данного метода к системам, параметры которых зависят от состояния.

Ключевые слова: регенеративный метод; оптический буфер; время обслуживания, управляемое Марковской цепью; системы, зависящие от состояния.

Введение

Рассматривается регенеративный метод в применении к анализу стационарности некоторых телекоммуникационных систем. Сначала дается краткое описание самого метода. Основным его преимуществом является то, что он применим к широкому классу немарковских процессов и требует существования моментов регенерации с конечной средней длиной цикла регенерации при определенных условиях. Далее коротко описаны системы, для которых с использованием данного метода были получены условия стационарности, а именно система с оптическим буфером и система, в которой время обслуживания управляется Марковской цепью. Также рассматриваются системы, в которых параметры зависят от состояния, и возможность применения регенеративного метода для анализа таких систем.

Регенеративный метод анализа стационарности

Рассмотрим систему GI/G/1 и определим для нее процесс загрузки W_n и точки регенерации для данного процесса определяются следующим образом:

$$\theta_{n+1} = \min\{k > \theta_n : W_k = 0\}, n \geq 0. \quad \theta_0 = 0.$$

Если средний период регенерации конечен, $E\theta < \infty$, то процесс $\{\theta_n\}$ является положительно возвратным и это является ключевым условием для доказательства стационарности данной системы [4]. Определим незавершенное время регенерации в момент времени n как

$$\theta(n) = \min\{\theta_k - n : \theta_k - n > 0\}, n \geq 0.$$

Известно из [2], что

$$E\theta = \infty \Leftrightarrow \theta(n) \Rightarrow \infty \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

(\Rightarrow обозначает сходимость по вероятности). Таким образом, ключевая идея регенеративного метода анализа стационарности заключается в доказательстве $\theta(n) \Rightarrow \infty$ при определенных условиях, что влечет за собой $E\theta < \infty$.

Система с оптическим буфером

В современных телекоммуникационных сетях пакеты данных перемещаются между хостами в виде светового сигнала. Так как световой сигнал не может быть «заморожен» и помещен в буфер, буферизация осуществляется при помощи набора оптоволоконных линий, на которые сигнал отправляется, если очередь на обработку не пуста. Эти линии называются *оптоволоконными линиями задержки* (fiber delay lines). Время ожидания

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15-07-02341 А и № 15-07-02354 А.

пакета в системе обязательно равно длине одной из линий оптического буфера, а назначаемые времена ожидания представлены в виде счетного множества. Необходимость выбирать значение задержки в пределах этого множества вызывает дополнительное ожидание, что отличает рассматриваемый случай от классического.

Для систем с оптическим буфером с детерминированными приращениями между длинами оптоволоконных линий задержки было получено достаточное условие стационарности в [7], а в работе [5] было получено более точное условие стационарности.

Для систем с оптическим буфером со случайными (независимыми одинаково распределенными) приращениями между длинами оптоволоконных линий задержки условие стационарности было получено в [6].

Во всех случаях для анализа стационарности применялся регенеративный метод.

Система, управляемая Марковской цепью

В современных беспроводных сетях доступная скорость обработки (или передачи) заявки меняется от слота к слоту. Скорость передачи определяется состоянием канала, которое может быть различным для различных заявок. Переходы между этими состояниями задаются и, например, могут быть описаны неприводимой Марковской цепью. Заявки с наивысшей скоростью обработки имеют высший приоритет при поступлении на обслуживание. Если таких заявок в системе нет, то правило выбора следующей для обслуживания заявки может быть произвольным.

С помощью регенеративного метода для подобных систем был получено условие стационарности в работе [3]. Ключевым моментом в анализе данной системы является то, что чем больше заявок в системе, тем больше вероятность того, что существует хоть одна заявка с наивысшей скоростью обработки, которая будет выбрана для обслуживания, во время которого система будет работать с максимальной производительностью.

Система с параметрами, зависящими от состояния

Для оптимизации использования ресурсов телекоммуникационных систем при сохранении качества обслуживания может быть применен подход изменения параметров системы в зависимости от ее текущего состояния (подробнее см. [1]). Это позволяет контролировать, например, интенсивность входного потока или скорость обслуживания заявок. Обслуживающее устройство работает на полной мощности, если загрузка системы выше некоторого критического значения. Если же загрузка не велика, то производительность системы может быть ниже или даже равной нулю. Такое перераспределение нагрузки на обслуживающее устройство может давать существенную экономию ресурсов.

Для анализа стационарности таких систем также может быть применен регенеративный метод. Но анализироваться система должна при больших уровнях загрузки, когда обслуживающее устройство работает на полной мощности, поскольку ключевым моментом для анализа стационарности является то, что исследуемый процесс (например, размер очереди) не растет неограниченно с течением времени. То есть при слабой загрузке системы параметры могут не удовлетворять условиям стационарности, процесс может быстро нарастать, но до некоторого критического значения. После этого параметры системы должны меняться таким образом, что они будут удовлетворять условию стационарности. Это будет гарантировать, что система справится с нагрузкой при высоких уровнях загрузки.

Выводы

Кратко рассмотрен регенеративный метод анализа стационарности, который может быть использован для широкого класса систем обслуживания. В качестве примеров рассмотрены система с оптическим буфером (с детерминированными и случайными приращениями длин оптоволоконных линий задержки) и система, где времена

обработки заявок управляются Марковской цепью. Также вкратце описывается подход, используемый в системах, зависящих от состояния, и обосновывается возможность применения регенеративного метода к анализу подобных систем.

Литература

1. *Bekker R., Borst S. C., Boxma O. J., Kella O.* Queues with workload-dependent arrival and service rates. *Queueing Systems*, 46, 2004. Pp. 537-556.
2. *Feller W.* An Introduction to Probability Theory and Its Applications. Wiley, v. II, 1971.
3. *Jacko P., Morozov E., Potakhina L., Verloop I.M.* Maximal low-level stability of best-rate schedulers in heterogeneous wireless systems // *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 2015 (accepted).
4. *Morozov E., Delgado R.* Stability analysis of regenerative queueing systems // *Automation and Remote control*, v. 70, No. 12, 2009, Pp. 1977-1991.
5. *Morozov E., Potakhina L.* An application of the inspection paradox in stability analysis of optical systems // *Proceedings of ICUMT 2014 : The 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control systems and Workshops*, Saint-Petersburg, 2014, Pp. 622-625.
6. *Morozov E., Potakhina L., De Turck K.* Stability analysis of an optical system with random delay lines lengths. // *Moscow: "Informatics and Applications"*, Volume 1, Issue 1, 2014. Pp. 127-134.
7. *Rogiest W., Morozov E., Fiems D., Laevens K., Bruneel H.* Stability of single-wavelength optical buffers // *European Transactions Telecommunications*. 2010. 21. Pp. 202–212.

REGENERATIVE APPROACH IN STABILITY ANALYSIS OF SOME TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Potakhina L.V.

Institute of Applied Mathematical Research Karelian Research Centre RAS

lpotakhina@gmail.com

We present regenerative approach and consider its applications to stability analysis of system with optical buffers, system with Markov-modulated transmission rates and state-dependent system.

Key words: regenerative approach, optical buffer, Markov-modulated transmission rate, state-dependent system

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА В ФРАГМЕНТЕ WDM-TDMA PON

Русина Н.В.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, gbasharin@sci.pfu.edu.ru,
rusina_nadezda@inbox.ru

Описан алгоритм расчета вероятно-временных характеристик модели передачи восходящего потока трафика в фрагменте пассивной оптической сети.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, оптический линейный терминал, оптический абонентский узел, восходящий поток трафика, мультиплексирование с разделением по длине волны, множественный доступ с разделением по времени, вероятно-временные характеристики.

Введение

Пассивная оптическая сеть (PON, Passive Optical Network) обеспечивает передачу восходящего потока трафика различных классов (голос, видео, данные) от оптических абонентских узлов (ONU, Optical Network Units) к оптическому линейному терминалу (OLT, Optical Line Terminal) через пассивные оптоволоконные разветвители/смесители (PO-SC, Passive Optical Splitter/Combiner), и в обратном направлении [1-3].

В соответствии с технологией множественный доступ с разделением по времени (TDMA, Time Division Multiple Access) [1-3], ONU может находиться в состоянии ON, т.е. осуществлять передачу данных в выделенном ему временном домене, или в состоянии OFF, при котором передача данных приостановлена. В соответствии с технологией мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM, Wavelength Division Multiplexing), для передачи восходящего потока трафика выделено конечное число W длин волн [1-3]. В момент включения ONU на OLT может не быть свободной длины волны, что приводит к блокировке передачи данных во временном домене. Чтобы учесть данную особенность вводится параметр α , $0 < \alpha < 1$ - вероятность того, что выбранное ONU находится в состоянии ON в некоторый момент времени $t > 0$.

В работе рассматривается мультисервисная модель передачи восходящего потока трафика для некоторого ONU в WDM-TDMA PON и выводится алгоритм расчета вероятно-временных характеристик.

Математическая модель передачи восходящего потока трафика в фрагменте WDM-TDMA PON

Рассмотрим процесс передачи восходящего потока трафика от некоторого ONU к OLT в WDM-TDMA PON. ONU имеет буфер накопитель (БН), емкость которого составляет $0 < R < \infty$ временных слотов. Исследуемая система обслуживает K типов заявок. Потоки поступления k -заявок любого класса пуассоновские с постоянными интенсивностями λ_k , $0 < \lambda_k < \infty$, $k = \overline{1, K}$, и независимы в совокупности. Каждая k -заявка требует для своего обслуживания b_k , $0 < b_k \leq R$, временных слотов, которые занимают в БН на момент ее обслуживания и освобождаются сразу после завершения обслуживания вместе с освобождением длины волны. В соответствии с классификацией Башарина-Кендалла [4] дисциплина выбора заявок из очереди d_1 , в порядке поступления (FCFS, First Come First Serve).

Если в момент поступления новой k -заявки, $k = \overline{1, K}$, в системе оказались заняты больше, чем $R - b_k$ временных слотов в БН, то поступившая k -заявка получает отказ и

теряется, не влияя на интенсивность поступления породившего ее пуассоновского потока.

Пусть время обслуживания k -заявки в системе распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_k , $0 < \mu_k < \infty$, $k = \overline{1, K}$. Учитывая то, что в момент включения ONU на OLT может не быть свободной длины волны, интенсивность обслуживания k -заявки примет вид

$$\alpha\mu_k, \quad k = \overline{1, K}. \quad (1)$$

Схема соответствующей СМО приведена на рис. 1.

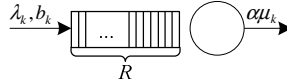


Рис. 1. Схема СМО, соответствующей системе

Формулы для расчета вероятностно-временных характеристик

Функционирование системы будем описывать с помощью СтМП $Y(t) = (Y_k(t))_{k=1, \overline{K}}$, где $Y_k(t)$ - число k -заявок в ONU в момент времени $t > 0$, каждая из которых требует для своего обслуживания b_k временных слотов.

Теорема 1. В сделанных предположениях о характере поступающего потока заявок и дисциплине обслуживания у СтМП $Y(t)$, $t > 0$ существует стационарное распределение вероятностей. Это распределение не зависит от начального и является мультиплекативным

$$p(m) = G^{-1} \frac{1}{\alpha^m} \prod_{k=1}^K \rho_k^{m_k}, \quad G = \frac{1}{p(0)} = \sum_{m \in S} \frac{1}{\alpha^m} \prod_{k=1}^K \rho_k^{m_k}, \quad m \in S := \{m \mid 0 \leq b^T m \leq R\}. \quad (2)$$

Здесь $m := (m_k)_{k=1, \overline{K}}$, $m_k \in \left\{0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{R}{b_k} \right\rfloor\right\}$, $\rho_k := \frac{\lambda_k}{\mu_k}$, $k = \overline{1, K}$, $m_* := \sum_{k=1}^K m_k$.

Тогда вероятность блокировки k -заявок рассчитывается по формуле

$$\pi_k = \frac{1}{G} \sum_{m \in S_k} \frac{1}{\alpha^m} \prod_{k=1}^K \rho_k^{m_k}, \quad S_k = \{m \in S \mid b^T m > R - b_k\}, \quad k = \overline{1, K}. \quad (3)$$

Алгоритм расчета вероятности блокировки заявок

Для вычисления вероятности блокировки k -заявок по времени необходимо рассчитать нормирующую константу [5-7].

Лемма 1. Нормирующая константа G (2) вычисляется по формулам

$$G = \sum_{r=0}^R g(K, r), \quad (4)$$

$$g(k, r) = \begin{cases} 0, & k = \overline{1, K}, r < 0, \\ 0, & k = 0, r = \overline{1, R}, \\ 1, & k = \overline{1, K}, r = 0, \\ g(k-1, r) + \frac{\rho_k}{\alpha} g(k, r-b_k), & k = \overline{2, K}, r = \overline{1, R}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\rho_k := \lambda_k / \mu_k$, $k = \overline{1, K}$, $g(k, r)$ - ненормированная вероятность того, что первыми $(1, \dots, k)$ типами заявок занято все r единиц емкости БН.

Тогда вероятность блокировки k -заявок рассчитывается по формуле

$$\pi_k = \frac{1}{G} \sum_{r=R-b_k+1}^R g(k, r), \quad k = \overline{1, K}. \quad (6)$$

Выводы

В работе предложен алгоритм нахождения вероятности блокировки k -заявок модели передачи трафика от некоторого ONU в WDM-TDMA PON. В докладе приводится пример численного анализа, в котором сравниваются результаты прямого расчета ВВХ и с использованием представленного алгоритма.

Предложенный алгоритм расчета ВВХ может быть применен для анализа и расчета ВВХ обобщенной модели совместной передачи восходящего потока трафика в WDM-TDMA PON.

Литература

1. Mukherjee B. Optical WDM networks. — Springer, 2006. — 973 p.
2. Листвин В.Н., Трещиков В.Н. DWDM-системы, научное издание. — М.: Издательский дом «Наука», 2013. — 300 с.
3. Башарин Г.П., Русина Н.В. Анализ восходящего потока трафика в пассивных оптических сетях // Вестник РУДН. «Математика. Информатика. Физика». — 2014. - № 2. — С. 27-35.
4. Башарин Г.П. Об обслуживании двух потоков с относительным приоритетом на полнодоступной схеме с ограниченным числом мест для ожидания // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1967. - № 2. — С. 72-86.
5. Busen, J. P. Computational algorithms for closed queueing networks with exponential servers // Communications of the ACM, 1973. - № 16. — Pp. 527-531.
6. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телеграфика. Изд.3-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во: РУДН, 2009. - 342 с.
7. G. P. Basharin, Yu. V. Gaidamaka, and K. E. Samouylov Mathematical Theory of Teletraffic and Its Application to the Analysis of Multiservice Communication of Next Generation Networks // ACCS, 2013. - Vol. 47, No. 2. - Pp. 62–69.

PROBABILITY CHARACTERISTIC COMPUTATION ALGORITHM FOR WDM-TDMA PON TRAFFIC MODEL

Rusina N.V.

Peoples' Friendship University of Russia, gbasharin@sci.pfu.edu.ru, rusina_nadezda@inbox.ru

This paper is concerned with a probability characteristic computation algorithm for upstream traffic model of WDM-TDMA Passive Optical Subnetwork.

Key words: Passive Optical Network (PON), Optical Line Terminal (OLT), Optical Network Unit (ONU), upstream, Wavelength Division Multiplexing (WDM), Time Division Multiple Access (TDMA), steady-state probability.

КОСВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ КОНТАКТ-ЦЕНТРА

Степанов М.С.

Московский технический университет связи и информатики, mihstep@yandex.ru

Получены соотношения для косвенной оценки входных параметров и характеристик обобщенной модели контакт-центра. Показано использование найденных выражений для решения задачи планирования числа операторов.

Ключевые слова: контакт-центр, моделирование, повторные вызовы, параметры, характеристики

Введение

Задача планирования числа операторов является первоочередной для компаний, внедряющих у себя контакт-центр. Ее решение во многом зависит от точности измерений входных параметров справочно-информационных служб, используемых для расчета. Наиболее важный из них - это значение интенсивности поступления первичных заявок на обслуживание. Оценка данной характеристики, а также ряда других показателей работы контакт-центра, затруднительна из-за необходимости разделения общего потока поступающих вызовов на первичные и повторные. Для того, чтобы сделать это с использованием существующих методов, необходимо отслеживать процесс взаимодействия с контакт-центром для каждого клиента. Этот процесс трудоемок и не всегда возможен. Решить сформулированную задачу можно косвенными методами. Один из таких способов будет рассмотрен в данной работе.

Характеристики модели

Введем базовые характеристики модели контакт-центра. [1,3,4,5] Обозначим через $M_r, M_a, M_i, M_l, M_{l,k}$ - средние значения соответственно числа клиентов, решивших повторить вызов; числа занятых линий доступа; числа занятых портов IVR; числа занятых операторов и числа занятых консультантов из k -группы, $k = 1, 2, \dots, m$, где m - число групп. Примем за $\Lambda_a, \Lambda_o, \Lambda_{c,k}$ средние значения соответственно интенсивностей потоков первичных и повторных заявок, поступающих на порты IVR, к операторам и к консультантам k -группы. Обозначим через $\Lambda_{a,bl}, \Lambda_{o,bl}, \Lambda_{c,k,bl}$ средние значения интенсивностей потоков первичных и повторных заявок, которые получили отказ соответственно на линиях доступа, у операторов и консультантов k -группы. Для оценки достаточности числа операторов используется значение доли всех потерянных заявок π_g . Входными параметрами модели являются: λ - интенсивность поступления первичных вызовов; H - вероятность повторения заблокированной заявки; V - интенсивность поступления повторных вызовов от одного абонента.

Введенные характеристики связаны системой соотношений [1,2,5]

$$M_r V = \left(\Lambda_{a,bl} + \Lambda_{o,bl} + \sum_{k=1}^m \Lambda_{c,k,bl} \right) \cdot H, \quad (1)$$

$$\Lambda_a = \Lambda_{a,bl} + M_i \alpha_1, \quad (2)$$

$$\Lambda_o = \Lambda_{a,bl} + M_o \alpha_2, \quad (3)$$

$$\Lambda_{c,k} = \Lambda_{c,k,bl} + M_{l,k} \beta_k, \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Приведенные выражения имеют ясный физический смысл и могут быть получены в результате преобразования системы уравнений равновесия марковского процесса, описывающего функционирование модели.

Рассмотрим задачу оценки значения λ . Предположим, что из результатов измерений известны величины Λ_a и π_g . Значения обеих характеристик могут быть найдены с использованием стандартных измерительных средств. При оценке этих характеристик не требуется отделять первичные вызовы от повторных. Из определения π_g следует соотношение:

$$\Lambda_{a,bl} + \Lambda_{o,bl} + \sum_{k=1}^m \Lambda_{c,k,bl} = \pi_g \cdot \Lambda_a. \quad (5)$$

После несложных преобразований получаем из (1) такое равенство

$$\lambda + \left(\Lambda_{a,bl} + \Lambda_{o,bl} + \sum_{k=1}^m \Lambda_{c,k,bl} \right) \cdot H = \Lambda_a. \quad (6)$$

Из (5), (6) находим выражение для косвенной оценки величины λ , имеющее вид:

$$\lambda = \Lambda_a \cdot (1 - \pi_g H). \quad (7)$$

Используя полученные результаты и определения характеристик, можно получить формулы для косвенной оценки значений: π_r - доли заявок, отказавшихся от установления соединения, M - среднего числа заявок повторных заявок на одну первичную, δ_r - доли повторных заявок в общем потоке поступивших и Q - среднего числа отказов на одно установленное соединение.

Отметим, что полученные справедливы только в рамках рассматриваемой модели:

$$\pi_r = \frac{\pi_g(1-H)}{(1-\pi_g H)}; \quad M = \frac{\pi_g H}{1-\pi_g H}; \quad \delta_r = \pi_g H \quad Q = \frac{\pi_g}{1-\pi_g}.$$

Отсутствие различия между первичными и повторными заявками, поступающими в контакт-центр от абонентов, может привести к существенным ошибкам в расчете численности операторов. Приведем соответствующий пример. Для упрощения вычислений будем предполагать, что в исследуемой модели контакт-центра отсутствуют консультанты. При традиционных методах решения данной задачи происходит последовательное увеличение числа операторов ν и оценки π_g для каждого значения числа операторов при фиксированном значении интенсивности поступления заявок Λ_a . Минимальное значение числа операторов, при котором выполняется неравенство $\pi_g < \pi_{norm}$, где π_{norm} — заданное нормированное значение доли потерянных заявок, и будет искомым решением.

При реализации данного подхода не учитывается зависимость Λ_a от наличия повторных вызовов. Это сильно завышает итоговой результат. Учет этой зависимости возможен в рамках моделей с повторными вызовами. Сформулированная задача решается с помощью соотношения (7). Результаты оценки числа операторов традиционным методом и с использованием модели с учётом возможности повторения заблокированной заявки показаны на рис 1. Соотношения между значениями входных параметров соответствуют практике моделирования контакт-центров и не приводятся из-за громозкости. Величина $\pi_{norm} = 0,05$. Разница между результатами использования

традиционного метода и метода, основанного на учете эффекта повторных вызовов, составляет 26 операторов. Ошибка весьма существенная. Понятно, что погрешность в оценке необходимого объема числа операторов будет тем больше, чем больше значение вероятности повторения. К аналогичным выводам приводит анализ влияния других причин повторения заблокированной заявки.

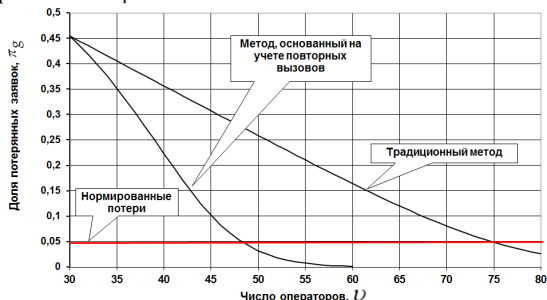


Рис. 1. Сравнение различных методов оценки числа операторов контакт-центра.

Выводы

Приведены базовые характеристики обобщенной математической модели контакт-центра и получены соотношения между ними. Проведено сравнение решения задачи планирования численности операторов традиционным методом и с использованием модели с повторными вызовами, в ходе которого доказано преимущество второго метода.

Литература

1. Степанов М.С., Пиленчиков А.П. Обобщенная модель call-центра// – Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2011. – №7. – С.125-128
2. Степанов С.Н. Численные методы расчета систем с повторными вызовами. - М.:Наука, 1983. - 230 с.
3. Гольдштейн Б.С., Фрейнкман В.А. Call-центры и компьютерная телефония. - СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2002.
4. Степанов М.С. Использование модели контакт-центра для анализа процесса поступления и обслуживания заявок// Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». М.: РУДН, 2012. – С.55-57.
5. Степанов М.С. Планирование числа операторов и линий доступа в современных контакт_центрах // Т-comm. – Телекоммуникации и транспорт. – 2014. - №7. – 89-91.

INDERECT ESTIMATION OF PARAMETERS AND CHARACTERISTICS OF GENERALIZED CONTACT-CENTER MODEL

Stepanov M.S.,

Moscow Technical University of Communication and Informatics, mihstep@yandex.ru

Equations for indirect estimation of parameters and characteristics of generalized contact-center model are obtained. The usage of these equations for number of operators planning is shown.

Key words: contact-center, modelling, repeated calls, parameters, characteristics.

ЧИСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ С ВЕРОЯТНОСТНЫМ ОБНОВЛЕНИЕМ И ПОВТОРНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ¹

Щербанская А.А., Зарядов И.С.

Российский университет дружбы народов, nurafore@mail.ru, izaryadov@sci.pfu.edu.ru

Рассматривается система массового обслуживания с рекуррентным входящим потоком, вероятностным обновлением и повторным обслуживанием.

Ключевые слова: система массового обслуживания, обновление, числовые характеристики, повторное обслуживание

Введение

В современном информационном обществе огромное значение имеет качество обработки и передачи данных [1,5]. В связи с этим нельзя переоценить роль математических методов теории массового обслуживания. Системы массового обслуживания представляют собой аналитические модели реальных систем передачи данных, построенные с учетом их основных особенностей, возможных отказов системы или потери данных. Одной из основных задач теории массового обслуживания является нахождение вероятностно-временных характеристик рассматриваемых систем с целью оптимизации работы системы. Среди таких характеристик стационарное (предельное) распределение числа заявок в системе, стационарные распределения времени пребывания в очереди и времени пребывания заявки в системе, вероятность возможной потери заявки.

Целью работы является исследование однолинейной системы массового обслуживания с рекуррентным входящим потоком, экспоненциальным обслуживанием и накопителем бесконечной емкости, обновлением и повторным обслуживанием, нахождение вероятностно-временных характеристик данной системы [1-8].

Описание системы. Стационарное вероятностное распределение числа заявок в системе

Рассматривается система $G/M/1/\infty$ с рекуррентным потоком поступления заявок, одним обслуживающим прибором с экспоненциальным распределением времени обслуживания поступающих заявок и бесконечным накопителем. В системе реализуется механизм обновления [1,2] с повторным обслуживанием: сразу после завершения обслуживания на приборе заявка либо покидает систему с вероятностью p , либо сбрасывает из накопителя все заявки, находящиеся в нем, и встает для повторного обслуживания на прибор с соответствующей вероятностью $q = 1 - p$.

Для исследования системы строится цепь Маркова, вложенная по моментам времени непосредственно перед поступлением новой заявки в систему [2,3,4,8].

Стационарное распределение числа заявок в системе по вложенной цепи Маркова имеет вид:

$$p_{\bar{1}} = \frac{1}{\frac{1}{1-g} + \frac{p}{gp-q} \left(1 - \frac{\alpha(\mu)}{g \left(1 - \frac{p}{q} \alpha(p\mu) + \frac{p}{q} \alpha(\mu) \right)} \right)},$$

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 13-07-00223, 15-07-03007, 14-07-00090

$$p_0^- = \frac{p_1^- p}{gp - q} \left(1 - \frac{\alpha(\mu)}{g \left(1 - \frac{p}{q} \alpha(p\mu) + \frac{p}{q} \alpha(\mu) \right)} \right),$$

$$p_k^- = p_1^- * g^{k-1}, \quad k \geq 1,$$

где g – единственное решение уравнения $g = \alpha(\mu - gp\mu)$, лежащее на интервале от 0 до 1, а $\alpha(s)$ – преобразование Лапласа-Стилтьеса функции распределения входящего потока заявок, μ – интенсивность обслуживания заявок на приборе.

Вероятность обслуживания и вероятность потери заявки

В силу введенного механизма обновления поступающая в систему заявка либо может быть сброшена из накопителя с некоторой вероятностью p^{loss} , либо обслужена с дополнительной вероятностью $p^{serv} = 1 - p^{loss}$. Выражения для расчета данных вероятностей имеют вид:

$$p^{serv} = p_0^- + \frac{p_1^- p}{1 - gp}, \quad p^{loss} = \frac{p_1^- q}{(1 - g)(1 - gp)}.$$

Нетрудно доказать, что их сумма равна единице.

Временные характеристики системы

Для предложенной системы имеет смысл рассматривать временные характеристики как обслуженной заявки, так и потерянной [7].

Стационарная функция распределения времени ожидания начала обслуживания $W_{ож.обсл}^{serv}(x)$ для заявки, которая с вероятностью p^{serv} будет обслужена, имеет вид:

$$W_{ож.обсл}^{serv}(x) = \begin{cases} \frac{p_1^- p}{p^{serv}(1 - gp)} (1 - e^{-\mu(1-gp)x}) + \frac{p_0^-}{p^{serv}}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Так как заявка может повторно обслуживаться, то функция распределения времени обслуживания $W_{обсл}^{serv}(x)$ на приборе имеет вид:

$$W_{обсл}^{serv}(x) = \begin{cases} 1 - e^{-p\mu x}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Для сброшенной заявки стационарная функция распределения времени пребывания в накопителе $W^{loss}(x)$ имеет вид:

$$W^{loss}(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\mu(1-gp)x}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Средние значения для временных характеристик:

$$w_{обсл}^{serv} = \frac{1}{p\mu},$$

$$w_{ож.обсл}^{serv} = \frac{p_1^- p}{p^{serv}\mu(1 - gp)^2},$$

$$w^{loss} = \frac{1}{\mu(1 - gp)}.$$

Дисперсии времён:

$$D_{обсл}^{serv} = \frac{1}{(p\mu)^2},$$

$$D_{ож.обсл}^{serv} = \frac{p_1^- p}{p^{serv}\mu^2(1 - gp)^3} \left(2 - \frac{p_1^- p}{p^{serv}(1 - gp)} \right),$$

$$D^{loss} = \frac{1}{\mu^2(1 - gp)^2}.$$

Выводы

В работе представлены основные результаты, полученные для однолинейной системы массового обслуживания с рекуррентным входящим потоком, экспоненциальным

обслуживанием на приборе, накопителем неограниченной емкости и обновлением с повторным обслуживанием: стационарное по вложенной цепи Маркова распределение числа заявок в системе, вероятность обслуживания поступившей заявки, вероятность сброса поступившей в систему заявки, временные характеристики.

Литература

1. *Kreinin A.* Queuing Systems with Renovation // Journal of Applied Math. Stochast. Analysis. — 1997. — Vol. 10, No 4. — Pp. 431–443.
2. *Бочаров П. П., Зарядов И. С.* Стационарное распределение вероятностей в системах массового обслуживания с обновлением // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2007. — № 1-2. — С. 15–25.
3. *Zaryadov I. S., Pechinkin A. V.* Stationary Time Characteristics of the $GI/M/n/\infty$ System with Some Variants of the Generalized Renovation Discipline // Automation and Remote Control. — 2009. — No 12. — Pp. 2085–2097.
4. *Zaryadov I. S.* The $GI/M/n/\infty$ Queuing System with Generalized Renovation // Automation and Remote Control. — 2010. — No 4. — Pp. 663–671.
5. *Adamu A., Gaidamaka Y., Samuylov A.* Discrete Markov Chain Model for Analyzing Probability Measures of P2P Streaming Network // Lecture Notes in Computer Science / Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking 11th International Conference, NEW2AN 2011, and 4th Conference on Smart Spaces, ruSMART 2011. — St. Petersburg, Russia, August 22–25; Germany, Heidelberg, Springer-Verlag, 2011. — Pp. 428–439.
6. *Зарядов И. С., Королькова А. В., Разумчик П. В.* Математические модели расчёта и анализа характеристик систем активного управления очередями с двумя входящими потоками и различными приоритетами // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2012. — № 7. — С. 107–111.
7. *Zaryadov I.S., Scherbanskaya A.A.* Time Characteristics of Queuing System with Renovation and Reservice // Вестник РУДН. Серия «Математика, информатика, физика». — 2014. — № 2. — С. 61-66.
8. *Зарядов И.С., Королькова А.В., Милованова Т.А., Щербанская А.А.* Математическая модель расчета и анализа характеристик систем с обобщенным обновлением и повторным обслуживанием // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2014. — № 6. — С. 26-20.

THE CHARACTERISTICS OF QUEUEING SYSTEM WITH RENOVATION AND REPEATED SERVICE

Ssherbanskaya A.A., Zaryadov I.S.

Peoples' Friendship University of Russia, avgorbunova@rambler.ru, izaryadov@sci.pfu.edu.ru

The queueing system with general input flow, renovation and repeated service is considered..

Key words: queueing system, repeated service, renovation, time-probability characteristics.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ SIP-СЕРВЕРА С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ И ПОРОГОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ¹

Абаев П.О., Бесчастный В.А.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
pabaev@sci.pfu.edu.ru. vbeschastny@sci.pfu.edu.ru

В работе построена математическая модель обслуживания SIP-сообщений двух типов в виде системы с резервированием обслуживающих приборов для Invite-сообщений и пороговым управлением.

Ключевые слова: SIP, IMS, система массового обслуживания, пороговое управление, оптимизационная задача, целевая функция, имитационное моделирование.

Введение

Протокол установления сеанса связи (Session Initiation Protocol, SIP) был очень успешен в последние годы и стал наиболее используемым сигнальным протоколом организации мультимедийных сессий. SIP является основой для многих коммуникационных услуг на базе Интернет, включая VoIP, мгновенный обмен сообщениями и контроль присутствия. SIP принят консорциумом 3rd Generation Partnership Project в качестве основы архитектуры IMS. Несмотря на его популярность и быстро растущие темпы развертывания, контроль за перегрузкой SIP-протокола по-прежнему является неразрешенной задачей, представляющей интерес для большого числа специалистов.

В случае передачи SIP-сообщений по ненадежному транспортному протоколу (например, UDP), для поддержания удовлетворительного уровня надежности используется принцип повторной передачи запросов. Однако, такой подход зачастую приводит к увеличению издержек оператора, а также к снижению производительности сети сигнализации. Перегрузка может произойти, если у SIP-сервера недостаточно ресурсов для обработки всех поступающих SIP-сообщений. На данный момент протокол SIP обеспечивает лишь ограниченный механизм контроля перегрузок рассылая сообщения с кодом ошибки 503 (сервер временно недоступен). Тем не менее, этот механизм не может предотвратить перегрузку сервера так же, как и отказ сети по причине перегрузки [1].

Построение математической модели

На систему с двумя буферами конечной ёмкости r_1 и r_2 и C серверами поступают два пуассоновских потока сообщений с интенсивностями λ_1 и λ_2 (см. рис. 1): сообщения типа Invite с высоким приоритетом, и Non-Invite-сообщения с низким приоритетом обслуживания соответственно. Заявки обслуживаются в соответствии с дисциплиной FCFS по экспоненциальному закону с средним временем обслуживания μ^{-1} . Для обслуживания Invite-сообщений зарезервированы C_1 серверов, оставшиеся серверы выполняют функцию полностью доступной группы для трафика с низким приоритетом. Если все C_2 приборов заняты, сообщения 2-типа помещаются в буфер конечной ёмкости r_2 . Также в модели установлено пороговое значение $1 \leq m \leq C_2$, с помощью которого обеспечивается эффективное распределение ресурсов системы при обслуживании обоих типов трафика. Так, сообщения 1-типа могут занимать свободные приборы из C_2 -группы только в том случае, если r_2 -буфер пуст и количество серверов, обслуживающих сообщения 2-типа, меньше m .

Составной случайный процесс $\mathbf{X}(t) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t))$, где $0 \leq x_1 \leq r_1 + C_1$ – число сообщений 1-типа, $0 \leq x_2 \leq C_2$ – число сообщений 1-типа, обслуживаемых

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №15-07-03608.

серверами C_2 -группы, $0 \leq x_3 \leq r_2 + C_2$ - число сообщений 2-типа, по построению является марковским и описывает поведение исследуемой системы над пространством состояний $X = \{x_1, x_2, x_3; 0 \leq x_1 \leq C_1 + r_1, 0 \leq x_2 \leq C_2, 0 \leq x_3 \leq C_2 + r_2 - x_2\}$ [3, 4].

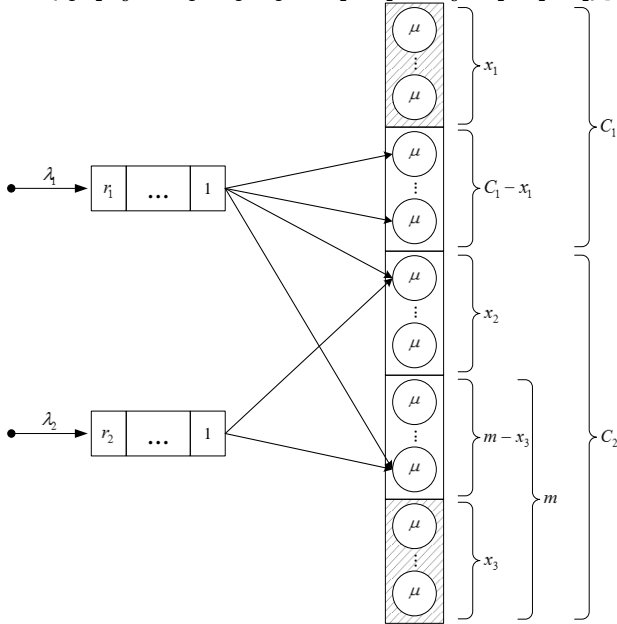


Рис. 1. Схема модели обслуживания SIP-сообщений с резервированием и пороговым управлением

Для анализа построенной математической модели был разработан программный комплекс, основанный на принципах событийно-имитационного моделирования [2]. На рис. 2 представлен график зависимости среднего времени ожидания обслуживания 2-заявок от интенсивности поступающих запросов и порогового значения.

Для рассмотренной СМО целесообразно рассмотреть оптимизационную задачу, решение которой позволило бы определить оптимальные параметры системы для различной нагрузки. Предлагается ввести в качестве ключевых критериев $UTIL$, так как эффективное распределение нагрузки на приборы позволяет повысить производительность всей системы и среднее время ожидания обслуживания W_1 , поскольку оно является наиболее существенным показателем QoS. При этом выбраны ограничения на суммарную интенсивность поступления сообщений $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$, описывающее нормальное функционирование сети, и вероятности блокировок сообщений обоих типов B_1 и B_2 . Таким образом, целевая функция оптимизационной задачи примет вид: $F = F_1 \circ F_2$, где

$$F_1 = \begin{cases} UTIL(C_1, m, \lambda) \rightarrow \min \\ R_1: 0 \leq \lambda \leq 4 \\ R_2: 0 \leq B_1 \leq 0,05 \\ R_3: 0 \leq B_2 \leq 0,1 \end{cases}, F_2 = W_1(C_1, m, \lambda) \rightarrow \min.$$

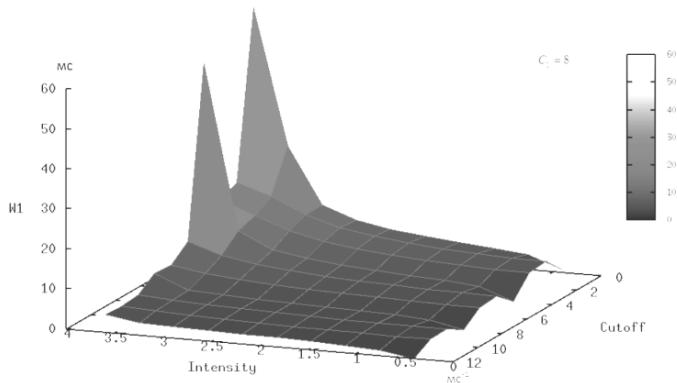


Рис. 2. Среднее время ожидания обслуживания 2-заявок в системе

Выводы

В работе построена математическая модель обслуживания SIP-трафика в виде системы массового обслуживания с резервированием приборов для обслуживания Invite-сообщений и пороговым управлением. Предложена оптимизационная задача, основные вероятностно-временные характеристики системы исследованы методом событийно-имитационного моделирования.

Литература

1. Mishra G., Dharmaraja S. and Kar S. Performance Analysis of SIP Signaling Network Using Hierarchical Modeling // IEEE. – 2013. – P.1-5.
2. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. — М.: Высш. шк., 2001. — 343 с.
3. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика. - М.: Изд-во РУДН, 2004. - 190 с.
4. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания: Учебник. М.: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.

MODELING OF SIP TRAFFIC WITH RESERVATION AND CUT-OFF PRIORITY

Abaev P.O., Beschastnyi V.A.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
 pabaev@sci.pfu.edu.ru. vbeschastny@sci.pfu.edu.ru

SIP server overload control modeling in the form of queuing system with reservation and cut-off priority is constructed and analysed.

Key words: SIP, IMS, queuing model, cut-off priority queue, optimization problem, efficiency function, simulation.

О ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ПОТОКОВ ТРАФИКА МЕЖМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЕТИ LTE¹

Абаев П.О., Зарипова Э.Р., Исхоков Д.С., Синицын И.Э.

Российский университет дружбы народов,

pabaev@sci.pfu.edu.ru, ezarip@sci.pfu.edu.ru, dsishokov@gmail.com, iesinityn@gmail.com

Для оптимальной маршрутизации потоков трафика межмашинного взаимодействия предлагается динамический алгоритм балансировки трафика, направленного в узлы управления мобильностью после успешного обслуживания на базовых станциях в сети LTE.

Ключевые слова: трафик межмашинного взаимодействия, балансировка нагрузкой, межузловое управление, маршрутизация трафика, контроль перегрузок.

Введение

Возникновение возможных перегрузок в сети LTE (Long-Term Evolution) при передаче трафика межмашинного взаимодействия требует разработки новых алгоритмов балансировки трафика между узлами сети ввиду важности и актуальности передаваемых данных. Кроме того, перегрузка одних узлов влечет за собой лавинообразную перегрузку последующих узлов сети, блокируя передачу трафика. Таким образом, механизмы локального контроля перегрузок, например, с пороговым или гистерезисным управлением, позволяют лишь сбросить часть «лишней» нагрузки, и могут быть использованы при приеме трафика на обслуживаемые станции, на последующих узлах сети необходимо использовать механизмы межузлового контроля перегрузок [1]. При возникновении признаков перегрузки узел-получатель сообщает о перегруженности узлу-отправителю, снижая поступающую нагрузку. В работе предложен динамический алгоритм балансировки трафика межмашинного взаимодействия между узлами управления мобильностью в сети LTE.

Алгоритмы распределения M2M-трафика

Трафик межмашинного взаимодействия (англ., Machine-to-Machine, M2M) после обслуживания на базовой станции поступает на один из узлов управления мобильностью, прикрепленных к базовой станции. В работе исследуются два алгоритма распределения трафика между узлами управления мобильностью (англ., Mobility Management Entity, MME): алгоритм равномерного распределения и динамический алгоритм оптимального распределения потоков M2M-трафика, разработанный на основе [2].

Все узлы MME, связанные с одной базовой станцией, при равномерном распределении трафика получают одну и ту же долю трафика от общего объема трафика, обрабатываемого базовой станцией. Например, в случае трех узлов MME, каждый узел получает одну треть всего трафика, обрабатываемого базовой станцией. Стоит отметить, что равномерное распределение трафика не учитывает загруженность узлов MME.

Динамический алгоритм распределения трафика оценивает вероятность перегрузки узлов MME, и перераспределяет потоки трафика согласно вероятностной стратегии, вычисляя долю трафика, которую можно отправить на данный узел MME. Заметим, что балансировка нагрузкой возможна только в том случае, когда базовая станция связана более чем с одним узлом MME.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-03051 -а, 15-07-03608 -а.

Результаты моделирования

Имитационное моделирование распределения трафика выполнено для участка сети, состоящей из четырех базовых станций и трех узлов управления мобильностью. Произведен подсчет обслуженных и потерянных заявок, оценены длины очередей в узлах управления мобильностью. Базовые станции представляют собой источники, генерирующие заявки. Узлы управления мобильностью реализованы в виде систем массового обслуживания $M|M|1|R$, где размер буфера $R=100$. Изменения значений о загруженности узлов управления мобильностью передаются через время коррекции, равное 10 с. Узлы ММЕ, реализованные в виде систем массового обслуживания, одинаковы между собой, время обслуживания одной заявки прибором распределено по экспоненциальному закону с параметром $\mu = 1$.

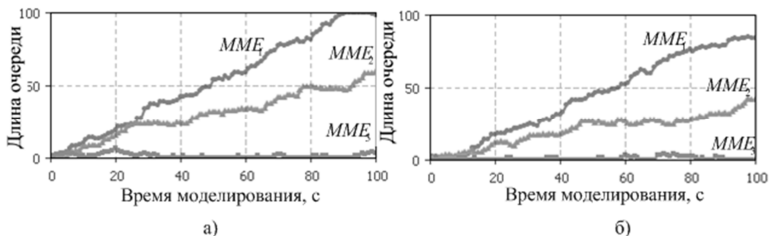


Рис. 1. Длина очереди в узлах ММЕ
 а) при алгоритме равномерного распределения нагрузки,
 б) при динамическом алгоритме балансировки М2М-трафика.

Выводы и задачи дальнейших исследований

Показано, что динамический алгоритм балансировки трафика по отношению к алгоритму равномерного распределения трафика дает лучшие показатели по длине очереди в узлах ММЕ и количеству потерянных заявок.

В качестве дальнейших исследований планируется решение оптимизационной задачи выбора времени коррекции, при котором процентом потерянных заявок будет наименьшим. Интересным остается влияние взрывного характера М2М-трафика,

Литература

1. Абаев П.О., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е. Гистерезисное управление нагрузкой в сетях сигнализации // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – М.: Изд-во РУДН. – 2011. – №4. – С. 55-73.
2. Bouallouche D. Congestion Control in the context of Machine Type Communication in Long Term Evolution Networks: a Dynamic Load Balancing Approach // Networking and Internet Architecture. -2012. - Pp. 1-46.

COMPARISON OF TWO OF M2M TRAFFIC BALANCING ALGORITHMS IN LTE NETWORKS

Abaev P., Zaripova E., Iskhokov Dz., Sinitsyn I.

Peoples' Friendship University of Russia

pabaev@sci.pfu.edu.ru, ezarip@sci.pfu.edu.ru, dsishokov@gmail.com, iesinitsyn@gmail.com

For optimal routing of M2M-traffic flows we propose dynamic algorithm for balancing traffic directed at the MMEs after successful service at the base stations in LTE network.

Key words: Machine Type Communication, Machine-to-Machine, load balancing algorithm, load control, routing traffic.

О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ДУБЛИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ К ВИДУ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Агаларханов Б.А.

Российский университет дружбы народов, agalarxanov@rambler.ru

В работе рассматривается зависимость вероятности отказа дублированной замкнутой СМО с холодным резервом вида $\langle GI_2|M|1 \rangle$ от интенсивности обслуживания при различных ФР времени безотказной работы элементов системы.

Ключевые слова: дублированные замкнутые системы, системы с холодным резервом, чувствительность характеристик надежности системы

Введение

В данной работе рассматривается зависимость вероятности отказа p_2 дублированной замкнутой СМО с холодным резервом вида $\langle GI_2|M|1 \rangle$ от интенсивности обслуживания β , где в соответствии с классификацией Кендалла [1]:

GI_2 – произвольное распределение времени безотказной работы прибора,

M – экспоненциальное распределение времени обслуживания (ремонта) прибора,

1 – число обслуживающих приборов.

Анализ данной зависимости может стать составной частью большого числа проблем, в том числе проблемы чувствительности характеристик надежности систем, работающих в случайной среде, к виду функций распределения времени безотказной работы и времени обслуживания элемента при ограничениях на количество обслуживающих приборов.

Ранее этой проблемой занимался И.Н. Коваленко, который для случая без ограничения на количество обслуживающих приборов показал, что стационарные характеристики надежности (стационарные вероятности состояний) оказываются нечувствительны к виду функций распределения времени безотказной работы и обслуживания. Однако в случае ограничения обслуживающих приборов этот факт не только неизвестен, но и не очевиден. Следовательно, и решение данной проблемы – не простая задача.

Используемые обозначения

ρ – нагрузка СМО,

$a(x)$ – плотность распределения времени безотказной работы,

$\tilde{a}(\beta)$ – преобразование Лапласа функции $a(x)$ в точке β ,

k и θ – параметры гамма-распределения.

Вывод и анализ численной зависимости p_2 от β

Используя в качестве дополнительной переменной $x(t)$ - время, прошедшее с момента очередного начала работы прибора и применяя метод дополнительной переменной для рассматриваемой СМО, получим соотношения (1)-(3) для стационарных вероятностей состояний системы [2]:

$$p_0 = \frac{\rho^{-1} - (1 - \tilde{a}(\beta))}{\rho^{-1} + \tilde{a}(\beta)} \quad (1)$$

$$p_1 = \frac{1 - \tilde{a}(\beta)}{\rho^{-1} + \tilde{a}(\beta)} \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{\tilde{a}(\beta)}{\rho^{-1} + \tilde{a}(\beta)} \quad (3)$$

В предположении, что время безотказной работы элементов подчинено, например, гамма-распределению с параметрами $k = 2.5$, $\theta = 2$ получим (4):

$$\begin{aligned}
 p_2 &= \frac{\bar{a}(\beta)}{\rho^{-1} + \bar{a}(\beta)} = (\text{раскрывая ПЛ и величину } \rho) \\
 &= \frac{\int_0^{\infty} e^{-\beta x} \cdot a(x) dx}{k \cdot \theta \cdot \beta + \int_0^{\infty} e^{-\beta x} \cdot a(x) dx} = (\text{подставляя параметры гамма-распределения}) \\
 &= \frac{\int_0^{\infty} e^{-\beta x} \cdot a(x) dx}{5\beta + \int_0^{\infty} e^{-\beta x} \cdot a(x) dx}. \tag{4}
 \end{aligned}$$

С целью лучшей интерпретации результатов, построим график (рис.1) зависимости вероятности безотказной работы системы от среднего времени обслуживания, основывающийся на полученном выше соотношении:

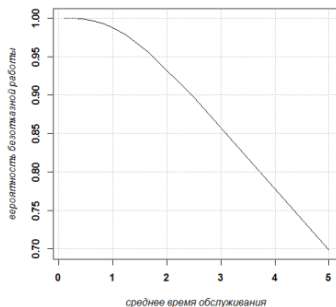


Рис. 1. График зависимости в случае гамма - распределения

Таблица 1. Некоторые значения среднего времени обслуживания и соответствующей вероятности безотказной работы в случае гамма – распределения

| <i>Среднее время обслуживания, ед.вр.</i> | <i>Вероятность безотказной работы СМО</i> |
|---|---|
| 5 | 0.6987138 |
| 2.5 | 0.8968416 |
| 1 | 0.9873325 |
| 0.5 | 0.9982143 |
| 0.2 | 0.9999003 |

Как видно из таблицы 1, при среднем времени обслуживания равным 0.2 ед.вр., достигается вероятность безотказной работы СМО примерно равная 0.9999, т.е. обеспечивается так называемый уровень операторской надежности.

Выводы

В данной работе была выведена и проанализирована зависимость p_2 от β для гамма-распределения времени безотказной работы элементов системы. Выводя и анализируя данную зависимость для других функции распределения, можно получить вывод о чувствительности или нечувствительности характеристик надежности системы к виду ФР, что, как было замечено выше, является составной частью большого числа задач, в том числе и практических.

Литература

1. Бочаров П. П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания//М.: РУДН. – 1995. – С. 90-91
2. Кениг Д., Рыков В., Штоян Д. Теория массового обслуживания//М.: Учебное пособие по математике для студентов специальности прикладная математика. – 1979. – С. 95-98

ABOUT SENSITIVITY RELIABILITY CHARACTERISTICS DUPLICATE DATA TRANSMISSION SYSTEMS MEAN TO DISTRIBUTION FUNCTION UPTIME COMPONENTS

Agalarkhanov B.A.

Peoples' Friendship University of Russia, agalarxanov@rambler.ru

This paper considers the dependence of the probability of failure duplicated closed queuing system with cold standby species $(GI_2|M|1)$ the intensity of service at various distribution functions uptime elements of the system.

Keywords: dubbed closed systems, cold reserve, the sensitivity characteristics of system reliability

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СХЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ LSA ДЛЯ АЭРОПОРТА И МОБИЛЬНОГО ОПЕРАТОРА¹

Андреев С.Д.^{1,2}, Пономаренко-Тимофеев А.А.², Гудкова И.А.¹, Мокров Е.В.¹

¹Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия,

²Технологический университет Тампере, Тампере, Финляндия

serge.andreev@gmail.com, alexeyponomarenko92@gmail.com,

igudkova@sci.pfu.edu.ru, melkor77@yandex.ru,

Рассмотрена система совместного использования лицензированного спектра LSA (Licensed Shared Access), состоящая из владельца и арендатора полосы частот. В качестве владельца рассмотрен аэропорт, в качестве арендатора выступает мобильный оператор. Исследованы три политики взаимодействия арендатора и владельца, а также рассмотрено влияние арендатора на качество связи на территории владельца.

Ключевые слова: LTE, LSA, диапазон частот, интерференция, имитационная модель

Введение

Регулирующая система совместного использования лицензированного спектра (Licensed Shared Access, LSA) является новой технологией совместного доступа к диапазону частот. Эта технология, в отличие от существующих моделей совместного использования спектра, позволяет осуществлять более эффективное управление распределением частот между несколькими сторонами в соответствии с четкими заранее определенными правилами [1,3]. LSA предоставляет официально утвержденное совместное использование одной и той же полосы частот, по крайней мере, двумя сторонами – владельцем (имеющим права на полосу частот) и арендатором (временным пользователем полосы частот) – согласно заранее утвержденному соглашению [2]. Другими словами, LSA гарантирует, что владелец сохраняет право использования полосы частот везде и всегда, а арендатор не использует данную полосу, если она понадобилась владельцу (или, по крайней мере, не препятствует осуществлению владельцем необходимых действий). Таким образом, LSA обеспечивает защиту от интерференции владельцу полосы и гарантирует необходимый уровень качества обслуживания как владельцу, так и арендатору.

Постановка задачи и сценарий

В данной работе рассмотрена реализации регулирующей системы совместного использования лицензированного спектра LSA между аэропортом и мобильным оператором. В качестве владельца LSA полосы выступает аэропорт, который характеризуется своим местоположением, направлением взлета или посадки самолета и мощностью сигнала передатчика g_0 службы управления воздушным движением. Самолеты взлетают через определённые промежутки времени, под определенным углом, с некоторой начальной скоростью и ускорением. Вокруг самолета существует радиотень определенного радиуса, в пределах которой внешние сигналы создают помехи передатчику самолета.

Арендатором является мобильный оператор, зона покрытия которого состоит из n сот. Соты имеют форму шестиугольника и расположены в соответствии с рис. 1. В центре каждой соты расположена базовая станция (БС), имеющая координаты (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$. Базовые станции расположены на расстоянии $2r$ друг от друга. При этом первая БС расположена на расстоянии $l + r$ от аэропорта.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-00953 а.

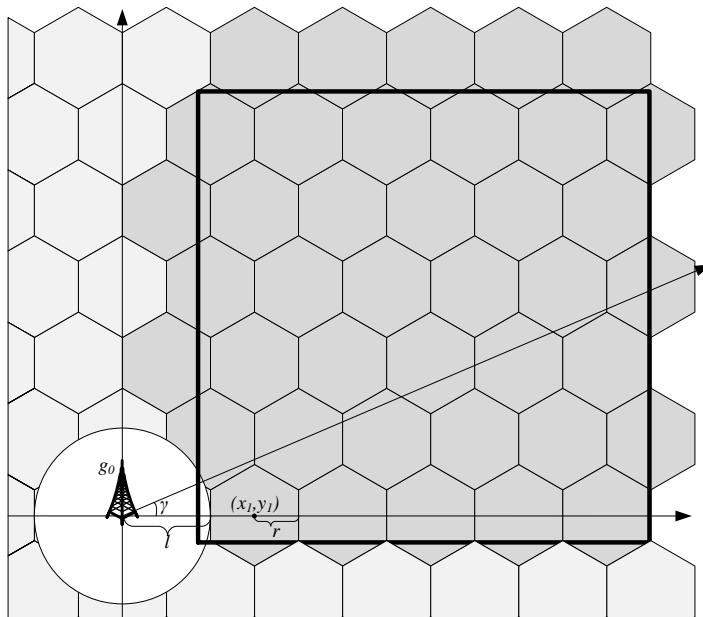


Рис. 1. Схема взаимодействия аэропорта с оператором

Аэропорт сдает в аренду оператору свою полосу частот (LSA полосу) на всей своей территории покрытия за вычетом территории аэропорта и близлежащей к нему зоны (лесополосы вокруг аэропорта). Основным условием, налагаемым владельцем на арендатора, является ограничение интерференции в сотах, через которые проходит радиотень самолета, пороговым значением I_0 (рис. 2).

Рассмотрим одну соту, через которую проходит радиотень самолета. Интервал времени от момента пересечения радиотенью границ соты до момента выхода радиотени за ее пределы равен Δ . В течение интервала Δ в пределах рассматриваемой соты могут использоваться различные методы по ограничению мощности пользователей. В качестве такого метода может применяться одна из трех политик: политика игнорирования интерференции (ignore policy), политика полного отключения LSA полосы (shutdown policy) и политика ограничения мощности (limit power policy). При использовании первой политики в течение интервала Δ ограничение мощности пользователей не происходит. Вторая политика заключается в ограничении мощности пользователей в течение интервала Δ до нуля на всей территории соты, т.е. БС полностью перестает принимать сигналы от пользователей. В случае применения третьей политики происходит ограничение мощности пользователей на всей территории соты до некоторого порогового значения P , определяемого договором об аренде.

Для описанного сценария построена имитационная модель и получены максимальное значение мощности сигнала в соте, попадающей в радиотень, и среднее значение времени пролета самолета через соту (время недоступности услуги). Проанализировано влияние всех трех политик на сигнал, принимаемый самолетом.

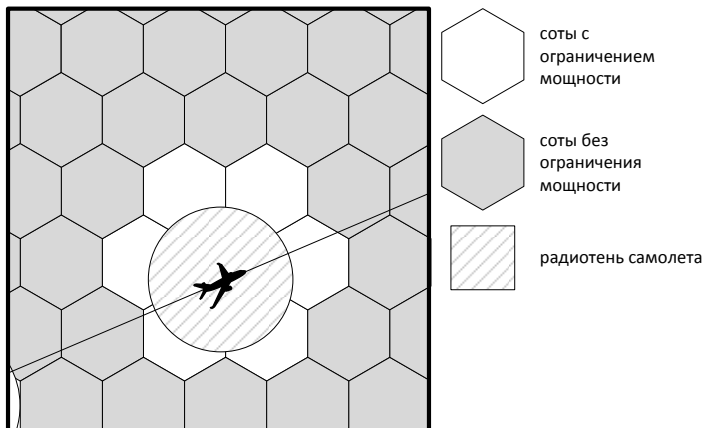


Рис. 2. Влияние радиотени самолета на соты оператора

Заключение

В докладе приведены результаты имитационного моделирования для описанного сценария. Исследованы основные характеристики рассматриваемой системы при использовании различных политик ограничения интерференции. Также проведено сравнение полученных результатов.

Литература

1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference document (SRdoc); Mobile broadband services in the 2 300 MHz - 2 400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime // ETSI TR 103 113v1.1.1(2013-07)
2. Miia Mustonen, Tao Chen, Harri Saarnisaari, Marja Matinmikko, Seppo Yrjölä, Marko Palola. Cellular architecture enhancement for supporting the European licensed shared access concept // IEEE Wireless Communications June 2014 – Pp. 37-43
3. Marja Matinmikko, Hanna Okkonen, Marko Palola, Seppo Yrjölä, Petri Ahokangas, Miia Mustonen. Spectrum sharing using licensed shared access: the concept and its workflow for LTE-Advanced networks // IEEE Wireless Communications April 2014 – Pp. 72-79.

LSA IMPLEMENTATION SCHEME SIMULATION FOR AIRPORT AND MOBILE NETWORK OPERATOR

Andreev S.D.^{1,2}, Ponomarenko-Timofeev A.A.², Gudkova I.A.¹, Mokrov E.V.¹,

¹ Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia

²Tampere University of Technology, Tampere, Finland

serge.andreev@gmail.com, alexeyponomarenko92@gmail.com,

igudkova@sci.pfu.edu.ru, melkor77@yandex.ru

This work scopes a licensed shared access system consisting of an incumbent and a licensee. An airport serves as an incumbent and a mobile network operator acts as a licensee. Three alternative control policies used in LSA are studied here as well as licensee's influence onto the incumbent's QoS.

Key words: LTE, LSA, frequency band, interference, simulation

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ РАЗНОСКОРОСТНОГО ТРАФИКА В СОТЕ СЕТИ LTE

Антонова В.М., Цирик И.А.

Московский технический университет связи и информатики, xarti@mail.com

Рассмотрено построение имитационной модели соты сети LTE, оценивающую ее производительность при передаче разноскоростного трафика. Разместите здесь краткую аннотацию на русском.

Ключевые слова: LTE, разноскоростной трафик.

Введение

Сети LTE предоставляют большие возможности по передаче трафика реального времени, при этом имеются ограничения на выделяемые радиоресурсы. Большое значение при передаче разноскоростного трафика реального времени имеет соотношение скоростей. Согласно [1] в мультисервисных сетях заявки с низкими скоростями производят вытеснение высокоскоростных заявок за счет неконтролируемого захвата небольших объемов ресурсов. Из-за этого при появлении высокоскоростной заявки часто возникает нехватка необходимого ей ресурса. Целью данной работы является анализ методов и принципов передачи разноскоростного трафика в соте сети LTE и разработка имитационной модели для оценки характеристик качества обслуживания разноскоростных заявок, а именно исследование оптимального соотношения долей высокоскоростных и низкоскоростных заявок, при котором возникают наименьшие потери.

Описание модели

В работе построена имитационная модель реального фрагмента структуры сети LTE, обслуживаемого одним модулем управления мобильностью MME/UE. При этом наихудший случай возникает, когда соотношения скоростей передачи высокоскоростных и низкоскоростных заявок составляет 32:1. Например, это могут быть речевые сообщения реального времени высокого качества со скоростью 64 кбит/с и видеоконференции высокой четкости со скоростью 2048 кбит/с. Аналитические модели при таком соотношении требуют очень большого объема вычислений [1].

Имитационная модель содержит три класса компонентов: заявку, соту и имитатор (рис. 1). Рассмотрим их подробнее. Первый класс – это описание заявки, для нее задается: ее тип (высокоскоростная и низкоскоростная), требуемая скорость передачи, момент времени поступления, средняя длина заявки и момент окончания. Второй класс – это описание параметров соты, при этом задаются как фиксированные параметры, так и изменяемые. К фиксированным относятся: пропускная способность соты, общий объем поступивших заявок, а к изменяемым – доля низкоскоростного трафика. В третьем классе описывается имитатор, который осуществляет запуск модели и хранит время и текущие состояния системы. Модель учитывает соотношение средней длительности соединений каждой скорости.

В начальный момент времени (рис. 2) генерируются одновременно две заявки: высокоскоростная и низкоскоростная, они заносятся в список будущих событий. Их текущие скорости равны соответственно максимальной и минимальной. Затем разворачивается цикл, в котором выбирается событие из списка, имеющее наименьшее время и происходит определение типа этого события. Это может быть, как поступление заявки, так и завершение обслуживания. Если произошло событие поступления заявки, то происходит ее обработка и создание еще одной заявки такого же типа. Если это событие завершения обслуживания, то происходит освобождение ресурсов, занимаемых этой заявкой.

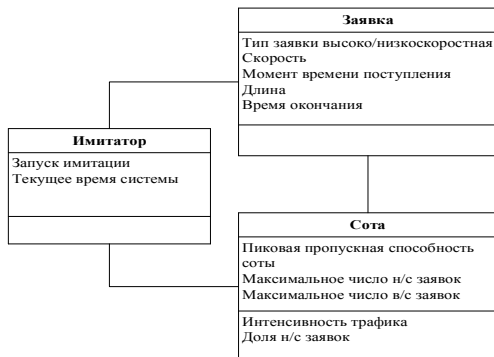


Рис. 1. Классы имитационной модели.

Основным условием для отказа передачи заявки при её обработке является нехватка ресурсов в системе в текущий момент времени. Если ресурсы для обслуживаемой заявки требуемой скорости имеются, то она принимается на передачу, при этом система обновляет счетчик поступивших заявок.

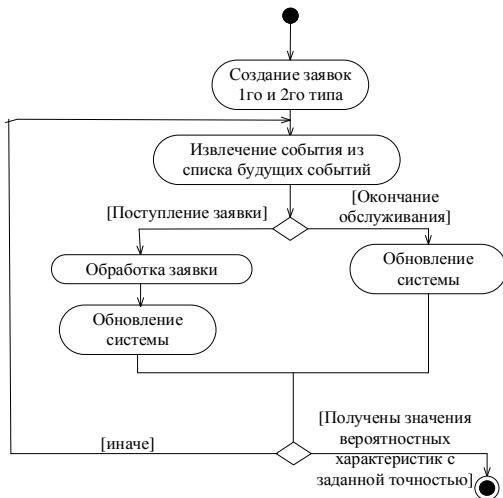


Рис. 2. Тело программы.

Основные модели теории телетрафика используют предположения о простейшем потоке поступающих заявок и экспоненциальном распределении их длин. Однако, в дальнейшем в описываемой модели могут быть использованы различные типы распределений потока поступающих заявок и времен их обслуживания [2]. Далее

рассмотрен пример для следующих данных: поступающий поток – простейший, время обслуживания – экспоненциальное, при этом ширина канала, обслуживаемого одним модулем управления ММЕ/УРЕ - 40 Мбит/с, скорости передачи 2,048 Мбит/с и 64 кбит/с.

При проведении исследований было принято, что высокоскоростные соединения имеют в два раза большую длительность, чем низкоскоростные, однако для проведения исследований в конкретных сетях необходимо дополнительное исследование данного вида трафика. Модель позволяет изменять доли высокоскоростных и низкоскоростных соединений. При исследованиях изменялась доля низкоскоростных соединений от 10% до 90%. Так же возможно изменение удельной нагрузки на соту, она изменялась от 0,75 до 0,95, с шагом 0,05. Величины потерь высокоскоростных ($p_{в/c}$) и низкоскоростных соединений ($p_{н/c}$).

Исследования подтвердили, что заявки с большими скоростями испытывают и большие потери, при этом потери высокоскоростных заявок минимальны при их доле равной 50% для всех значений удельной нагрузки на соту. При этом потери низкоскоростных заявок для всех случаев незначительны.

Разработанная имитационная модель может быть расширена для большего числа скоростей. Например, в модель могут быть введены соединения с максимальной скоростью 384 кбит/с для передачи сигналов эластичного трафика межмашинного взаимодействия М2М. Но для введение такого вида трафика в модель, необходимы дополнительные исследование его параметров, а в настоящее время доля трафика служб мониторинга и быстрого реагирования в сетях LTE составляет менее 0,01%.

Выводы

При локальном уменьшении вероятности потерь низкоскоростных заявок, возрастают потери высокоскоростных заявок, так как постепенно снижается доступ для заявок, требующих большой ресурс соты. Очевидно, что введение гарантированного порога для высокоскоростного трафика позволит снизить потери высокоскоростных соединений. На существующих сетях этот порог должен определяться на основе постоянных наблюдений в сети.

Литература

1. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010, 392 с.
2. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика: Учеб. пособ. – М.: РУДН, 2009, 342с.

A SIMULATION MODEL OF MULTI-RATE TRAFFIC TRANSFER IN THE LTE NETWORK CELLS

Antonova V. M, Chirik I. A.

MTUCI, xarti@mail.com

The article deals with LTE cell simulation model construction for estimating the cell capacity during the multi-rate transfer.

Key words: LTE, multi-rate traffic.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДУАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ МАСШТАБИРУЕМЫХ ТЕСТОВ

Берсенева Г.Б., Петрусевич Ю.А.

Тулский государственный университет, bersgen@gmail.com

Рассматривается задача разработки и исследования вычислительной эффективности дуальной сетевой системы тестирования.

Ключевые слова: информационные технологии, масштабируемые тесты, дуальная сетевая система тестирования.

Введение

15 лет назад в ТулГУ началось массовое использование сетевого тестирования в процессе обучения студентов. Тестировались одновременно целыми лекционными потоками в университетском компьютерном зале, что было очень эффективно и для студентов, и для преподавателя. Часто тестирование показывало недостаточную подготовку, это хорошо мотивировало студентов, и повторное тестирование (через 1 – 2 недели) обычно давало хорошие результаты.

К сожалению, компьютерные тесты, созданные в соответствие с имеющимися рекомендациями [1], не учитывали реальную практику их применения: довольно частые нарушения процедуры тестирования (списывание, общение), санкционированное или несанкционированное ознакомление студентов с тестовыми заданиями до тестирования, трудность защиты базы тестовых заданий на университетском сервере. Актуальной стала задача создания более защищенных компьютерных тестов.

Создание и использование масштабируемых тестов

Одним из принципов разработки тестов является принцип вариативности содержания [1], рекомендующий создавать параллельные тесты, позволяющие при повторном тестировании использовать варианты заданий с измененным содержанием. Этот принцип важен не только как один из способов защиты тестов. Преподавание IT-дисциплин связано с очень быстрым изменением языков, программных интерфейсов и технологий программирования, что приводит к постоянному изменению содержания тестов. Этот принцип позволяет при таких изменениях не выполнять повторный статистический анализ тестов. Кроме этого, тесты для текущего и рубежного контроля знаний являются критериально-ориентированными, к ним предъявляют менее жесткие требования, чем к нормативно-ориентированным.

Автором была предложена и реализована концепция масштабируемых тестов [2 - 6], в соответствии с которой в тестах используются задания только одного вида - с выбором подмножества ответов, причем утверждения каждого задания должны относиться к разным частям проверяемого тестом учебного материала (раздела дисциплины). Для формирования таких заданий вначале создается тестовое ядро, состоящее из истинных утверждений раздела дисциплины, расширенных синонимичными и ложными утверждениями. Тестовое ядро последовательно разбивается на отдельные задания, в которых утверждения будут обладать свойством локальности (соседства) и поэтому не могут использоваться в тестах. Следующий шаг – получение образа ядра, т.е. преобразование ядра в рабочий набор тестовых заданий, в которых не будет свойства локальности. При этом необходимо исключить либо минимизировать повторяемость утверждений в образе.

Задача преобразования ядра в образ при ограничении d_{min} на близость утверждений в заданиях образа ядра была формализована в виде задачи размещения с ограничением (модели $t/n/d_{min}$) [2] – предложенного автором обобщения комбинаторной задачи размещения. Были разработаны алгоритмы получения различных образов на базе ядра

[3], а также веб-приложение для автоматизации этапов создания ядра, формирования базы тестовых заданий, проведения сетевого тестирования и обработки результатов [4].

Разработанные тесты являются масштабируемыми как по входу (возможность генерирования новых образов ядра и новых тестов), так и по выходу (возможность изменения дифференцирующей способности тестов на этапе обработки результатов). Масштабируемость на выходе позволяет учесть такие отклонения в процессе обучения, как недостаточно полное изложение учебного материала преподавателем, ограниченность времени студентов для самостоятельного изучения и т. п. Этап обработки с использованием векторов штрафа позволяет учесть это. Например, если разрешить одну ошибку в каждом задании из 4 – 5 утверждений, можно значительно повысить разрешающую способность теста по дифференциации оценок знаний. Варьируя вектор штрафа и наблюдая изменение диаграммы распределения баллов на экране [4 – 6], преподаватель выбирает наиболее приемлемый результат. Другими словами, оценки студентов определяются той (графической) оценкой, которую поставит преподаватель всей группе студентов, прошедших тестирование.

Необходимо отметить хорошую валидность масштабируемых тестов. Содержательная валидность – соответствие теста содержанию проверяемого раздела дисциплины – реализована в алгоритмах [3] получения образа ядра, при этом каждый тест формируется из заданий только одного образа. Критериальная валидность – соответствие теста оцениваемому уровню деятельности – доказана 12-летним опытом использования: результаты тестирования всегда хорошо коррелировались с успеваемостью студентов.

Реализация и исследование дуальной системы тестирования

Система тестирования [4] использует текстовую базу тестов и является узкоспециализированной по отношению к текстовым редакторам. Появление новых версий этих редакторов приводит к возникновению проблем совместимости, которые иногда обнаруживаются только во время тестирования. Использование графических образов тестов на входе системы может придать системе тестирования универсальный характер, позволяя использовать тесты, подготовленные любыми текстовыми и/или графическими редакторами, и даже использовать электронные копии бланчных тестов.

Система контроля знаний [5] разработана на основе графических образов тестов. Однако, при использовании масштабируемых тестов, мы не можем полностью отказаться от заданий в текстовом формате, поскольку они, в отличие от графических форматов, позволяют выполнять их программную обработку: формировать ядро, преобразовывать ядро в образы. С другой стороны, эксплуатация двух различных систем тестирования (с текстовыми и графическими базами тестов) вызывает определенные трудности. Таким образом, актуальной является задача создание единой (дуальной) системы тестирования, работающей с тестами двух видов.

Дуальная система [6] реализована на языке C# на основе паттерна «Model – View – Controller» и технологии ASP.NET MVC 4 компании Microsoft. Для дополнительного структурирования система была разделена на 3 модуля, взаимодействующих друг с другом через базу данных. Каждый модуль представляет собой отдельную площадку (Area), содержащую свой набор представлений, моделей и контроллеров. Взаимодействие тестируемого с системой, реализованное модулем «Тестирование», обеспечивается также средствами языка JavaScript/jQuery и технологии AJAX. Именно это взаимодействие сильно зависит от вида тестов (текстовые или графические), будет наиболее сложным и определяющим нагрузочную способность системы. Невозможность построения достаточно адекватной модели производительности обусловил выбор экспериментального способа исследования нагрузочной способности системы.

Был выполнен анализ и исследование существующих инструментов автоматической эмуляции нагрузки, показавшие их ограниченные возможности. Например, при использовании продукта LoadUIWeb Pro компании Smartbear оказалось, что для MVC-

реализации трудно протестировать отдельно обработку запроса пользователя и генерацию представления, а также нет возможности программного изменения нагрузки. Это обусловило разработку дополнительного программного обеспечения для эмуляции нагрузки и выполнения исследований.

В докладе приведены результаты исследования влияния форматов тестовых заданий на производительность и потребление ресурсов системы. Для каждого эмулируемого пользователя выполнялось: генерация и получение индивидуального варианта теста, создание html-документа теста (с использованием Razor Engine), измерение времени ответа. Исследовалось также влияние технологии in-memory СУБД MS SQL Server 2014 на время создания сеанса тестирования и сохранения ответов тестирующихся. Отметим, что загрузка процессора измерялась с помощью профайлера Visual Studio Profiler.

Выводы

Рассмотрены вопросы создания и использования масштабируемых тестов для компьютерного тестирования. Обоснована необходимость создания дуальной сетевой системы тестирования и рассмотрены вопросы ее реализации. Приведены результаты исследования вычислительной эффективности системы.

Литература

1. *Аванесов В.С.* Композиция тестовых заданий / В.С. Аванесов. - 3 изд. – М. : Центр тестирования, 2002. - 240 с.
2. *Берснев Г.Б.* Задача размещения с ограничениями // Чебышевский сборник. Труды V Международной конференции "Алгебра и теория чисел: современные проблемы и приложения" / Тульский государственный педагогический университет - Тула, 2003. - Т.4. Вып.2. - С. 38 – 42.
3. *Берснев Г.Б., Ильин А.М., Вардхан Н.* Детерминированные алгоритмы формирования тестов на базе тестового ядра // Интеллектуальные и информационные системы: Материалы межрегиональной научно-технической конференции / Тульский государственный университет. – Тула, 2004. - С. 81 – 84.
4. *Берснев Г.Б., Лепихов А.Ю.* Использование модели распределенных вычислений при создании масштабируемых тестов // XLV Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики и химии: Тезисы докладов. Секции математики и информатики. – М.: РУДН, 2009. – С. 192 - 193.
5. *Берснев Г.Б., Жуков А.А.* Использование кроссплатформенного программирования при создании web-приложения для контроля знаний // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Сборник научных трудов VII международной научно-практической конференции. Под ред. проф. В.А. Сухомлина / Московский государственный университет. – М., 2012. – Т. 1. – С. 246 – 252.
6. *Берснев Г.Б., Петрусевич Ю.А.* Дуальная система тестирования на основе масштабируемых тестов // Интеллектуальные и информационные системы: Материалы всероссийской научно-технической конференции / Тульский государственный университет. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. С. 18-28.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF DUAL NETWORK SYSTEM OF CONTROLLING KNOWLEDGE BASED ON SCALABLE TESTS

Bersnev G.B., Petrucevich Y.A.

Tula State University, bersgen@gmail.com

Development and research of computational efficiency of the dual network system testing is considered.

Key words: information technologies, scalable tests, dual network system testing.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАДИОРЕСУРСОВ СОТЫ СЕТИ LTE ДЛЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО M2M ТРАФИКА

Бутурлин И.А.^{1,2}, Першаков Н.В.², Чукарин А.В.^{1,2}

¹ *Российский университет дружбы народов, ivan_buturlin@mail.ru, chukarin@yandex.ru*

² *ГБУ «Информационный город» nprshakov@gmail.com*

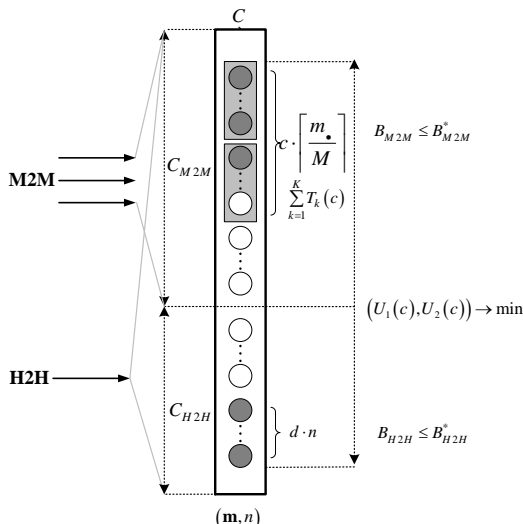
В докладе рассматривается многокритериальная задача поиска оптимального размера диапазона радиоресурсов, выделяемого для обслуживания мультисервисного трафика межмашинного взаимодействия.

Ключевые слова: LTE, M2M, трафик межмашинного взаимодействия, H2H, фиксированный диапазон пропускной способности, многокритериальная задача оптимизации.

Предложенная в [1, 2] стратегия распределения радиоресурсов не является универсальной. Для случая, когда оператор сети LTE получает существенную долю дохода в зависимости от объема обслуженного M2M-трафика (Machine-to-Machine), использование целевой функции полезности [3, 4] с одним критерием не является достаточно эффективным методом динамического распределения радиоресурсов. Для выбора оптимальной стратегии распределения радиоресурсов предлагается использовать целевую функцию $U(c)$, включающую в себя ряд критериев, которые учитывают приоритет и особенности обслуживания мультисервисного M2M-трафика. В качестве критериев будем использовать суммарное среднее время передачи блока данных M2M-трафика $U_1(c)$ и среднее число занятых условных единиц радиоресурса $U_2(c)$. Таким образом, задача поиска оптимального размера диапазона может быть сформулирована в виде многокритериальной задачи оптимизации $\min_c U(c) = \min_c (U_1(c), U_2(c))$ и решена методом взвешенных сумм, т.е.:

$$\begin{cases} \min_c U(c) = \min_c \left\{ \varpi_1 \sum_{k=1}^K T_k(c) + \varpi_2 \sum_{(m,n) \in \mathcal{X}} \left[c \cdot \left\lceil \frac{m \cdot n}{M} \right\rceil + d \cdot n \right] \cdot p(m,n) \right\}, \\ 0 \leq \varpi_i \leq 1, \sum_{i=1,2} \varpi_i = 1, \\ c \cdot S \leq C_{M2M}, B_{H2H} \leq B_{H2H}^*, B_{M2M} \leq B_{M2M}^*. \end{cases} \quad (1)$$

Для решения данной задачи (рис.1) предложен алгоритм 1 поиска точного решения, который основывается на принципе перебора. Необходимо перебрать все возможные варианты размера диапазона c EPP и выбрать тот, при котором величина целевой функции полезности будет минимальной. Подбор весовых коэффициентов ϖ_1 и ϖ_2 является отдельной задачей, которую необходимо решать исходя из требований к качеству обслуживания.

Рис.1. Задача поиска оптимального c **Алгоритм 1. Поиск оптимального размера диапазона радиоресурсов**

Исходные данные: $C, C_{H2H}, \overline{\omega}_1, \overline{\omega}_2, c, v, \mu, d, b, \lambda_i, \theta_i, i = \overline{1, K}$

1: $c \leftarrow 1$, множество всех решений $X = \emptyset$

2: пока $c \leq \lfloor C_{M2M}/S \rfloor$ выполнять

3: вычислить $B_{M2M}, B_{H2H}, T_i, i = \overline{1, K}$

4: если $(B_{M2M} \leq B_{M2M}^*) \& (B_{H2H} \leq B_{H2H}^*)$

5: то вычислить $U(c)$

6: если $U(c) = U_{\min}(c)$, то $X \leftarrow c$

7: если $U(c) < U_{\min}(c)$, то $X = \emptyset, c \rightarrow X, U_{\min}(c) := U(c)$

8: $c := c + 1$, переход к шагу 2

9: иначе $c := c + 1$, переход к шагу 2

10: конец

В докладе сформулирована многокритериальная задача поиска оптимального размера фиксированного диапазона пропускной способности соты сети LTE, выделяемого для обслуживания мультисервисного M2M-трафика. В качестве критериев используются суммарное среднее время передачи блока данных и среднее число занятых EPP. Предложенная задача оптимизации является задачей целочисленного программирования с ограничениями типа линейных неравенств. Для решения задачи сформулирован алгоритм поиска точного решения, основанный на переборе всех возможных значений целевой функции полезности.

Литература

1. Бутурлин И.А., Бегишев В.О., Коротков С.В., Короткова Е.В. Задача поиска оптимального размера фиксированного диапазона пропускной способности соты сети LTE для M2M трафика // Всероссийская конференция «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». Тезисы докладов. – М.: РУДН, 2014. – С. 17–19.
2. Бутурлин И.А., Гудкова И.А., Чукарин А.В. Модель распределения радиоресурсов с фиксированным диапазоном для трафика межмашинного взаимодействия в сети LTE // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – М.: Издательский дом Медиа Паблшер. – 2014. – №8. – С. 14–18.
3. Бутурлин И.А., Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К. О задачах максимизации функции полезности для двух алгоритмов межуровневой оптимизации в сети OFDM // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – М.: Издательский дом Медиа Паблшер. – 2012. – №7. – С. 30–32.
4. Бутурлин И.А. Модель последовательного выделения радиоресурсов диапазонами фиксированного размера для неоднородного трафика межмашинного взаимодействия в сети LTE // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – 2014. – № 4. – С. 12–22.

SOLUTION ALGORITHM FOR MULTIOBJECTIVE RADIO RESOURCE OPTIMIZATION IN LTE NETWORK WITH M2M TRAFFIC

Buturlin I.A.^{1,2}, Perchakov N.V.², Chukarin A.V.^{1,2}

¹ Peoples' Friendship University of Russia, *ivan_buturlin@mail.ru, chukarin@yandex.ru*

² GBU « Informatsionnyy gorod » *npershakov@gmail.com*

The report addresses the task of finding the optimal size of fixed bandwidth ranges for model cell LTE network with multiservice traffic machine-type communications.

Key words: LTE, M2M, Machine-Type Communications, H2H, fixed range of bandwidth, streaming traffic, multiobjective optimization problem.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНОГО ПОТОКА МНОГОФАЗНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ВХОДЯЩИМ МАР-ПОТОКОМ И КРОСС-ТРАФИКОМ*

Вишневецкий В.М., Ларионов А.А.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, vishn@inbox.ru

Исследуется выходной поток системы МАР/PH/1/N. Результаты используются для анализа многофазной системы массового обслуживания, моделирующей беспроводную сеть вдоль автодороги.

Ключевые слова: компьютерные науки, информационные технологии, теория массового обслуживания, беспроводные сети, системы связи вдоль автодорог.

Введение

Для обеспечения работы современных интеллектуальных транспортных систем необходимо строить системы связи вдоль автодорог. Одной из наиболее трудных в практической реализации задач является построение сетей вдоль протяженных загородных автомагистралей, когда зачастую оптические линии связи недоступны, и требуется покрывать большие расстояния при помощи многошаговых широкополосных беспроводных сетей. Для проектирования таких систем требуются математические модели, адекватно описывающие их функционирование.

В отличие от известных работ [1-5], близких по постановке, в докладе предлагается стохастическая модель, позволяющая анализировать многошаговую беспроводную сеть при помощи аппарата многофазных систем массового обслуживания с входящим МАР-поток, кросс-трафиком и PH-распределением времени обслуживания сообщений. Анализируя выходные потоки системы МАР/PH/1/N, удастся рекурсивно определять параметры входящего потока на каждую фазу и рассчитывать маргинальные характеристики системы связи.

Моделирование многошаговой беспроводной сети вдоль автодороги

Система связи вдоль автодороги может быть исследована при помощи аппарата теории массового обслуживания: передаваемые мобильными абонентами сообщения моделируются при помощи случайного потока пакетов, а базовые станции сети моделируются обслуживающими приборами (см. рис. 1). Каждая станция сети передает не только сообщения, полученные от соседней станции, но и сообщения, получаемые от абонентов, поэтому в модели на вход прибора поступает как выходной поток соседнего прибора, так и внешний поток пакетов (кросс-трафик).

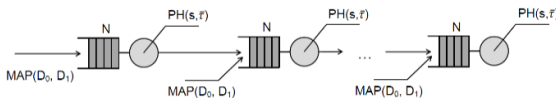


Рис. 1. Схема системы массового обслуживания

Для моделирования длительности многоступенчатой обработки каждого пакета целесообразно использовать функции распределения фазового типа (PH-распределения), в которых каждая фаза соответствует определенному техническому процессу. Для описания потока сообщений от абонентов можно использовать марковские потоки событий (Markovian Arrival Process, MAP).

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проведения прикладных научных исследований № 14.613.21.0020 от 22.10.2014

Таким образом, сеть передачи данных вдоль дороги моделируются при помощи многофазной системы массового обслуживания $\text{MAP}/\text{PH}/1/\text{N} \rightarrow \bullet/\text{PH}/1/\text{N} \rightarrow \dots \rightarrow \bullet/\text{PH}/1/\text{N}$.

Построение выходного MAP-потока системы MAP/PН/1/N

MAP-поток задается матрицей невидимых переходов $D_0 \in \mathbb{R}^{W \times W}$ и матрицей наблюдаемых переходов $D_1 \in \mathbb{R}^{W \times W}$, определяемых соотношениями:

$$\begin{aligned} D_0 &= \begin{cases} \lambda_{ij}^{(0)}, i \neq j \\ -\lambda_i, i = j \end{cases}, & i, j = \overline{1, W} \\ D_1 &= \{\lambda_{ij}^{(1)}\}, & i, j = \overline{1, W} \\ \lambda_i &= \lambda_{ii}^{(1)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^W (\lambda_{ij}^{(0)} + \lambda_{ij}^{(1)}), & i = \overline{1, W} \end{aligned} \quad (1)$$

$\text{PH}(\bar{\tau}, S)$ (распределение фазового типа) – распределение времени до попадания в поглощающее состояние 0 цепи Маркова с непрерывным временем, дискретным пространством состояний $\{0, 1, \dots, M\}$, стационарным распределением $(\tau_0, \bar{\tau})$ и инфинитезимальным генератором T , определяемым с помощью матрицы S :

$$\begin{aligned} T &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -S\bar{e}_M & S \end{bmatrix}, \quad S \in \mathbb{R}^{M \times M} \\ \tau_0 &= 1 - \bar{\tau}\bar{e}_M, \quad \bar{\tau} \in \mathbb{R}^{1 \times M} \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь и далее, $\bar{0} \in \mathbb{R}^{1 \times W}$ – вектор-строка, состоящая из всех нулей, а $\bar{e}_W \in \mathbb{R}^{W \times 1}$ – вектор-столбец, состоящий из всех единиц.

Вид выходного MAP-потока системы MAP/PН/1/N определяется с помощью следующих двух утверждений.

Утверждение 1. Композиция MAP-потоков X и Y с матрицами переходов $D_0^{(X)}, D_1^{(X)} \in \mathbb{R}^{M \times M}$ и $D_0^{(Y)}, D_1^{(Y)} \in \mathbb{R}^{N \times N}$ – MAP-поток Z , матрицы переходов $D_0^{(Z)}, D_1^{(Z)} \in \mathbb{R}^{MN \times MN}$ которого определены как:

$$\begin{aligned} D_0^{(Z)} &= I_N \otimes D_0^{(X)} + D_0^{(Y)} \otimes I_M \\ D_1^{(Z)} &= I_N \otimes D_1^{(X)} + D_1^{(Y)} \otimes I_M \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь и далее $A \otimes B$ – кронекерово произведение матриц A и B , а $I_K \in \mathbb{R}^{K \times K}$ – единичная матрица порядка K .

Утверждение 2. Пусть на вход системы MAP/PН/1/N поступает MAP-поток X с матрицами переходов $D_0^{(X)}, D_1^{(X)} \in \mathbb{R}^{W \times W}$, время обслуживания распределено согласно ПН-распределению Y с матрицей $S \in \mathbb{R}^{M \times M}$ и вектором стационарных вероятностей $\bar{\tau} \in \mathbb{R}^{1 \times M}$. Тогда на выходе системы будет MAP-поток Z , матрицы переходов которого $D_{0,1}^{(Z)} \in \mathbb{R}^{K \times K}$, $K = WM(N + 2)$, определены как:

$$D_0^{(Z)} = \begin{bmatrix} \bar{D}_0 & B_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_0 & \bar{D}_1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & R_0 & \bar{D}_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & R_0 & \bar{D}_1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & R_A \end{bmatrix}, \quad D_1^{(Z)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{C}_t & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \bar{C}_t & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \bar{C}_t & 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

а матрицы $\bar{D}_0, \bar{D}_1, B_1, R_0, R_A, \bar{C}_t$ определены следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{D}_0 &= D_0 \otimes I_M, & \bar{D}_1 &= D_1 \otimes I_M, \\ R_A &= (D_0 + D_1) \otimes I_M + I_W \otimes S, & R_0 &= D_0 \otimes I_M + I_W \otimes S, \\ B_1 &= D_1 \otimes (\bar{\tau} \otimes \bar{e}_M), & \bar{C}_t &= I_W \otimes ((-S\bar{e}_M) \otimes \bar{\tau}) \end{aligned} \quad (6)$$

Расчет параметров тандемной системы с кросс-трафиком MAP/PH/1/N \rightarrow •/PH/1/N \rightarrow ... \rightarrow •/PH/1/N

Вычислить стационарные вероятности каждого прибора можно, используя следующую схему:

- 1) для первого прибора: при помощи утверждения 2 вычислить матрицы D_0, D_1 выходящего MAP-потока из первого прибора;
- 2) для всех последующих приборов: с помощью утверждения 1 вычислить матрицы D_0, D_1 MAP-потока, входящего в прибор, как суперпозицию MAP-потока, выходящего из предыдущего прибора, и MAP-потока, описывающего кросс-трафик. Затем с помощью утверждения 2 вычислить матрицы D_0, D_1 MAP-потока, выходящего из прибора.

Используя описанную схему, можно получить инфинитезимальные генераторы выходных потоков из каждой станции тандема, а по ним элементарно рассчитываются стационарные вероятности потери пакетов, длины очередей, длительность межконцевой задержки и прочие параметры.

Выводы

В докладе рассмотрен метод моделирования широкополосной беспроводной сети вдоль протяженной автодороги при помощи системы массового обслуживания MAP/PH/1/N \rightarrow •/PH/1/N \rightarrow ... \rightarrow •/PH/1/N. Приведены утверждения, позволяющие строить MAP-потоки обслуженных пакетов в системе MAP/PH/1/N. Описана схема расчета MAP-потоков, выходящих из каждой станции тандема. Используя полученные результаты можно рассчитывать маргинальные характеристики сети.

Литература

1. *Вишневецкий В. М., Ларионов А. А., Семенова О. В.* Оценка производительности высокоскоростной беспроводной тандемной сети с использованием каналов сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн в системах управления безопасностью дорожного движения. – Проблемы управления, № 4. – 2013. – С.50–56.
2. *Vishnevsky V., Semenova O., Dudin A., Klimenok V.* Queueing model with gated service and adaptive vacations // Communications Workshops, 2009. ICC Workshops 2009. IEEE International Conference on. – June 2009. – P.5.
3. *Klimenok V., Dudin A., Vishnevsky V.* Tandem queueing system with correlated input and cross-traffic // Computer Networks, ser. Communications in Computer and Information Science. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – Vol.370. – Pp.416–425.
4. *Vishnevsky V. M., Dudin A. N., Semenova O. V., Klimenok V. I.* Performance analysis of the BMAP/G/1 queue with gated servicing and adaptive vacations. – Performance Evaluation. – Vol. 68, No. 5. – May 2011. – Pp.446–462.
5. *Klimenok V., Dudin A., Vishnevsky V.* On the stationary distribution of tandem queue consisting of a finite number of stations.–Computer Networks, ser. Communications in Computer and Information Science.–Vol.291.–Springer Berlin Heidelberg,2012.– Pp.383–392.

STUDY ON OUTPUT STREAM OF A POLYPHASE QUEUEING SYSTEM WITH MAP INPUT AND CROSS-TRAFFIC

Vishnevsky V.M., Larionov A.A.

Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, vishn@inbox.ru

Study of output stream of MAP/PH/1/N queueing system is presented. The results are used in analysis of a tandem queueing system modeling a wireless network over a long road.

Key words: computer science, information technologies, queueing systems, wireless networks, roadside networks.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ВЫБОРА СОСЕДЕЙ В ПОТОКОВОЙ ОДНОРАНГОВОЙ СЕТИ¹

Гайдамака Ю.В., Васильев И.Ю., Магамадов Р.С.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
e-mail: ygaidamaka@sci.pfu.edu.ru, iuvasiliev@gmail.com, rsmagamadov@mail.ru

Построена имитационная модель буферизации видеопотока в P2P-сетях с учетом задержки загрузки данных пользователями, стратегии загрузки и других особенностей процесса обмена видеоданными в пиринговых сетях.

Ключевые слова: P2P-сеть, потоковое видео, задержка данных, стратегия загрузки, список соседей.

Введение

P2P-технологии являются альтернативным способом организации современных сетей передачи данных. Несмотря на все недостатки потокового P2P-вещания, например, большую задержку данных и трудности с обеспечением безопасности, неоспоримые преимущества от использования P2P-технологий позволяют поставщикам услуг реализовывать новые коммерческие решения и уникальные предложения на рынке телекоммуникационных и IT услуг. Распределенная структура одноранговых сетей позволяет значительно снизить затраты на серверное оборудование, уменьшить нагрузку на сеть, значительно повысить отказоустойчивость сети, а также бесперебойно поддерживать обслуживание неограниченного количества пользователей P2P-услуг в соответствии с требованиями к качеству обслуживания.

Имитационная модель

В работе рассматривается приближенная к реальной модель потоковой P2P-сети. Центральную позицию в имитационной модели занимают механизм буферизации видеопотока и процесс обмена видеоданными между пользователями. Модель позволяет исследовать важнейшие характеристики QoS и QoE в потоковых одноранговых сетях: вероятность непрерывного воспроизведения – вероятность того, что пользователь успел найти и успешно загрузить порцию данных до начала ее воспроизведения; вероятность блочной потери – вероятность того, что пользователь не успел найти или закачать две и более порции данных подряд до момента их воспроизведения; вероятность наличия порции данных на позициях буфера и вероятность загрузки порций данных. Модель учитывает задержки данных во времени между пользователями, а также дает возможность выбрать стратегию загрузки, которая применяется для выбора конкретных порций данных, когда запрашивающий пользователь из-за ограничения на скорость загрузки может закачать меньше порций данных, нежели другой пользователь с высокой скоростью раздачи может отдать. В этой работе рассмотрена еще одна важная особенность потоковых P2P-сетей — это различные принципы составления списка соседей — списка ближайших пользователей, с которыми и будет происходить обмен данными напрямую.

Для анализа интересующих характеристик построена имитационная модель потоковой P2P-сети с одним сервером и N пользователями, которые присутствуют в сети постоянно. Для упрощения имитационной модели все пользователи разбиты на три группы с разными величинами задержки загрузки данных от сервера: n_1 пользователей с задержкой lag_1 образуют группу «ближайших» к серверу пользователей (*Group 1*), n_2 пользователей входят в группу «средне удаленных» пользователей с задержкой lag_2 , (*Group 2*) и n_3 пользователей с задержкой lag_3 — группу «удаленных» пользователей

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-07-00090, 15-07-03608, 15-07-03051.

(Group 3). Все N пользователей распределены по группам равномерно, таким образом, $n_1=n_2=n_3=N/3$, причем $lag_1 < lag_2 < lag_3$. Процесс функционирования потоковой P2P-сети в имитационной модели разбит на T тактов, длина которых постоянна и соответствует времени воспроизведения одной порции данных. Сбор статистики начинается с Ts такта, $Ts < T$. Каждый пользователь имеет буфер для хранения $M+1$ порции данных, где 0-место предназначено для загрузки новых порций данных от сервера-первоисточника, а оставшиеся M мест — для хранения и обмена порциями с другими пользователями.

Для каждого пользователя составляется список соседей, куда входит b пользователей. В работе рассматривается два способа составления списка соседей. При традиционном способе (Rule 1) для каждого пользователя соседи выбираются случайным образом по $b/3$ пользователей из каждой группы. При альтернативном способе (Rule 2), предлагаемом авторами, для ближайших пользователей в список соседей войдут $b/2$ пользователей из первой группы, $b/3$ пользователей из второй группы и $b/6$ из третьей; для средне удаленных пользователей список соседей будет состоять из $b/4$ быстрых пользователей, $b/4$ удаленных пользователей и $b/2$ средне удаленных; у удаленных пользователей в список соседей войдут $b/6$ ближайших пользователей, $b/3$ пользователей из средне удаленной группы и $b/2$ пользователей из своей же третьей группы удаленных пользователей. Второй способ составления списка соседей графически изображен на рис. 1.

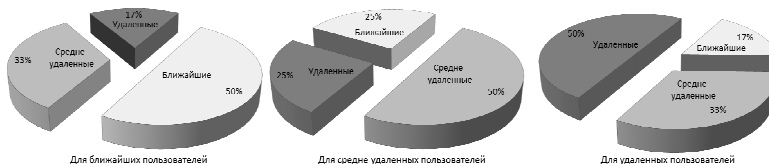


Рис. 1. Альтернативный способ составления списка соседей.

Список соседей формируется один раз в начале функционирования P2P-сети и не изменяется. Пользователи могут взаимодействовать напрямую только со своими соседями, обмениваясь с ними порциями данных. Предполагается, что пользователь может загрузить только одну порцию данных за один такт. Разработанная имитационная модель потоковой пиринговой сети с учетом сдвига по времени между пользователями, выбранной стратегии загрузки и предпочитаемым способом формирования списка соседей позволяет оценить интересующие нас характеристики, обозначенные выше.

На рис. 2 представлен алгоритм имитационной модели потоковой P2P-сети в виде PFDD диаграммы нотации IDEFO.

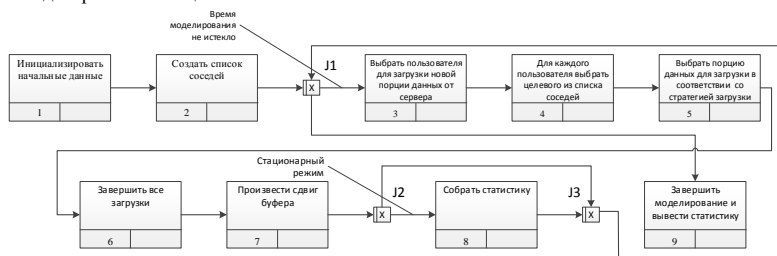


Рис. 2. Алгоритм имитационной модели потоковой P2P-сети

Ниже представлен алгоритм функционирования имитационной модели P2P-сети на каждом такте.

Шаг 1. Сервер случайным образом выбирает s -пользователя, которому на 0-позицию буфера будет загружена новая порция данных;

Шаг 2. Каждый n -пользователь, которого не выбрал сервер ($n \neq s, n=1, \dots, N$), случайным образом выбирает себе целевого h -пользователя из списка соседей, и запрашивает такую порцию данных, что у n -пользователя ее нет, у h -пользователя она имеется и именно эту порцию данных следует загрузить в соответствии со стратегией загрузки;

Шаг 3. Сдвиг буферов пользователей в соответствии с принципами [1-2];

Шаг 4. Завершение загрузки данных и сбор статистики.

Численный эксперимент

В качестве исходных данных были выбраны следующие значения: $n_1=n_2=n_3=100$, $M=40$, $b=60$, $lag_1=0$, $lag_2=15$, $lag_3=30$, $T=10^6$, $T_S=5 \cdot 10^5$, стратегия загрузки Latest First — стратегия, при которой выбирается ближайшая к началу буфера порция данных.

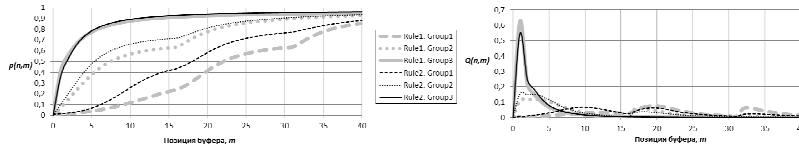


Рис. 3. Вероятность наличия $p(n,m)$ и вероятность загрузки $Q(n,m)$ порции данных на m -позицию буфера n -пользователя

Как видно из рис. 3, альтернативный способ составления списка соседей (*Rule 2*) увеличивает вероятность непрерывного воспроизведения видео $p(n,M)$ для всех типов пользователей. Также, численный эксперимент показывает, что удаленные пользователи (*Group 3*) просматривают видео с меньшими паузами в воспроизведении.

Выводы

Разработанная модель позволяет варьировать такие параметры сети, как количество серверов и пользователей сети, размер их буферов, правила составления списка соседей, количество соседей, стратегии загрузки, величины задержки и скорости загрузки и отдачи данных. Оценка влияния скоростей и выбранной стратегии является целью дальнейших исследований.

Литература

1. Gaidamaka Yu., I. Vasiliev, A. Samuylov, K. Samuylov, S. Shorgin. Simulation of Buffering Mechanism for Peer-to-Peer Live Streaming Network with Collisions and Playback Lags// In Proceeding of the 13th International Conference on Networks (Nice, France, Feb.23- 27, 2014), 86-91.
2. Adamu A., Yu. Gaidamaka, and A. Samuylov. Discrete Markov Chain Model for Analyzing Probability Measures of P2P Streaming Network// Lecture Notes in Computer Science, 2011, vol. 6869, 428-439.

SIMULATION FOR NEIGHBOR SELECTION STRATEGY OPTIMIZATION IN P2P STREAMING NETS

Gaidamaka Yu.V., Vasiliev I.Yu., Magamadov R.S.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
e-mail: ygaidamaka@sci.pfu.edu.ru, iuvasiliev@gmail.com, rsmagamadov@mail.ru

A simulation model of data buffering in real P2P streaming networks with regard to lags among peers, download strategy, and other details is proposed.

Key words: P2P network, live video, lag, download strategy, group of neighbors.

МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ПОСТОЯННЫМ И ВРЕМЕННЫМ ДИАПАЗОНАМИ ЧАСТОТ В СЕТИ LTE¹

Гудкова И.А.¹, Острикова Д.Ю.¹, Гурков С.А.¹,
Андреев С.Д.^{1,2}, Пономаренко-Тимофеев А.А.²

¹ Российский университет дружбы народов, [igudkova, dyostrikova]@sci.pfu.edu.ru,
serega.gurkov@inbox.ru, serge.andreev@gmail.com,

² Технологический университет Тампере (Финляндия), serge.andreev@gmail.com,
alexeyponomarenko92@gmail.com

Построена модель для анализа распределения нагрузки между постоянным и временным диапазонами частот в сети LTE (Long Term Evolution). А также приведена формула для расчета основной характеристики системы – вероятности успешного продолжения активного соединения, т.е. вероятности того, что при изъятии временного диапазона частот предоставление услуги не будет приостановлено.

Ключевые слова: LTE, LSA, диапазон частот, недоступность услуги

Введение

В условиях быстрого роста объема передаваемого трафика по сетям мобильной связи у операторов возникает проблема нехватки частотно-временных ресурсов для обслуживания пользователей. При этом дальнейшее расширение частотного спектра затруднительно в связи с утвержденным государством планом использования частот.

Для решения данной проблемы может применяться разрабатываемая при поддержке Европейской комиссии (European Commission, EC) регулирующая система совместного использования диапазона частот (Licensed Shared Access, LSA) [1], которая позволяет оператору расширить используемый диапазон частот при помощи аренды дополнительного временного диапазона. При этом временный диапазон частот в случае необходимости должен быть немедленно возвращен первоначальному владельцу. В случае изъятия временного диапазона оператор должен с минимальной задержкой перераспределить частоты базового диапазона между пользователями сети.

Авторами построена математическая модель соты сети LTE с постоянным и временным диапазонами частот, а также получена формула для расчета основной характеристики системы – вероятности успешного продолжения активного соединения, т.е. вероятности того, что при изъятии временного диапазона частот предоставление услуги не будет приостановлено. Необходимо отметить, что модель с одним временным диапазоном частот ранее исследовалась в [2,3].

Математическая модель

На систему, состоящую из двух групп приборов размера C_1 и C_2 , а также очереди размера r , поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью λ . Заявки занимают сначала приборы первого пула. В случае отсутствия свободных приборов первого пула, заявки занимают приборы второго пула. Предполагается, что приборы второго пула сохраняют за собой место в очереди и могут одновременно (что соответствует всему диапазону) выходить из строя с интенсивностью α , а затем восстанавливаться через определенное время с интенсивностью β . Выход из строя и восстановление приборов распределены по экспоненциальному закону. Если в момент поступления заявки в системе есть свободные приборы, то заявка поступает на

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-00953 а.

обслуживание, занимает один прибор и обслуживается на нем в течение случайного времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром μ . Если же в момент поступления заявки в системе нет свободных приборов для ее обслуживания, то заявка помещается в очередь. В случае если очередь полна, поступившая заявка теряется. Если приборы второго пула выходят из строя, то обслуживаемые ими заявки занимают свободные приборы первого пула, а оставшиеся, если такие есть, переходят в очередь для ожидания. В случае, когда все приборы первого пула заняты, все заявки с приборов второго пула переходят в очередь.

Пусть n_1 – число занятых приборов первого пула, n_2 – число занятых приборов второго пула, m – число заявок в очереди, а s – состояние приборов второго пула. При этом $s=0$, если приборы второго пула недоступны, а $s=1$, если приборы второго пула находятся в рабочем состоянии. Тогда функционирование системы можно описать составным марковским случайным процессом (СП) над пространством состояний:

$$\mathbf{X} = \{n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, \dots, C_2, m = 0, s = 1; n_1 = C_1, n_2 = C_2, m = 1, \dots, r - C_2, s = 1; n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, m = 0, s = 0; n_1 = C_1, n_2 = 0, m = 1, \dots, r, s = 0\}. \quad (1)$$

Отметим, что пространство состояний (1) можно разбить на четыре подмножества: $\{n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, \dots, C_2, m = 0, s = 1\}$ соответствует состояниям, когда приборы второго пула работают и очередь пуста, $\{n_1 = C_1, n_2 = C_2, m = 1, \dots, r - C_2, s = 1\}$ – приборы второго пула работают и очередь не пуста, $\{n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, m = 0, s = 0\}$ – приборы второго пула не работают и очередь пуста, $\{n_1 = C_1, n_2 = 0, m = 1, \dots, r, s = 0\}$ – приборы второго пула не работают и очередь не пуста. На рис. 1. представлена структура пространства состояний модели с учетом четырех групп состояний.

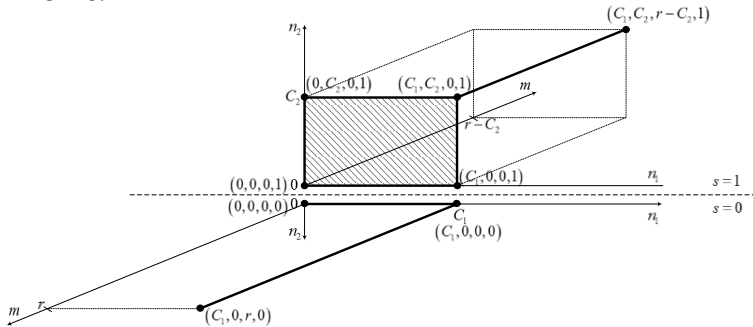


Рис.1. Структура пространства состояний

Распределение вероятностей $p(n_1, n_2, m, s) \in \mathbf{X}$ находится решением соответствующей системы уравнений равновесия (СУР) $\mathbf{p}^T \cdot \mathbf{A} = \mathbf{0}^T$ численными методами.

Расчет вероятностно-временных характеристик

Из основных вероятностно-временных характеристик модели наибольший интерес представляют вероятность блокировки B запросов пользователей на предоставление услуги, вероятность F того, что временный диапазон частот изъят, среднее число

пользователей N , которым недоступна услуга, вероятность P успешного продолжения активного соединения, т.е. вероятность того, что при изъятии временного диапазона частот предоставление услуги не будет приостановлено, рассчитывающиеся по формулам (2) – (5) соответственно:

$$B = p(C_1, 0, r, 0) + p(C_1, C_2, r - C_2, 1), \quad (2)$$

$$F = \sum_{n_1=0}^{C_1} p(n_1, 0, 0, 0) + \sum_{m=1}^r p(C_1, 0, m, 0), \quad (3)$$

$$N = \sum_{m=1}^r mp(C_1, 0, m, 0) + \sum_{m=1}^{r-C_2} mp(C_1, C_2, m, 1), \quad (4)$$

$$P = \sum_{n_2=1}^{C_2} \sum_{n_1=0}^{C_1-n_2} p(n_1, n_2, 0, 1) + \sum_{n_2=1}^{C_2} \sum_{n_1=C_1-n_2+1}^{C_1-1} \left[\binom{n_2-1}{C_1-n_1-1} \right] / \left[\binom{n_2}{C_1-n_1} \right] p(n_1, n_2, 0, 1). \quad (5)$$

Выводы

В заключение отметим, что в докладе проведен анализ основных вероятностно-временных характеристик модели.

Литература

1. ETSI TS 103 113: "Mobile broadband services in the 2300 MHz 2400 MHz band under Licensed Shard Access regime", Ver. 1.1.1, 2013-07-01.
2. Гудкова И.А., Острикова Д.Ю. К анализу среднего числа пользователей, ожидающих начала обслуживания, в модели сети LTE с временным выделением полосы частот // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сборник избранных трудов IX Международной научно-практической конференции (14–16 ноября 2014 г., Москва) / Под ред. проф. В.А. Сухомлина. – М.: ИНТУИТ.РУ, 2014. – С. 376–387.
3. Borodakiy V.Y., Samouylov K.E., Gudkova I.A., Ostrikova D.Y., Ponomarenko A.A., Turlikov A.M., and Andreev S.D. Modeling unreliable LSA operation in 3GPP LTE cellular networks // Proc. of the 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2014 (October 6–8, 2014, St. Petersburg, Russia). – IEEE. – 2014. – P. 390–396.

MODELLING LOAD BALANCING SCHEME BETWEEN PRIMARY LICENSED AND LSA FREQUENCY BANDS IN LTE NETWORK

Gudkova I.A.¹, Ostrikova D.Y.¹, Gurkov S.A.¹, Andreev S.D.^{1,2}, Ponomarenko-Timofeev A.A.²

¹ Peoples' Friendship University of Russia, {gudkova, dyostrikova}@sci.pfu.edu.ru,
serega.gurkov@inbox.ru, serge.andreev@gmail.com,

² Tampere University of Technology, serge.andreev@gmail.com, alexeyponomarenko92@gmail.com

We propose a mathematical model for analyzing load balancing scheme between primary licensed and LSA frequency bands in LTE network. We also determine the most important quality metric – probability of successful evacuation.

Key words: LTE, LSA, frequency band, service unavailability.

ОПТИМАЛЬНЫЙ СБОР ДАННЫХ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Дорт-Гольц А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, dortgolts@spbgut.ru

В докладе рассматривается задача организации оптимального сбора данных наземной сенсорной сети с использованием беспилотных летательных аппаратов применительно к приложениям мониторинга в реальном времени.

Ключевые слова: сенсорные сети, летающие сенсорные сети, оптимизация.

1. Введение

В настоящее время сенсорные сети проходят стадию активного внедрения и поиска новых областей применения, одной из которых является мониторинг различных параметров в реальном времени. Однако зачастую отсутствует возможность поместить шлюз, который бы связывал сенсорную сеть с системами обработки полученных данных, в зоне радиодоступа последней. Многообещающим вариантом решения данной проблемы является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для физического переноса данных между сенсорной сетью и шлюзом [1].

2. Постановка задачи

Рассмотрим задачу сбора данных с наземной сенсорной сети при помощи группы автономных БПЛА. Пусть имеется некоторая область Ω , в которой располагаются узлы сенсорной сети (см. рис. 1). Наиболее эффективной архитектурой сенсорной сети на сегодняшний день считается разбиение Ω на кластеры, с последующим выбором в каждом из них головного узла, отвечающего за агрегирование и пересылку данных на шлюз [2]. Предположим, что сенсорная сеть состоит из n кластеров, при этом средняя интенсивность трафика, поступающего на i -й головной узел, известна и составляет A_i .

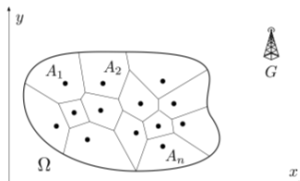


Рис. 1. Рассматриваемая сенсорная сеть

Данные, генерируемые сенсорной сетью, необходимо передавать на шлюз G , находящийся вне зоны радиодоступа сенсорной сети, для чего используется m БПЛА, каждый из которых оснащен радиомодулем и дополнительной памятью для переноса полученной информации. Поступающий трафик i -го кластера собирается и временно хранится в головном узле, откуда может быть передан ближайшему БПЛА. Естественно возникающей в этом случае задачей является планирование движения отдельных БПЛА.

Узлы наземной сенсорной сети обладают ограниченным запасом энергии, следовательно, наилучшим с точки зрения энергоэффективности положением сбора данных является точка в непосредственной близости от головного узла, что позволит передатчику последнего работать на минимальной мощности. Тогда наиболее целесообразной траекторией движения БПЛА можно считать замкнутую ломаную прямую, проходящую через узлы, обслуживаемые данным летательным аппаратом, и шлюз G (см. рис. 2).

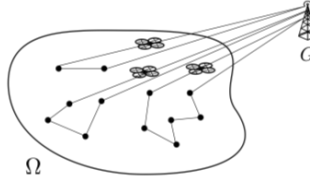


Рис. 2. Пример траекторий БПЛА при сборе данных наземной сенсорной сети

В данном случае актуальной задачей является поиск разбиений множеств головных узлов и БПЛА, позволяющих минимизировать некоторую метрику, в качестве которой может выступать энергопотребление, сетевая задержка и т.п.

3. Сценарии сбора данных с помощью БПЛА

Ограничимся рассмотрением метрики задержки передачи данных сенсорной сети на шлюз, усреднённой по всем головным узлам (см. 1). Такая метрика представляет особый интерес для приложений, критичных к сетевым задержкам, к которым могут быть отнесены различные приложения мониторинга в реальном времени [3].

$$\bar{t}_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_d(i). \quad (1)$$

При этом средняя задержка передачи данных i -го узла $t_d(i)$ представляет собой функцию от ряда параметров, включая скорость движения БПЛА, координаты головного узла, интенсивность поступления данных A_i , пропускных способностей радиоканалов и др. Можно выделить три различных сценария сбора данных, зависящих от соотношения количества БПЛА и головных узлов.

Равное количество головных узлов и БПЛА. Самый простой случай, при котором один БПЛА обслуживает ровно один головной узел, постоянно циркулируя между ним и шлюзом. При заданных скоростях движения БПЛА наименьшая задержка передачи данных, усреднённая по сети, может быть достигнута путём поиска оптимальных сочетаний пар головных узлов и обслуживающих их летательных аппаратов.

$$\{u_i^*\}_{i=1}^n = \operatorname{argmin}_{\{u_j\}} \bar{t}_d, \quad (2)$$

где $\{u_i^*\}_{i=1}^n$ – искомая оптимальная последовательность БПЛА, отображаемая на упорядоченное множество головных узлов, а \bar{t}_d – усреднённая задержка передачи данных. Эффективное решение оптимизационной задачи 2 может быть получено с помощью методов комбинаторной оптимизации, таких как динамическое программирование или метод ветвей и границ.

Количество головных узлов превышает число доступных БПЛА. В данном случае один БПЛА будет обслуживать группу головных узлов. Возникает задача распределения n головных узлов по m группам, каждая из которых обслуживается одним БПЛА. Задача минимизации усреднённой задержки описывается выражением 3.

$$\{\{k_i^*\}_{i=1}^{k_1}, \{k_i^*\}_{i=1}^{k_2}, \dots, \{k_i^*\}_{i=1}^{k_m}\} = \operatorname{arg} \min_{\substack{\{k_i\}, k_j, \forall j=1, \dots, m. \\ \sum_{j=1}^m k_j = m}} \bar{t}_d. \quad (3)$$

Задача 3 представляет собой сложную многоуровневую проблему структурной оптимизации. Каждое вычисление значения целевой функции сопровождается решением вложенной подзадачи нахождения оптимальной последовательности облёта узлов

данной группы для каждой из m групп. Полученное множество представляет собой такой набор упорядоченных последовательностей головных узлов, обслуживаемых каждым БПЛА, что средняя задержка передачи данных по сети будет минимальной.

Решение задачи 3 может быть получено с применением эволюционных методов оптимизации, таких как, например, генетический алгоритм. При этом для вложенных подзадач поиска оптимальных последовательностей можно использовать динамическое программирование или метод ветвей и границ.

Количество головных узлов меньше числа доступных БПЛА. Данный случай предполагает распределение всего множества БПЛА по головным узлам, позволяющее каждому узлу обслуживаться одним или более БПЛА. Оптимальной (с точки зрения протяженности) траекторией группы БПЛА, собирающих информацию с некоторого узла, будет прямая, соединяющей этот узел и шлюз, при этом моменты запуска отдельных летательных аппаратов из одной группы предполагаются равноотстоящими во времени. Для упрощения задачи можно рассмотреть случай равных скоростей полёта отдельных БПЛА.

$$\{s_i^*\}_{i=1}^n = \operatorname{argmin}_{\{s_i\}} \bar{v}_d, \sum_{i=1}^n s_i = m. \quad (4)$$

Решением оптимизационной задачи 4 является n -мерный вектор, содержащий информацию об оптимальном с точки зрения минимизации средней задержки количестве БПЛА, обслуживающих каждый головной узел. Данная задача может быть классифицирована, как разновидность целочисленной проблемы распределения ресурсов, и эффективно решается методом динамического программирования.

4. Заключение

В докладе рассмотрены возможные сценарии сбора данных с наземной сенсорной сети, зависящие от соотношения количества кластеров последней и числа БПЛА. Определен тип целевой функции для приложений мониторинга в реальном времени. Сформулированы соответствующие постановки оптимизационных задач, позволяющие минимизировать среднее время доставки собранных данных на шлюз, а также указаны возможные методы решения таких задач.

Литература

1. Кучерявый, А. Е., Владыко, А. Г., Киричек, Р. В., Парамонов, А. И., Прокопьев, А. В., Богданов, И. А., Дорт-Гольц, А. А. Летающие сенсорные сети // Журнал “Электросвязь” – 2014. – №. 9. – С. 2-5.
2. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети //СПб.: Любавич. – 2011.
3. Pazzi R. W. N., Boukerche A. Mobile data collector strategy for delay-sensitive applications over wireless sensor networks //Computer Communications. – 2008. – Т. 31. – №. 5. – С. 1028-1039.

OPTIMAL DATA GATHERING IN SENSOR NETWORKS USING UAV SWARM

Dort-Golts A. A.

Saint-Petersburg State University of Telecommunications, dortgolts@gmail.com

In this paper we consider data gathering from the terrestrial sensor network using swarm of UAVs. Objective function of data transportation latency is used to obtain optimal solution for real-time monitoring applications.

Keywords: USN data gathering, FANET, network optimization.

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗАЯВОК ФИКСИРОВАННОЙ ДЛИНЫ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ¹

Коновалов М. Г., Разумчик Р. В.

Институт проблем информатики Российской академии наук,
mkonovalov@ipiran.ru, razumchik@ipiran.ru

Рассматривается сеть массового обслуживания, состоящая из нескольких параллельно работающих систем, каждая из которых имеет очередь неограниченной емкости и один обслуживающий прибор. Заявки фиксированной длины поступают в сеть по пуассоновскому закону. В момент поступления очередной заявки в соответствии с некоторой стратегией она направляется в одну из систем и после окончания обслуживания в ней покидает сеть и больше в нее не возвращается. Времена обслуживания заявок в различных системах различны и фиксированы. Ставится задача нахождения стратегии, минимизирующей среднее время пребывания заявки в системе.

Ключевые слова: гетерогенная система, детерминированное обслуживание, оптимальная стратегия.

Как отмечается авторами работы [1], задачу оптимального распределения заявок, поступающих в гетерогенную вычислительную систему, которая представляет собой совокупность параллельно работающих независимых систем, можно рассматривать в настоящее время как классическую. Но в отличие от многих классических задач, служащих для иллюстративных целей, эта задача, как отмечено в той же работе, остается важной с практической точки зрения и при этом для нее известно лишь немного результатов, касающихся оптимизации. Соответствующий обзор можно найти в недавних работах [1, 2].

Приведем постановку задачи, следуя работе [1] и пользуясь терминами теории массового обслуживания, которая предоставляет удобный понятийный аппарат для описания интересующих нас процессов. Рассматривается сеть массового обслуживания в стационарном режиме, состоящая из $n > 2$ параллельно работающих систем, каждая из которых имеет один обслуживающий прибор и неограниченную очередь. В сеть поступает пуассоновский поток заявок интенсивности $\lambda > 0$. В момент поступления очередной заявки принимается решение о направлении ее на обслуживание в одну из n систем. После окончания обслуживания заявка покидает систему. Каждая заявка обслуживается в i -й системе в порядке поступления неслучайное конечное время, равное b_n . В работе [1] показано, что в случае $n = 2$ оптимальной стратегией распределения заявок с точки зрения минимизация среднего времени пребывания заявки в системе является некоторая разновидность пороговой стратегии. Оптимальное значение порога авторы предлагают находить численно, а также предлагают несколько эвристических стратегий, которые при определенных значениях начальных параметров близки к оптимальной стратегии. Однако остается открытым вопрос об оптимизации для случая $n > 2$.

В докладе представлены некоторые новые аналитические результаты, касающиеся случая более чем двух обслуживающих приборов, а также предложено численное решение оптимизационной задачи для $n \geq 2$, отличное от полученного в работе [1]. В

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-07-0340615).

основе решения лежит подход, основанный на использовании метода Монте-Карло в сочетании с адаптивными алгоритмами для управления частично наблюдаемыми марковскими цепями [3, 4].

Литература

1. Hyutiä E. Optimal routing of fixed size jobs to two parallel servers, INFOR: Information Systems and Operational Research, 2014. <https://www.netlab.tkk.fi/u/esa/pub/files/hyutiainfor-2014-cr.pdf>
2. Hyutiä E. Lookahead Actions in Dispatching to Parallel Queues, Performance Evaluation, vol. 70, no. 10, pp. 859-872, 2013, Vienna, Austria, (IFIP Performance'13).
3. Коновалов М. Г. Методы адаптивной обработки информации и их приложения. – М.: ИПИ РАН, 2007. – 212 с. – ISBN 978-5-902030-59-9.
4. Коновалов М. Г. Оптимизация работы вычислительного комплекса с помощью имитационной модели и адаптивных алгоритмов. Информ. и её примен., 6:1 (2012), 37–48.

ON OPTIMAL DISPATCHING OF FIXED-SIZE CUSTOMERS IN HETEROGENEOUS SYSTEMS WITH PARALLEL DETERMINISTIC SERVICE

Kononov M.G., Razumchik R.V.

*Institute of Informatics Problems of Russian Academy of Sciences,
mkononov@ipiran.ru, rrazumchik@ipiran.ru*

Consideration is given to queueing network consisting of several queueing systems working in parallel. Each queueing system has infinite size queue and single server. Customers of fixed length arrive at the network according to Poisson flow. Upon arrival of the customer decision is made in which queueing system it should be placed. Being served customer leaves the network. Service times in queueing systems are different and nonrandom. Optimal dispatching policy minimizing social mean response time is being investigated.

Key words: heterogeneous system, deterministic service, optimal policy.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СИГНАЛА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УСТРОЙСТВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ¹

Кучерявый Е.А., Андреев С.Д., Молчанов Д.А., Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К.,
Этезов Ш.А.

Технологический университет Тампере, vk@cs.tut.fi, serge.andreev@gmail.com,
dmitri.molchanov@tut.fi

Российский университет дружбы народов, ygidamaka@mail.ru, aksamuylov@gmail.com,
setezov@gmail.com

В ходе научной работы при помощи аналитических и имитационных методов произведена оценка качества сигнала беспроводной сети для одной из возможных схем распределения радиоресурса между несколькими парами устройств «приемник-передатчик».

Ключевые слова: SIR, SINR, беспроводные сети, LTE, M2M, D2D.

Введение

Одной из основных задач, решаемых по теме беспроводных сетей, на сегодняшний день, является задача распределения радиоресурсов, поскольку среда для передачи беспроводных сигналов - общая для всех пользователей, а частотный ресурс (частотно-временной в контексте сетей LTE) - ограничен. Оптимизируя использование ресурса беспроводными устройствами, можно добиться улучшения качества обслуживания сети, а также повышения ее пропускной способности.

Помимо Интернет-трафика, передаваемого беспроводными устройствами через базовую станцию, современные приложения все чаще требуют передачи трафика устройствам, находящимся в непосредственной близости от передатчика. Такой тип трафика называется межмашинным (M2M, D2D), и, теоретически, не требует от базовой станции участия в передаче пакетов. В контексте сетей LTE на сегодняшний день активно ведутся разработки механизмов, позволяющих организовать «прямое» взаимодействие находящихся рядом устройств с минимальной затратой частотно-временных ресурсов. Примером оптимизации ресурсного пространства может служить следующая ситуация: при наличии двух пар беспроводных устройств «приемник-передатчик», находящихся друг от друга на достаточном расстоянии, нет необходимости выделять им различные ресурсные блоки для обмена информацией, можно ограничиться одним. Однако в этом случае появляется риск снижения качества связи между приемником и передатчиком одной пары за счет интерференции, создаваемой передатчиком другой пары.

Таким образом, возникает задача оптимизации использования радиоресурсов с учетом допустимых значений параметров качества сигнала беспроводных сетей, таких как, например, интерференция.

¹ Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-07-00090, 15-07-03051, 15-07-03608.

Оценка качества сигнала в рамках решаемой задачи

Отношение сигнала к интерференции плюс шум ($SINR$, Signal to Interference plus Noise Ratio) является одной из основных характеристик качества сигнала в беспроводных сетях связи. Общая формула для нахождения $SINR$ имеет вид [1]:

$$SINR = \frac{S}{\sum_{i=1}^N I_i + \sigma^2}, \quad (1)$$

где S – это мощность сигнала, N – число интерферирующих объектов, I_i – мощность интерферирующего сигнала от i -ого объекта, а σ^2 – мощность шума. Для упрощения в работе предполагается, что шум отсутствует. В этом случае искомой характеристикой является отношение сигнала к интерференции (SIR , Signal to Interference Ratio) [1]:

$$SIR = \frac{S}{\sum_{i=1}^N I_i}. \quad (2)$$

Мощность принимаемого сигнала является функцией от расстояния между рассматриваемым приемником и передатчиком или интерферирующим объектом. Величины S и I_i могут быть вычислены по следующим формулам [2]:

$$\begin{aligned} S &:= S(l_0) = g_0 l_0^{-\gamma_0}, \\ I_i &:= I_i(l_i) = g_i l_i^{-\gamma_i}, \end{aligned} \quad (3)$$

где g_i – базовая мощность сигнала на передатчике, l_i – расстояние между i -ым передатчиком и приемником, а γ_i – коэффициент потерь (path loss exponent), принимающий значение от 2 (при условии прямой видимости) до 6 (в худшем случае), $i = \overline{0, N}$. В условиях рассмотренной задачи предполагалось, что коэффициенты потерь равны 2.

Рассмотренная схема представлена на рис. 1.

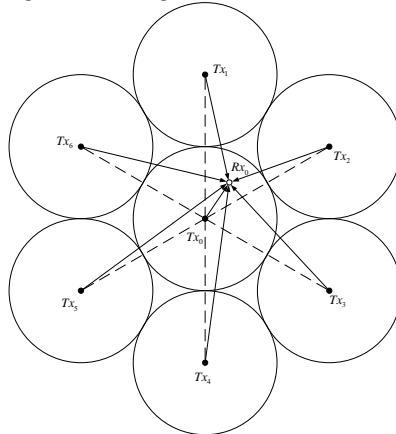


Рис. 1 Схема участка беспроводной сети

Схема представляет собой разбиение некоторой области в зоне действия базовой станции на семь соприкасающихся кластеров (кругов), в центрах которых располагаются различные передатчики ($Tx_i, i = \overline{0, 6}$). Внутри круга случайным образом располагаются соответствующие передатчикам приемники. Радиусы всех кругов равны. В рамках решения задачи рассматривается качество сигнала, поступающего на приемник Rx_0 , находящийся в центральном кластере, от передатчика Tx_0 с учетом интерференции, создаваемой передатчиками в соседних кластерах.

Предполагается, что рассматриваемый приемник расположен в центральном (основном) кластере в соответствии с равномерным законом распределения.

Выводы

В рамках работы при помощи аналитических и имитационных методов, а также методов, описанных в [3] были оценены вероятностные характеристики случайной величины SIR , получены графики ее плотности.

В качестве задач дальнейших исследований предполагается доработка и усложнение существующей схемы, рассмотренной в рамках описанной задачи, с целью приближения ее к условиям функционирования реальных сетей.

Литература

1. *Rappaport T. S.* Wireless Communications: Principles and Practice // Prentice Hall. – 2 edition (January 10, 2002) – 736 p.
2. *Andrea Goldsmith* Wireless Communications // Cambridge University Press. – 1 edition (August 8, 2005) – 674 p.
3. *Левин Б. П.* Теоретические основы статистической радиотехники. Изд.3-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во: Радио и связь. – 1989. – 656 с.

EVALUATION OF THE SIGNAL QUALITY DURING WIRELESS DEVICE-TO-DEVICE COMMUNICATION CONSIDERING INTERFERENCE

Koucheryavy Ye.A., Andreev S.D., Moltchanov D.A., Gaidamaka Yu.V., Samuylov A.K., Eteзов S.A.
Tampere University of Technology, yk@cs.tut.fi, serge.andreev@gmail.com, dmitri.moltchanov@tut.fi,
Peoples' Friendship University of Russia, ygaidamaka@mail.ru, aksamuylov@gmail.com,
setezov@gmail.com.

During the scientific work a scheme with several pairs of communicating devices was considered and communication signal quality was evaluated.

Key words: SIR, SINR, wireless network, LTE, M2M, D2D.

К АНАЛИЗУ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ОДНОКАНАЛЬНОГО ПОТОКОВОГО ТРАФИКА В ОДНОРАНГОВОЙ СЕТИ¹

Медведева Е.Г., Гайдамака Ю.В., Агеев К.А.

*Российский университет дружбы народов, egmedvedeva@sci.pfu.edu.ru,
ygaidamaka@mail.ru, kaageyev@gmail.com*

В работе предложена аппроксимация вероятности всеобщей передачи одноканального потокового трафика в одноранговой сети с участием пользователей с высокой и низкой скоростями передачи данных.

Ключевые слова: одноранговые сети, P2P, вероятность всеобщей передачи, аппроксимация нормальным законом.

Введение

В настоящее время растущая популярность услуги потокового вещания приводит к росту нагрузки на одноранговые P2P-сети и формирует для научного сообщества новые задачи для оптимизации их производительности. Среди множества работ выделим наиболее интересные с точки зрения авторов и приведем их краткий обзор.

В [1] построена простая детерминированная жидкостная модель файлообменной сети. Математическая модель описывается системой дифференциальных уравнений (ДУ), решение которой находится в стационарном режиме. Далее рассматривается простая стохастическая жидкостная модель, которая позволяет оценить дисперсию числа пиров относительно стационарных значений, полученных с помощью детерминированной модели. Модель позволяет вычислять среднее число личеров, сидов, среднее время загрузки файлов в зависимости от интенсивности поступления пиров в систему, а также интенсивность ухода личеров, сидов из сети, пропускную способность и другие характеристики.

В [2] построена модель передачи потокового видео в системе BitTorrent. Результаты представлены в аналитических выражениях, учитывающих такие показатели как суммарная емкость пользователей, предназначенная для раздачи данных, число порций данных, доступных для обмена, выбранный размер порции и задержка воспроизведения видеопотока. Подчеркнута важность построения эффективной системы управления группами пользователей уже для групп размером выше 7-8 пользователей. Получена зависимость скорости обмена порциями данных от числа доступных порций. Отдельно рассмотрен случай назначения больших размеров порций данных, что приводит к появлению задержек воспроизведения. Сделан вывод о преимуществе численности группы от 15 до 20 пиров.

В [3] разработана стохастическая жидкостная модель потоковых сетей в общем виде. Представляя число пользователей в сети случайной величиной (СВ), имеющей распределение Пуассона, находятся основные характеристики сети и ограничения на ее параметры. Модель позволяет учитывать передачу данных с наличием и без механизма буферизации, а также ротацию пользователей. Для оценки эффективности функционирования сети введено понятие вероятности ухудшения качества услуги (degraded service probability), получены явные выражения для расчета вероятности ухудшения качества услуги для сетей со стремительным притоком новых пиров, приведены численные примеры.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-07-00090.

В [4] описана простая стохастическая модель для системы с управлением данными (data driven). Модель может быть использована для сравнения различных типов передачи данных, стратегий выбора порций данных, стратегии загрузки на основе таких характеристик, как вероятность непрерывного просмотра и задержка начала воспроизведения. С учетом упрощающих предположений о независимости всех пользователей, их однородности, наличии буфера равного размера, единой стратегии выбора порций данных, аналитическая модель позволяет находить распределение порций в буфере для дискретного и непрерывного случаев. Решение ДУ производится численно, и полученные результаты сравниваются с имитационным моделированием.

В [5], продолжая рассуждения [3], авторы акцентируются на проблеме максимизации скорости всеобщей передачи, расширяя математическую модель введением параметра числа соседей. Доказано, что аналитическое решение задачи имеет NP-сложности, поэтому для решения представлен эвристический алгоритм построения множественного дерева мультивещания, при котором рассматриваются пользователи одного типа без буфера.

В [6] предложена стохастическая жидкостная модель для анализа масштабируемой файлообменной сети, а именно для анализа производительности веб-систем реального времени, использующих язык Squirrel. Основной принцип моделирования – представление HTTP-запросов в виде потока заявок, входящих и исходящих из узлов типа Squirrel. Предполагая, что все объекты/заявки одинаково популярны, строится модель в виде системы ДУ, которая в дальнейших рассуждениях усложняется разделением на классы по степени популярности входящих заявок. Решения получены для стационарного случая, точность результатов сравнивается с результатами дискретно-событийного имитационного моделирования.

Работа [7] описывает аналогичную модели [6] жидкостную модель процесса передачи видео по запросу (от англ. Video on Demand, VoD) в P2P-сети, которая не учитывает стратегии выбора пользователя, принципов удержания сита в сети, наличие планировщика порций данных и прочее. Построенная модель позволяет вычислять среднее число личеров/сидов в сети в зависимости от времени.

Работа [8] рассматривает многоканальную P2P-сеть передачи видео по запросу. Авторы строят в виде цепи Маркова математическую модель, учитывающую различные типы пользователей, для которых время запроса и установки соединения имеет экспоненциальное распределение.

Построенная дискретная аналитическая модель в [9] позволяет исследовать изменение пропускной способности потоковой сети, которая определяется как суммарная скорость раздачи всех активных пользователей и сервера-источника. Показано, что рост пропускной способности имеет экспоненциальный характер. В работе рассматриваются случаи передачи одного и нескольких файлов, в зависимости от вероятности ухода пиров и времени пребывания в сети. Получены явные выражения для времени загрузки от сервера к пользователю с использованием экспоненциального распределения и распределения Парето. Численные результаты сравниваются с имитационным моделированием, а также рассматривается зависимость показателей эффективности от скорости запросов пользователей, средней пропускной способности пользователя и среднего времени пребывания пользователя.

В [10] исследуется зависимость задержки начала воспроизведения от числа пользователей потоковой сети в случае стремительных притоков новых пиров и уходов пользователей из сети. Построенная математическая модель позволяет оценить конкуренцию пользователей при ограниченной емкости сети.

Еще одна работа посвящена многоканальной потоковой передаче в P2P-сети [11]. Для уменьшения влияния популярности каналов на задержку начала воспроизведения предложен механизм загрузки данных, при котором пользователь загружает данные нескольких видеопотоков, из которых только один предназначен для собственного

просмотра, а остальные – для передачи «транзитом» другим пользователям. Таким образом, в сети формируются полупостоянные группы пользователей с привязкой к потокам вещания. В первом случае пир раздает тот же канал, что и просматривает (модель ISO, от англ. Isolated-channel), а во втором – просмотр и раздача каналов разделены (модель VUD, от англ. View-Upload Decoupling). Производительность системы рассматривается для моделей открытых и закрытых сетей массового обслуживания. Аналитические модели учитывают ротацию пользователей, переключение каналов, различные скорости раздачи пиров, популярность канала как функцию числа просматривающих его пользователей.

Аппроксимация вероятности всеобщей передачи

Рассмотрим частный случай модели передачи потокового видео из [12] для сети с постоянным числом пользователей $N = N_h + N_l$ при числе каналов $m = 1$ и двумя типами пользователей: N_h пользователей с высокой скоростью раздачи $u_h \geq r$, и N_l пользователей с низкой скоростью раздачи $u_l < r$, где r – требование к скорости просмотра видеопотока. Вероятность π состояния всеобщей передачи аппроксимируется нормальным законом $N(0, K + \varepsilon^2)$, то есть

$$\pi = \Phi\left(\frac{d}{\sqrt{K + \varepsilon^2}}\right) \quad (1)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$ – ФР стандартного нормального распределения, $K = N_h/N_l$, а ε определяется отношением $\varepsilon = (r - u_l)/(u_h - r)$. На рис. 1 для двух значений числа пользователей сети $N = 100$ и $N = 2000$ изображены графики зависимости вероятности ухудшения качества услуги [3] $\pi_D = 1 - \pi$ от отношения K числа пользователей с высокой и низкой скоростями раздачи, где вероятность всеобщей передачи π рассчитана по приближенной формуле (1).

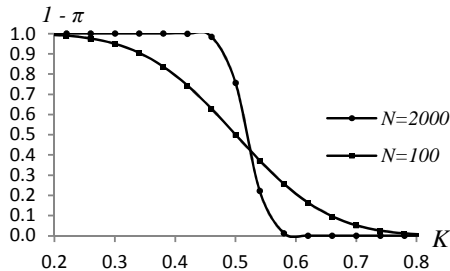


Рис. 1. Вероятность ухудшения всеобщей передачи

В сети осуществляется передача видео потока со скоростью $r = 300$ кбит/с, скорость раздачи сервера $s = 700$ кбит/с, $u_h = 700$ кбит/с, $u_l = 100$ кбит/с, таким образом, $\varepsilon = 0,5$. Из графика на рис. 1 видно, что при увеличении числа пользователей с высокой скоростью раздачи вероятность ухудшения качества услуги уменьшается, при этом сети с большим числом пользователей менее чувствительны к изменению соотношения между числом пользователей с высокой и низкой скоростями раздачи.

Литература

1. Qiu D., Srikant R. Modeling and Performance Analysis of BitTorrent-Like Peer to Peer Networks // ACM SIGCOMM, Portland, 2004.
2. Tewari S., Kleinrock L. Analytical Model for BitTorrent Based Live Video Streaming // IEEE Conference on Consumer Communications and Networking, Las Vegas, 2007.

3. *Kumar R., Liu Y., Ross K.* Stochastic Fluid Theory for P2P Streaming Systems. // IEEE INFOCOM, Anchorage, 2007.
4. *Zhou Y., Chiu D. M., Lui J.C.S.* A Simple Model for Analyzing P2P Streaming Protocols // IEEE International Conference on Network Protocols, Beijing, 2007.
5. *Wu J., Tao J., Zou Z.* Maximizing Universal Streaming Rate in Peer-to-Peer Streaming Networks. // 7th IEEE Int. Conf. on Grid and Cooperative Computing, Shenzhen 2008.
6. *Perronnin F.C., Nain P.* Stochastic Fluid Model for P2P Caching Evaluation // Proceedings of 10th IEEE International Workshop on Web Content Caching and Distribution, France 2005.
7. *Lu Y., Mol J.D., Kuipers F., Mieghem P.V.* Analytical Model for Mesh-Based P2PVoD. // Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Multimedia, Berkeley, CA 2008.
8. *Yazici A., Oztoprak K., Akar N., Akar G.B.* Markov Chain-Based Reliability Modeling of Multi Stream P2P Video on Demand Systems // Project EEEAG-106E046, Supported by The Science and Research Council in Turkey, 2007.
9. *Tu Y.C., Sun J., Hefeeda M., Prabhakar S.* An Analytical Study of Peer to Peer Media Streaming Systems // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications, 2005.
10. *Liu F., Li B., Zhong L.* Understanding the Flash Crowd in P2P Live Video Streaming Systems // Proc. of the 17th International Packet Video Workshop, Seattle, USA, 2009.
11. *Wu D., Liu Y., Ross K.* Queuing Network Models for Multi-Channel P2P Live Streaming Systems // Proceedings of IEEE INFOCOM, New York, USA, 2009.
12. *Адаму А., Гайдмака Ю.В.* Аппроксимация вероятностных характеристик модели сети P2P// T-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. - 2011. - №7. – С.4-7.

ON ANALYSIS OF QUALITY PARAMETERS OF SINGLE-CHANNEL STREAMING TRAFFIC TRANSMISSION IN P2P NETWORKS

Medvedeva E.G., Gaidamaka Yu.V., Ageyev K.A.

*People's Friendship University of Russia, ygaidamaka@mail.ru, egmedvedeva@sci.pfu.edu.ru,
kaageyev@gmail.com*

In this paper we obtained the approximation of the universal streaming with the normal (Gaussian) distribution of single-channel P2P streaming network involving peers with high and low upload rate.

Key words: P2P, single-channel streaming, queuing theory, probability of universal streaming, normal (Gaussian) distribution approximation

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОТОКОЛА JET В ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ OBS

Миронов Ю. Б., Бужин И. Г.

в/ч 33965, mistiam@gmail.com, bigvrn93@mail.ru

В работе разработан алгоритм имитационного моделирования работы протокола JET (Just Enough Time) с помощью системы имитационного моделирования GPSS.

Ключевые слова: сети оптической пакетной коммутации, оптическая коммутация блоков, оптическая коммутация пачек, протокол резервирования длин волн

Введение

В настоящее время активно развивается такой принцип коммутации информационных сигналов, как коммутация пачек (OBS) [1-6]. Данная технология имеет большие преимущества: нет оптико-электрического и электро-оптического преобразований данных и буферизации в промежуточных узлах сети. Этот принцип коммутации позволяет увеличивать скорость и качество передачи данных в высокоскоростных сетях. Взаимодействие между процессом передачи, временем задержки и временем резервирования оптического канала в OBS сетях потребовали разработать специализированные протоколы сигнализации, одним из которых является протокол JET [4]. На практике применение этого протокола в данный момент невозможно потому, что еще не создано полностью оптического оборудования для таких сетей. Но до начала создания сетей OBS с данным протоколом сигнализации, необходимо разработать модель для оценки возможности практического применения протокола и вычисления характеристик качества обслуживания.

Имитационная модель

Программа моделирования работы данного протокола разработана нами в системе имитационного моделирования GPSS (рис. 1).

```
Uz 1 STORAGE 2; задания число приборов в узле
GENERATE (Exponential(1,0,1800)); формирование детерминированного потока заявок
TEST L QSch_2,1,Otkaz; проверка длины очереди ch_2
Met 1 QUEUE ch 1; отметка момента поступления заявки в очередь ch_1
UNLINK B Met_1; очередность очереди ch_1
ENTER Uz 1; попытка занять один из приборов устройства Uz_1
DEPART ch 1; регистрация момента покидания заявки очереди ch_1
ADVANCE (Uniform(25,1,180)); формирование задержки, распределенной по равномерному закону
LEAVE Uz 1; освобождение одного прибора многоканального устройства Uz_1
TRANSFER ,Met 2; безусловная (с вероятностью 1) передача заявки в узел 2
Met_2 QUEUE ch_2;
SEIZE uzell;
DEPART ch 2;
ADVANCE (Exponential(1,0,1800));
RELEASE uzell;
TERMINATE 1;
Otkaz TERMINATE 1
```

Рис. 1. Листинг программы моделирования работы протокола JET в GPSS

Алгоритм программы моделирует линейную разомкнутую систему массового обслуживания с однородным потоком заявок на 2 узла. Из внешней среды в узел 1 поступает простейший поток. После обслуживания в узле 1 заявки с вероятностью $P = 1$ переходят на обслуживание в узел 2. В результате моделирования мы получаем следующую информацию: коэффициент использования устройства, средняя

длительность обслуживания заявок, количество прерванных (заблокированных) заявок на момент окончания обслуживания, средняя длина очереди, среднее время ожидания заявок. Эти результаты очень важны для теоретических и практических изысканий, т.к. они оказывают непосредственное влияние на качество передачи данных.

Выводы

Проведя расчеты вероятности блокировки при помощи имитационного моделирования в программе GPSS, можно построить зависимости вероятностей блокировки информационной пачки от длины времени задержки и длины информационной пачки. Также можно сравнить результаты с результатами для марковской модели и первой формулы Эрланга.

Литература

1. *Башарин Г.П., Гудкова И.А., Шибяева Е.С.* Математическая модель функционирования коммутатора в OBS сети с FDL и маршрутизацией с отклонением. Т-Comm – Telecommunications and Transport. - М.: ООО «Издательский дом Медиа Паблшер», 2013, №11, с. 33.
2. *Алексеев Е.Б., Булавкин И.А., Попов А.Г., Попов В.И.* Пассивные волоконно-оптические сети. Проектирование, оптимизация и обнаружение несанкционированного доступа. - М.: ООО «Издательский дом Медиа Паблшер», 2014. – 206 с.
3. *Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В., Моченов А.Д., Шарафутдинов Р. М.* Оптические телекоммуникационные системы. – М.: Горячая линия – телеком, 2011. – 368 с.: ил.
4. *Battestilli T.* Performance analysis of optical burst switched network with dynamic simultaneous link possession. –R.: Department of computer source, 2005. – 127 с.
5. *Алексеев Е.Б.* Основы проектирования и технической эксплуатации транспортных сетей на базе ЦСП и ВОСП. – М.: Брис-М, 2012. – 250 с., 26 илл., библи. 128.
6. *Портнов Э.Л.* Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 544 с.; ил.

SIMULATING OF JET PROTOCOL IN OPTICAL BURST SWITCHING NETWORK

Mironov Yu.B., Buzhin I.G.

m/u 33965, mistiam@gmail.com, bigvrn93@mail.ru

We developed an algorithm for the simulation of the protocol JET (Just Enough Time) with the help of simulation system GPSS.

Key words: Optical Packet Switching (OPS), Optical Burst Switching (OBS), Just Enough Time (JET)

К РАСЧЕТУ СРЕДНЕГО ЧИСЛА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ, ОЖИДАЮЩИХ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ, В СЕТИ LTE С ТЕХНОЛОГИЕЙ LSA¹

Острикова Д.Ю.¹, Дзантвев И.Л.¹, Андреев С.Д.^{1,2}, Пономаренко-Тимофеев А.А.²,
Самарев Р.С.³, Гаев Д.В.³

¹ Российский университет дружбы народов, dyostrikova@sci.pfu.edu.ru, dzonhammet@mail.ru,
serge.andreev@gmail.com,

² Технологический университет Тампере (Финляндия), serge.andreev@gmail.com,
alexeyponomarenko92@gmail.com,

³ ЗАО «ВИБОСС и ОИ», samarev@acm.org, student@vivos.ru

Построена модель соты сети LTE (Long Term Evolution) с временным выделением полосы частот по технологии LSA (Licensed Shared Access). Предложены два метода для расчета основной характеристики системы – среднего числа пользователей, ожидающих возобновления обслуживания.

Ключевые слова: LTE, LSA, диапазон частот, недоступность услуги.

Введение

В современных сотовых сетях наблюдается значительный рост объема передаваемых данных. Учитывая, что к 2018 году трафик от мобильных и беспроводных устройств значительно превысит трафик от проводных устройств, в сетях 4G вероятно возникнет проблема нехватки емкости. Разрабатывающиеся сети стандарта 5G смогут частично решить эту проблему за счет современных технологий, основанных на более эффективном использовании существующего частотного спектра. Однако для удовлетворения операторами быстро растущих требований абонентов к качеству предоставляемых услуг необходимо привлечение дополнительных частотных ресурсов.

Для решения данной проблемы может применяться технология совместного использования полосы частот LSA (Licensed Shared Access), представляющая собой совместное использование одной и той же полосы частот по крайней мере двумя сторонами – владельцем (имеющим права на полосу частот) и арендатором (временным пользователем полосы частот) – согласно заранее утвержденному соглашению. Недостаток LSA заключается в том, что арендуемая полоса частот в случае необходимости должна быть немедленно возвращена владельцу. Из-за этого могут возникать задержки в предоставлении услуг пользователям.

Авторами построена модель соты сети LTE с временным выделением полосы частот LSA в виде многолинейной системы с ненадежными приборами [1], а также получена формула для расчета основной характеристики системы – среднего числа пользователей, ожидающих возобновления обслуживания.

Математическая модель

На систему, состоящую из C приборов и очереди размера r , поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью λ . Предполагается, что находящиеся на приборах заявки сохраняют за собой место в очереди. При этом приборы могут одновременно (что соответствует всему диапазону) выходить из строя с интенсивностью α , а затем восстанавливаться через определенное время с интенсивностью β . Выход из строя и восстановление приборов распределены по экспоненциальному закону. Если в момент поступления заявки (что соответствует

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-00953 а.

возникновению у пользователя трафика) в системе есть свободные приборы, то заявка поступает на обслуживание, занимает один прибор и обслуживается на нем в течение случайного времени, распределенного по экспоненциальному закону с параметром μ . Если же в момент поступления заявки в системе нет свободных приборов для ее обслуживания, то заявка помещается в очередь. В случае если очередь полна, поступившая заявка теряется.

Пусть n_1 – число заявок, ожидающих начала обслуживания, n_2 – число заявок, ожидающих возобновления обслуживания, а m – число занятых приборов. Тогда функционирование системы можно описать марковским случайным процессом (СП) над пространством состояний:

$$\mathbf{X} = \{(n_1, n_2, m) : (0, 0, m), m = 0, 1, \dots, C; (n_1, 0, C), n_1 = 1, \dots, r - C; (n_1, n_2, 0), n_1 \geq 0, 1 \leq n_2 \leq C, n_1 + n_2 \leq r\}. \quad (1)$$

Распределение вероятностей $p(n_1, n_2, m)$, $(n_1, n_2, m) \in \mathbf{X}$ находится решением соответствующей системы уравнений равновесия (СУР) $\mathbf{p}^T \cdot \mathbf{A} = \mathbf{0}^T$ численными методами. Зная распределение вероятностей $p(n_1, n_2, m)$, можно вычислить среднее число N_2 заявок, ожидающих возобновления обслуживания по формуле (2):

$$N_2 = \sum_{n_2=1}^C \sum_{n_1=0}^{r-n_2} n_2 \cdot p(n_1, n_2, 0). \quad (2)$$

Алгоритм расчета среднего числа пользователей, ожидающих возобновления обслуживания

Пусть n – число заявок в очереди, а m – число занятых приборов. Тогда пространство состояний модели задается формулой (3):

$$\mathbf{Y} = \{(n, m) : (0, m), m = 0, \dots, C; (n, C), n = 1, \dots, r - C; (n, 0), n = 1, \dots, r\}. \quad (3)$$

Для расчета стационарного распределения вероятностей $p(n, m)$, $(n, m) \in \mathbf{Y}$ авторами в [2] предложен рекуррентный алгоритм.

Вычислив вероятности $p(n, m)$ можно найти среднее число N заявок в очереди:

$$N = \sum_{n=1}^{r-C} np(n, C) + \sum_{n=1}^r np(n, 0). \quad (4)$$

Зная характеристику N , можно найти среднее число N_2 пользователей, ожидающих возобновления обслуживания по формуле (5):

$$N_2 = N - \sum_{k=1}^{r-1} k \cdot q_k^1, \quad (5)$$

где q_k^1 – вероятность того, что k заявок ожидают начала обслуживания.

Распределение вероятностей q_k^1 задается формулами (6)-(8):

$$q_0^1 = \sum_{m=0}^C p(0, m) + p(1, 0) + \sum_{n=2}^C p(n, 0) R_n(n), \quad (6)$$

$$q_k^1 = p(k, C) + \sum_{n=k+1}^{k+C-1} p(n, 0) R_{n-k}(n) + p(k+C, 0) \sum_{i=C}^{k+C} R_i(k+C), \quad k = 1, \dots, r - C, \quad (7)$$

$$q_k^1 = \sum_{n=k+1}^r p(n, 0) R_{n-k}(n), \quad k = r - C + 1, \dots, r - 1. \quad (8)$$

Вероятности $P_\alpha(n)$, $P_\lambda(n)$ и $R_j(n)$ найдены в [3].

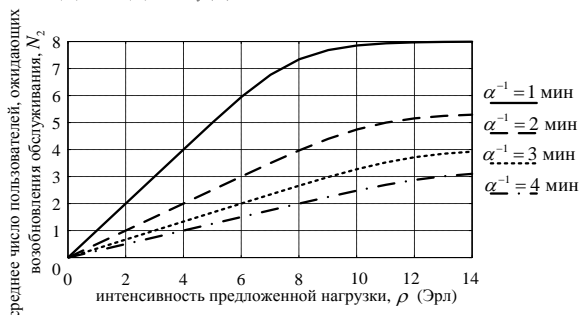


Рис. 1. Среднее число пользователей, ожидающих возобновления обслуживания ($C = 16$; $r = 35$; $\beta^{-1} = 1$ мин; $\mu^{-1} = 3$ мин; $\rho \in (0, 14)$)

Выводы

Приведенная оценка значений для среднего числа пользователей, ожидающих возобновления обслуживания, получена численно и при помощи вероятностного подхода, показала погрешность вычислений, равную 10^{-8} .

Литература

1. Климов Г.П. Стохастические системы обслуживания. – М.: Наука, 1966. – 244 с.
2. Гудкова И.А., Острикова Д.Ю. К анализу среднего числа пользователей, ожидающих начала обслуживания, в модели сети LTE с временным выделением полосы частот // Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сборник избранных трудов IX Международной научно-практической конференции (14–16 ноября 2014 г., Москва) / Под ред. проф. В.А. Сухомлина. – М.: ИИТУИТ.РУ, 2014. – С. 376–387.
3. Borodakiy V.Y., Samouylov K.E., Gudkova I.A., Ostrikova D.Y., Ponomarenko A.A., Turlikov A.M., and Andreev S.D. Modeling unreliable LSA operation in 3GPP LTE cellular networks // Proc. of the 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2014 (October 6–8, 2014, St. Petersburg, Russia). – IEEE. – 2014. – P. 390–396.

CALCULATING MEAN NUMBER OF USERS WITH INTERRUPTED SERVICE FOR A MODEL OF LTE NETWORK WITH LSA TECHNOLOGY

Ostrikova D.Y.¹, Dzantiev I.L.¹, Andreev S.D.^{1,2}, Ponomarenko-Timofeev A.A.², Samarev R.S.³, Gashev D.V.³

¹ Peoples' Friendship University of Russia, dyostrikova@sci.pfu.edu.ru, dzonthammet@mail.ru, serge.andreev@gmail.com,

² Tampere University of Technology, serge.andreev@gmail.com, alexeyponomarenko92@gmail.com,

³ "VIVOS and OI", samarev@acm.org, student@vivos.ru

We propose a mathematical model of single cell LTE network with LSA frequency bands. We also determine two approaches for calculating the most important quality metric – the mean number of users with the interrupted service.

Key words: LTE, LSA, frequency band, service unavailability.

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ СТАЦИОНАРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧЕРЕДИ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНЕЧНОЙ ЕМКОСТИ С УПОРЯДОЧЕННЫМ ВХОДОМ¹

Разумчик Р.В.

Институт проблем информатики Российской академии наук, rrazumchik@ipiran.ru

Рассматривается система массового обслуживания с упорядоченным входом, пуассоновским входящим потоком, $N > 2$ приборами и очередями ограниченной одинаковой емкости перед каждым из приборов. Времена обслуживания заявок на приборах имеют экспоненциальное распределение с одним и тем же параметром. Предложен алгебраический метод нахождения совместного стационарного распределения числа заявок в очередях.

Ключевые слова: совместное стационарное распределение, многолинейная система обслуживания, упорядоченный вход.

Описание системы и постановка задачи

Рассмотрим систему массового обслуживания с $N > 2$ приборами и пронумеруем их числами от 1 до N . Перед каждым прибором есть собственная очередь фиксированной емкости $r < \infty$. Заявки поступают в систему по закону Пуассона. Очередная заявка при поступлении сначала пытается занять прибор с номером 1 и, если он свободен, начинает на нем обслуживаться. В противном случае поступающая заявка занимает одно место в очереди перед прибором номер 1. Если же поступающая в систему заявка застает прибор с номером 1 занятым и очередь перед этим прибором полностью заполненной, она «переходит» к прибору номер 2. Если прибор номер 2 свободен, заявка встает на него; если же прибор занят и в очереди перед прибором номер 2 есть свободное место, то заявка встает в эту очередь. В случае, если прибор номер 2 и очередь перед ним оказываются полностью заполненными, поступающая заявка пытается поступить на прибор номер 3. Этот процесс продолжается до тех пор, пока поступающая в систему заявка либо не найдет свободное место в системе (либо на одном из приборов, либо в одной из очередей), либо обнаружит, что система полностью заполнена и уйдет из нее так и не обслужившись (т.е. будет потеряна). Времена обслуживания заявок на приборах имеют экспоненциальное распределение с одним и тем же параметром. Ставится задача нахождения совместного стационарного распределения числа заявок во всех очередях.

Подобные системы с упорядоченным входом изучались многими авторами (см., например, последние работы [1-2] и классические работы [3-7]). Вопросы применения подобных систем обсуждаются в [8]. Дополнительный исключительно теоретический интерес к данной задаче связан с проверкой гипотезы о принципиальной возможности нахождения с помощью разработанного в [9] аналитического метода стационарных вероятностей произвольных многомерных Марковских процессов с непрерывным и дискретным временем, и конечным числом состояний.

Функционирование системы описывается многомерным Марковским процессом с непрерывным временем и числом состояний $(r+1)^N$. Рассматривается случай $N = 3$. Используя аппарат производящих функций и некоторые результаты теории специальных функций, как показано в [10], можно установить связь между вероятностями нахождения процесса в граничных состояниях и определить ее вид. Полученные результаты позволяют разработать эффективный рекуррентный алгоритм вычисления

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-07-0300715).

совместного стационарного распределения рассматриваемого процесса, который, кроме того, свободен от свойственного аналогичным алгоритмам ограничения – расчета нормирующей константы. Также результаты показали, что для расчета значимых с практической точки зрения вероятностных характеристик процесса в стационарном режиме отсутствует необходимость расчета всего стационарного распределения его состояний. Последнее позволяет для случаев большой размерности рассчитывать стационарные характеристики, в частности вероятность блокировки, эффективным образом.

Литература

1. Karlof J.K., Jenkins J. The behavior of a multichannel queueing system under three queue disciplines // <http://people.uncw.edu/karlof/publications/jenkins.pdf>, 2002.
2. Isguder H. O., Celikoglu C.C. Minimizing the loss probability in GI/M/3/0 queueing system with ordered entry // *Scientific Research and Essays* Vol. 7(8), 2012. P. 963-968.
3. Disney R.L. Some multichannel queueing problems and ordered entry // *J. Industrial Eng.* 13, 1962. P. 46-48.
4. Disney R.L. Some multichannel queueing problems and ordered entry. An application to conveyor theory // *J. Industrial Eng.* 11, P. 105-108.
5. Elsayed E.A., Proctor C.L. Ordered entry and random choice conveyors with multiple Poisson input // *Int. J. Prod. Res.* 15, 1977. P. 439-451.
6. Nanwijn W.M. A note on many-server queueing system with ordered entry, with an application to conveyor theory // *J. Appl. Prob.* 20, 1983. P. 144-152.
7. Nanwijn W.M. On a two-server finite queueing system with ordered entry and deterministic arrivals // *Euro. J. Oper. Res.* 18, 1984. P. 388-395.
8. Masayuki M. Manufacturing and Service Enterprise with Risks // *International Series in Operations Research & Management Science*, Vol. 125, 2009, XI, 265 p.
9. Avrachenkov, K.E., Vilchevsky, N.O., Shevljakov, G.L. (2003) Priority queueing with finite buffer size and randomized push-out mechanism. // *Proceedings of the ACM international conference on measurement and modeling of computer, San Diego*, pp.~324–335.
10. Rostislav V. Razumchik, Analysis Of Finite Capacity Queue With Negative Customers And Bunker For Ousted Customers Using Chebyshev And Gegenbauer Polynomials // *Asia Pac. J. Oper. Res.* (2014) DOI: 10.1142/S0217595914500298

ALGEBRAIC METHOD FOR CALCULATION OF JOINT STATIONARY DISTRIBUTION IN MULTISERVER FINITE CAPACITY ORDERED ENTRY QUEUE

Razumchik R.V.

Institute of Informatics Problems of Russian Academy of Sciences, rrazumchik@ipiran.ru

Consideration is given to queueing system with ordered entry, Poisson input flow, $N > 2$ servers and queues of finite equal capacity in front of each server. Service times of customers in each server are exponentially distributed with the same parameter. Algebraic method is being proposed for calculation of joint stationary distribution of queue sizes.

Ключевые слова: joint stationary distribution, multiserver, queueing system, ordered entry.

РАСЧЕТ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ В КВАДРАТНЫХ КЛАСТЕРАХ

Самуйлов А.К., Бегиев В.О., Ковальчуков Р.Н.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
askamuylov@gmail.com, begishev@mail.ru, rkovalchukov@gmail.com

В докладе рассмотрен случай, когда одно принимающее устройство (приемник) и одно передающее устройство (передатчик), образующие кластер, расположены в центре помещения квадратной формы, причем передатчик расположен в центре квадрата. В этой связи рассматривается задача анализа отношения сигнал/интерференция пары взаимодействующих устройств в квадратном кластере.

Ключевые слова: беспроводная сеть LTE, интерференция, SINR, взаимодействие устройств, D2D.

Введение

В современных беспроводных сетях, построенных на базе технологии LTE (Long Term Evolution) под интерференцией понимается взаимодействие сигналов, передаваемых разными источниками на одном и том же радиоканале. Интерференция является основным ограничивающим фактором производительности систем беспроводной радиосвязи.

В сетях подвижной связи при анализе беспроводных взаимодействий устройств D2D (device-to-device) обычно рассматриваются несколько источников сигнала передатчиков и приемников, распределенных в определенных ячейках согласно некоторому закону. В этом докладе рассмотрена одна взаимодействующая пара (передатчик-приемник), для которых будет рассмотрено отношение сигнала к интерференции плюс шум (SINR, Signal to Interference plus Noise Ratio), являющимся одним из основных характеристик качества канала в беспроводных сетях связи [2,3].

$$SINR = \frac{S}{\sum_{i=1}^N I_i + \sigma^2}, \quad (1)$$

где S – мощность сигнала, N – число интерферирующих объектов, I_i – мощность интерферирующего сигнала от i -объекта, σ^2 – мощность шума. Сделаем упрощающее предположение, полагая, что шум отсутствует ($\sigma^2 = 0$), а мощность сигнала на передатчиках одинаковая. Следовательно, задача сводится к нахождению отношения сигнала к интерференции (SIR, Signal to Interference Ratio) [4].

$$SIR = \frac{S}{\sum_{i=1}^N I_i}, \quad (2)$$

где мощности S и I_i являются функциями от расстояния между рассматриваемым приемником и передатчиком или интерферирующим объектом.

Постановка задачи исследования

Рассмотрим случай, когда в некоторых практических случаях абоненты расположены в кластере согласно сетке с прямоугольными ячейками неодинакового размера, в качестве реального примера которой можно привести торговый центр с его регулярно расположенными магазинами. Тогда пары взаимодействующих узлов располагаются в одной и той же ячейке, и при этом, в частном случае, один из этих узлов (T_{x_0} –

передатчик) расположен в точности по центру ячейки, а второй (Rx_0 – приемник) – равномерно внутри той же ячейки. Данная упрощенная конфигурация представлена на рисунке 1, в котором кластеры имеют квадратную форму.

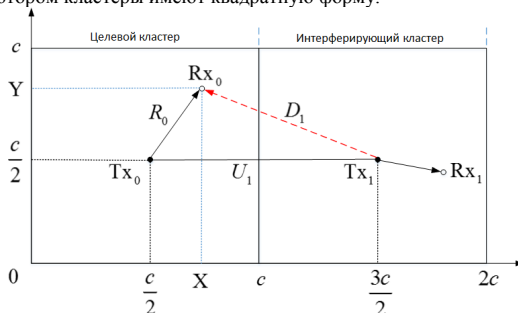


Рис. 1. Схема взаимодействия устройств в квадратных кластерах

Будем предполагать, что R_0, D_1 являются случайными величинами (с.в.) с заданными функциями распределения. Задача состоит в нахождении числовых характеристик с.в. $\eta_i = SIR$. Согласно методу, предложенному в источнике [1] получена формула для вычисления функции плотности $W_{\eta_i}(y_i)$ с.в. SIR :

$$W_{\eta_i}(y_i) = \sum_{i=1}^2 \int_{Y_{2,i}} w_{\chi_1, \chi_2}(\varphi_i(y_1, y_2), y_2) \times \frac{c(c + cy_1 + \sqrt{-c^2(1 - 6y_1 + y_1^2) + 4c(-1 + y_1)^2 y_2 - 4(-1 + y_1)^2 y_2^2})}{(-1 + y_1)^2 \sqrt{-c^2(1 - 6y_1 + y_1^2) + 4c(-1 + y_1)^2 y_2 - 4(-1 + y_1)^2 y_2^2}} dy_2, \quad (3)$$

где c – сторона квадратного кластера, $(\chi_1; \chi_2)$ – случайно выбранные координаты целевого приемника Rx_0 , $\varphi_i(y_1, y_2), i = 1, 2$ – обратное преобразование i -ой ветви, $Y_{2,i}$ – область значений переменной y_2 для i -ветви обратного преобразования, а $w_{\chi_1, \chi_2}(\varphi_i(y_1, y_2), y_2)$ – заданная функция плотности с.в. χ_1, χ_2 .

Далее будет исследована возможность преобразования выражения (3) в аналитические формулы.

Выводы

В докладе описан метод, который позволяет оценить отношение сигнал-интерференция при заданных распределениях расстояний между интерферирующими устройствами в сети с квадратными кластерами, а также рассчитать числовые характеристики с.в. SIR . Задачей дальнейших исследований является получение аналитических формул для случаев, когда имеются ограничения на расстояние между передатчиком и приемником, и когда взаимодействующие пары устройств равномерно распределены внутри рассматриваемых кластеров.

Литература

1. Левин, Б.Р. 1989. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд. Москва: Радио и связь. 656 с.

2. Andreev S., Pyattaev A., Johnsson K., Galinina O., and Koucheryavy Y. 2014. Cellular traffic offloading onto network-assisted device-to-device connections. IEEE Communications Magazine.
3. Andrea Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press the Edinburgh Building, Cambridge, UK, 2005.
4. Томаси У., Электронные системы связи, Москва: Техносфера, 2007. – 1360 с., С. 35-62.

CALCULATION OF INTERFERENCE IN THE INTERACTION OF WIRELESS DEVICES IN SQUARE CLUSTERS

Samouylov A.K., Begishev V.O., Kovalchukov R.N.

*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
aksamuylov@gmail.com, begishevu@mail.ru, rkovalchukov@gmail.com*

The article considers a case with one receivers and one transmission device forming a square shape cluster wherein the transmitter is located in the center of the square. In this regard, consider the task of analyzing the signal / interference devices in a square cluster.

Keywords: wireless network LTE, interference, SINR, interaction devices, D2D

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ГРУППОВЫМ ПОСТУПЛЕНИЕМ ЗАЯВОК

Скляр И.Б.

Российский университет дружбы народов, ilsklar@mail.ru

В данной статье анализируется система облачных вычислений с групповым поступлением заявок и двумя поставщиками услуг.

Ключевые слова: облачные вычисления, система массового обслуживания, информационные технологии, система уравнений равновесия.

Введение

Облачные вычисления (cloud computing) представляют собой информационно-технологическую концепцию, обеспечивающую доступ через интернет по требованию клиента к различным вычислительным ресурсам таким как, серверы, устройства хранения данных, приложения и т.д. Это новая вычислительная парадигма, изменившая способы приобретения и использования вычислительных ресурсов.

Облачные вычисления в наше время широко известны как 5-я коммунальная услуга наряду с электричеством, водой, газом и телефоном [1]. До настоящего времени инвестирование в вычислительные ресурсы относилось к капитальным затратам и организации/клиенты должны были вносить денежные средства сразу [2]. С появлением же системы облачных вычислений расходы на вычислительные ресурсы могут быть перенесены из капитальных затрат в графу текущих расходов, и пользователи платят только за оказанные услуги, а не за аппаратные или программные ресурсы [3].

В данной работе анализируется система облачных вычислений в виде математической модели с групповым поступлением заявок. В такой системе пользователи одновременно обращаются к одному или нескольким поставщикам услуг за различными услугами в рамках обработки одного запроса [4]. Рассматривается частный случай математической модели системы облачных вычислений в виде системы с групповым поступлением заявок, состоящей из двух однолинейных систем массового обслуживания (СМО).

Модель системы облачных вычислений с групповым поступлением заявок

Рассмотрим математическую модель системы облачных вычислений в виде системы с групповым поступлением заявок, состоящей из двух однолинейных систем массового обслуживания (СМО). При поступлении в систему запрос пользователя разбивается на два подзапроса. Предполагается, что входящий групповой поток является пуассоновским, а время обслуживания распределено по экспоненциальному закону [4].

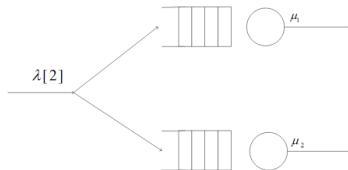


Рис. 1. СМО с групповым входящим потоком с двумя поставщиками

На рисунке 1 схематически представлена СМО, моделирующая рассматриваемую систему облачных вычислений. В систему поступает пуассоновский поток запросов с интенсивностью λ . В рассматриваемом нами случае мы имеем двух поставщиков,

поэтому каждый запрос разбивается на два подзапроса, каждый из которых отправляется определенному поставщику. Время обслуживания на приборах 1-го и 2-го поставщика распределено по экспоненциальному закону с параметрами μ_1 и μ_2 , соответственно.

Пусть $n_i(t)$ – число подзапросов i -го типа в момент времени t , $i=1,2$. Введем случайный Марковский процесс $N(t) = (n_1(t), n_2(t))$ с множеством состояний $\mathcal{X} = \{(n_1, n_2), n_1 \geq 0, n_2 \geq 0\}$. Для нахождения стационарных вероятностей $p(n_1, n_2)$ необходимо решить СУР, которая может быть записана в следующем виде:

$$\lambda p(0,0) - \mu_1 p(1,0) + \mu_2 p(0,1), \quad (1)$$

$$p(i,0) = \frac{\mu_2}{\lambda + \mu_1} p(i,1) + p(i+1,0) \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_1}, i \geq 1, \quad (2)$$

$$p(0,j) = \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_2} p(1,j) + p(0,j+1) \frac{\mu_2}{\lambda + \mu_2}, j \geq 1, \quad (3)$$

$$p(i,j) = \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_1 + \mu_2} p(i+1,j) + p(i,j+1) \frac{\mu_2}{\lambda + \mu_1 + \mu_2} + p(i-1,j-1) \frac{\lambda}{\lambda + \mu_1 + \mu_2}, \quad (4)$$

с условием нормировки:

$$\sum_{(i,j) \in N \times N} p(i,j) = 1.$$

Суммируем (2) по всем i и добавляем (1), в итоге получаем:

$$p(\cdot,1) = \rho_2 p(\cdot,0),$$

где

$$p(\cdot,1) = \sum_{i \geq 0} p(i,1), p(\cdot,0) = \sum_{i \geq 0} p(i,0). \quad (5)$$

Далее суммируем (4) по всем i и добавляем (3):

$$(\lambda + \mu_1 + \mu_2) \sum_{i=0}^{\infty} p(i,j) = \mu_1 \sum_{i=0}^{\infty} p(i,j) + \mu_2 \sum_{i=0}^{\infty} p(i,j+1) + \lambda \sum_{i=0}^{\infty} p(i,j-1) - \mu_2 p(0,j+1) - \mu_1 p(1,j) - \mu_1 p(0,j) + \mu_1 \frac{(\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda + \mu_2} p(1,j) + \mu_2 \frac{(\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda + \mu_1} p(0,j+1).$$

Затем пользуемся (3), сокращая лишние элементы:

$$(\lambda + \mu_2) p(\cdot, j) = \mu_2 p(\cdot, j+1) + \lambda p(\cdot, j-1).$$

Откуда, подставив (5) и проведя элементарные преобразования, получаем:

$$p(\cdot, j) = \rho_2^j p(\cdot, 0).$$

Воспользуемся условием нормировки:

$$p(\cdot, 0) = \frac{1}{\sum_{j=0}^{\infty} \rho_2^j} \Rightarrow p(\cdot, 0) = 1 - \rho_2$$

по сумме геометрической прогрессии ($\rho_2 < 1$).

Следовательно, общий вид формулы для выражения маргинальных вероятностей $p(\cdot, j)$ будет иметь вид:

$$p(\cdot, j) = \rho_2^j (1 - \rho_2), j \geq 1.$$

Аналогичным образом получают маргинальные вероятности $p(i, \cdot)$:

$$p(i, \cdot) = \rho_1^i (1 - \rho_1), i \geq 1.$$

Проверим эти стационарные вероятности на мультипликативность:

$$p(i, \cdot) \times p(\cdot, j) = p(i, j),$$

$$\rho_1^i (1 - \rho_1) \times \rho_2^j (1 - \rho_2) \neq \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_1 + \mu_2} p(i + 1, j) +$$

$$+ \frac{\mu_2}{\lambda + \mu_1 + \mu_2} p(i, j + 1) + \frac{\lambda}{\lambda + \mu_1 + \mu_2} p(i - 1, j - 1).$$

Можем сделать следующий вывод: стационарные вероятности не мультипликативны, следовательно, функционирование приборов не является независимым друг от друга, но при этом маргинальные вероятности представляют собой стационарное распределение модели $M|M|1|\infty$.

Выводы

Таким образом, нами была построена и проанализирована Марковская модель облачных вычислений с двумя поставщиками услуг, а также предложен метод вычисления маргинальных вероятностей данной модели. В дальнейшем планируется получить формулы для вычисления среднего времени отклика системы облачных вычислений, представляющего собой максимум времен пребывания подзапросов на каждом из приборов. Также на основе построенной модели нами будет рассмотрен общий случай модели системы облачных вычислений с групповым поступлением заявок с n поставщиками.

Литература

1. *Borko Furht, Armando Escalante* "Handbook of Cloud Computing", Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2010, 634 p.
2. *Mohamed Firdhous, Osman Ghazali, Suhaidi Hassan* "Modeling of Cloud System using Erlang Formulas" in 17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Sabah, Malaysia 2011.
3. *Junwei Cao, Keqin Li* "Optimal Power Allocation and Load Distribution for Multiple Heterogeneous Multicore Server Processors across Clouds and Data Centers", IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, 2013.
4. *Мокров Е.В.* Модель системы облачных вычислений с групповым поступлением заявок, Российский университет дружбы народов, 2013

CLOUD SYSTEM MODEL WITH GROUP ARRIVAL JOBS

Sklyar I. B.

Peoples' Friendship University of Russia, ilsklar@mail.ru

This paper analyzes cloud system model with group arrival jobs and two cloud providers.

Key words: cloud computing, queuing theory, information technologies, system of balance equations.

К АНАЛИЗУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ¹

Сопин Э.С., Вихрова О.Г.

Российский университет дружбы народов, esopin@sci.pfu.edu.ru, o.vikhrova@gmail.com

Для анализа показателей качества обслуживания в сети LTE-A исследуется математическая модель в виде СМО с ограниченным ресурсом.

Ключевые слова: распределение ресурсов, LTE-Advanced, качество услуг, система массового обслуживания (СМО), ограниченный ресурс.

Введение

Особое внимание при проектировании современных беспроводных сетей уделяется вопросу эффективного использования мощности мобильных устройств, расширению диапазона частот, поиску решений, которые позволяют увеличить пропускную способность сети, повысить надежность и качество передачи данных.

Радиоресурсы сети распределяются между пользовательскими мобильными терминалами согласно выбранной политике распределения ресурсов в зависимости от удаленности мобильного терминала пользователя от базовой станции и требуемой скорости передачи данных.

Мгновенная скорость передачи данных c удовлетворяет теореме Шеннона, где $c = w \log_2(1 + \gamma p)$, таким образом скорость зависит от мощности p передачи сигнала, ширины полосы частот w и местоположения мобильного терминала, влияющего на γ – отношение сигнал/шум при единичной мощности источника сигнала. Для того, чтобы учесть эти особенности беспроводных сетей, в работе предлагается новая математическая модель, отличная от традиционных мультисервисных.

Математическая модель беспроводной системы

Рассматривается централизованная беспроводная система некоторого радиуса. Базовая станция может обслуживать до N мобильных устройств.

Предположим, что каждой i -ой сессии требуется минимальная скорость передачи данных c_i . Ресурсы системы разделяются между пользователями при помощи технологии множественного доступа с разделением по времени. При завершении сессии все занятые ресурсы системы освобождаются.

Выберем такую политику, согласно которой каждый i -ый мобильный терминал передает данные на максимально достижимой скорости $c_i^{max} = w \log_2(1 + \gamma_i p_{max})$. В этом случае считаем, что новая сессия принимается на обслуживание только в случае, когда ресурсов системы достаточно для ее обслуживания и выполняется неравенство:

$$\sum_{\text{Все сессии}} \frac{c_i}{c_i^{max}} \leq 1 \quad (1)$$

Для анализа рассматриваемой системы предлагается описать ее функционирование в виде многолинейной СМО [1, 2], в которой в течение всего времени обслуживания заявки занимают некоторое количество из ограниченного объема R ресурсов. В качестве ресурсов можно рассматривать как мощность передачи сигнала или диапазон частот, так и их комбинацию в виде отношения требуемой скорости передачи данных к максимально достижимой для данной сессии, согласно формуле (1). Обозначим $\xi(t)$ – количество заявок в момент времени t и $\delta(t)$ – объем занятого ресурса в момент времени t . Поступающей на обслуживание i -ой заявке выделяется случайный объем ресурса $0 \leq r_i \leq R$. Случайные величины (СВ) r_i независимы в совокупности и одинаково распределены с функцией распределения $F(x)$. Поступившая i -ая заявка теряется, если

¹ Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-07-03608.

объем доступного ресурса меньше объема ресурса, необходимого для ее обслуживания ($R - \delta(t) < r_i$), или если все приборы заняты ($\xi(t) = N$).

В момент τ_i завершения обслуживания i -ой заявки объем ресурса $\delta(\tau_i)$ уменьшается на СВ v_i . При известном числе заявок в системе $\xi(\tau_i) = k$ и объеме занятого ресурса $\delta(\tau_i) = y$ СВ v_i не зависит от поведения системы в прошлом и имеет функцию распределения $F_k(x|y) = P(v_i \leq x | \xi(\tau_i) = k; \delta(\tau_i) = y)$, $0 \leq x \leq y$. Случайный процесс (СП) $X(t) = (\xi(t), \delta(t))$ является цепью Маркова на множестве состояний $X = \bigcup_{k=0}^N X_k$, где $X_k = \{(k, i) | 0 \leq i \leq R, p_i^{(k)} > 0\}$.

В статье [3] было получено аналитическое решение системы уравнений равновесия для данной СМО. Полученные результаты могут быть применены к анализу показателей качества обслуживания в современных беспроводных сетях.

Для частного случая СМО с дискретным распределением СВ $\tau_i \geq 0$ были получены формулы для нахождения стационарных вероятностей:

$$q_{k,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = k; \delta(t) = j\} = p_0 \frac{p^k}{k!} p_j^{(k)}, 0 \leq j \leq R, \text{ где} \quad (2)$$

$$p_0 = \left(1 + \sum_{k=1}^N \frac{p^k}{k!} \sum_{i=0}^R p_i^{(k)}\right)^{-1}. \quad (3)$$

Средний объем занятых ресурсов b можно найти по формуле (4), на основании формул (2), (3) для стационарного распределения системы:

$$b = \sum_{k=0}^N \frac{p^k}{k!} \sum_{i=0}^R i p_i^{(k)}, \quad (4)$$

а вероятность блокировки определяется согласно формуле (5)

$$B = 1 - \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{i=0}^R q_{k,i} \sum_{j=0}^{R-i} p_j = 1 - p_0 \sum_{k=0}^{N-1} \frac{p^k}{k!} \sum_{i=0}^R p_i^{(k+1)}. \quad (5)$$

Численный анализ

На сегодняшний день исследования, которые бы позволили определить вид распределения СВ r_i , не проводились. Были выбраны три распределения (биномиальное, смещенное биномиальное и геометрическое) необходимого сессии объема ресурсов для проведения численного анализа.

В качестве исходных данных для численного анализа были выбраны значения $N = R = 100$, $\mu^{-1} = 1$ мс, $\lambda = \{12, 13, \dots, 20\}$.

На рис. 1 и рис. 2 представлены зависимости вероятностных характеристик от нагрузки ρ для выбранных дискретных распределений.

Так как геометрическое распределение имеет большую дисперсию, чем биномиальное и смещенное биномиальное распределения, то была исследована зависимость тех же вероятностных характеристик при различной нагрузке от дисперсии (см. рис. 3 и рис. 4).

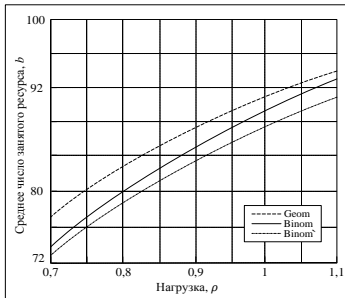


Рис. 1. Среднее число занятого ресурса

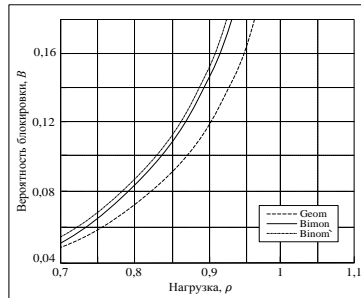


Рис. 2. Вероятность блокировки СМО

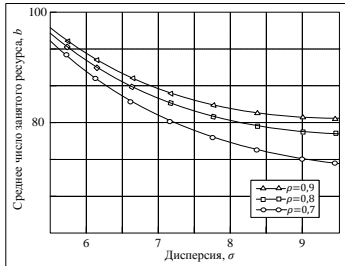


Рис. 3. Среднее число занятого ресурса

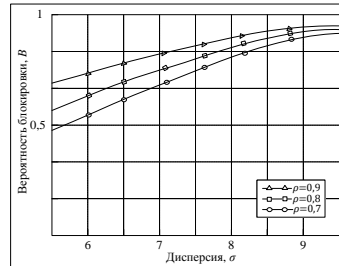


Рис. 4. Вероятность блокировки СМО

Выводы

В работе для анализа показателей качества функционирования базовой станции беспроводной сети связи применена математическая модель в виде многолинейной СМО с потерями, вызванными нехваткой ресурсов необходимых для обслуживания заявок. Были получены формулы для стационарного распределения и показателей производительности системы в случае дискретного распределения объема требуемого заявке ресурса. Был проведен сравнительный анализ зависимости вероятности блокировки СМО и среднего числа занятых ресурсов от нагрузки при различных дискретных распределениях объема ресурсов.

Численный анализ показал, что с ростом дисперсии распределения числа требуемого заявке ресурса, среднее число занятого ресурса снижается при увеличении вероятности блокировки. Это объясняется тем, что в таких условиях сессии, которые требуют для обслуживания больший объем ресурсов, будут блокироваться, однако базовая станция сможет принять больше сессий с меньшими требованиями.

Литература

1. Наумов В.А., Самуйлов К.Е. О моделировании систем массового обслуживания с множественными ресурсами // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика», №3, 2014. - с. 58–62.
2. Naumov V., Samouylov K., Sopin E., Andreev S. Two Approaches to Analysis of Queuing Systems with Limited Resources. Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), IEEE, 2014, pp. 485-488.
3. Наумов В.А., Самуйлов К.Е., Самуйлов А.К. О суммарном объеме ресурсов, занимаемых заявками. // Автоматика и телемеханика (в печати).

PERFORMANCE MEASURES ANALYSIS IN MODERN WIRELESS NETWORKS

Sopin E.S., Vikhrova O.G.

Peoples` Friendship University of Russia, esopin@sci.pfu.edu.ru, o.vikhrova@gmail.com

We propose a mathematical model with limited resources to analyze performance measures in wireless networks.

Key words: resource allocation, LTE-Advanced, queueing system with limited resources, performance analysis.

УПРАВЛЕНИЕ ВИДЕОКАМЕРОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Абрамов Н.С.

Институт программных систем им. А.К.Айламазяна РАН, n-say@nsa.pereslavl.ru

Рассмотрена система технического зрения на основе одиночной поворотной видеокамеры. Решены задачи распознавания объекта, определения расстояний, точного нацеливания на объект и следования по маршруту.

Ключевые слова: видеокамера, система технического зрения, управление.

Введение

В настоящее время наблюдается повышенная активность в области создания технологий для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Особое внимание уделено возможности вести наблюдение, распознавать объекты, управлять видеокамерой, в частности, нацеливать ее на объект. В данной работе рассмотрена система технического зрения на основе одиночной поворотной видеокамеры. Промоделирована задача следования БПЛА по заданному маршруту в условиях ветровых нагрузок с одновременным слежением за целью.

Система технического зрения

Предлагаемая система технического зрения (СТЗ) построена с использованием алгоритмов машинной графики [1] и инвариантных моментов [2,3]. Возможность извлекать инвариантные дескрипторы важна для распознавания динамических объектов независимо от их позиции, масштаба и ориентации на плоскости. Математическое обоснование метода основывается на теории алгебраических инвариантов Ху [4]. В предлагаемой СТЗ используется одиночная управляемая поворотная видеокамера с двумя степенями свободы, схема которой рассмотрена в работе автора [5]. Конструкция такой СТЗ предусматривает два сервопривода, камера закреплена на первом сервоприводе, который крепится на второй сервопривод, при этом, оси вращения двух приводов взаимно перпендикулярны. Первый привод предназначен для вращения камеры по азимуту («влево-вправо»), а второй привод – для вращения по склонению («вверх-вниз»). Оси вращения камеры такой конструкции образуют однополостный гиперboloид вращения. Проанализировав данную модель, были получены аналитические формулы необходимых углов наведения камеры для точного нацеливания на заданную точку наблюдаемой плоскости [5].

Для того, чтобы вычислить расстояние до цели [6] и распознать ее [7], в данной СТЗ использован определенный набор инвариантов Ху, которые в ходе исследований, оказались наименее чувствительными к помехам [7]. На рис.1 изображена общая схема программного обеспечения для созданной СТЗ.



Рис. 1. Схема программного обеспечения СТЗ

Задача следования по маршруту

Рассматривается задача следования по маршруту как задача «преследования-убегания» [8,9]. Используется метод интеллектуального управления, реализующий определенную стратегию в процессе преследования эталонной цели. Алгоритм осуществляет параллельное сближение БПЛА с целью с учетом текущих положений, направлений и скоростей движения, используя продукционные правила. При этом минимизируется суммарное отклонение от заданной траектории. На рис.2 показана общая схема принятой модели управления БПЛА с видеокамерой на борту.

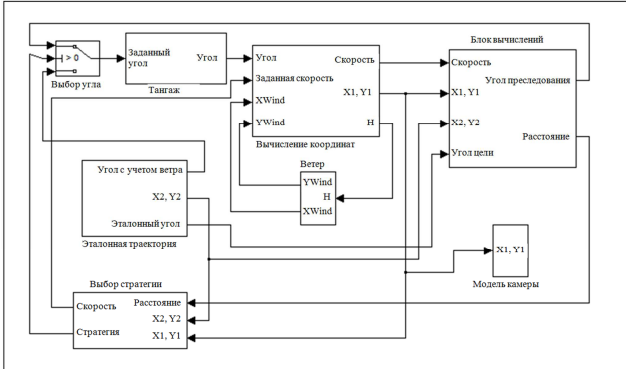


Рис. 2. Схема управления БПЛА с видеокамерой

Моделирование производится в системе Matlab, модель состоит из связанных между собой блоков: выбора угла, вычисления координат, блок, в котором производятся вычисления угла преследования и расстояния, блок задания эталонной траектории движения, блок выбора стратегии, генерации ветровых возмущений и модель камеры. На рис. 3 показан результат моделирования наблюдения за подвижной целью в процессе следования по заданному маршруту.

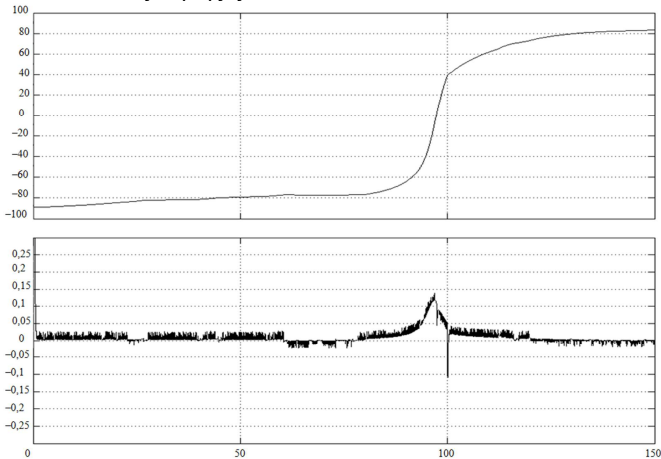


Рис. 3. Характеристики наблюдения подвижного объекта

В верхней части показан график вертикального угла, который должна отработать видеокамера во времени. В нижней – приведен график разности между расчетным и реальным углами наблюдения объекта. При этом максимальное расхождение между углами после стабилизации (через 2 с) составило 0,139 градусов. Время моделирования – 150 секунд. Таким образом, модель БПЛА успешно решает задачу следования по маршруту в условиях ветровых возмущений и одновременно решает задачу слежения за целью в режиме реального времени [9].

Выводы

В работе рассмотрена система технического зрения на основе одиночной поворотной видеокамеры. Решены задачи определения расстояний, распознавания объектов и управления видеокамерой, в частности, высокоточного нацеливания камеры на заданный объект. Дополнительно рассмотрена и решена задача следования БПЛА по заданному маршруту в условиях ветровых нагрузок как задача «преследования-убегания» с одновременным слежением за целью.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ № 14-07-31020 и № 15-07-00925.

Литература

1. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
2. Dudani S. A., Breeding K. J., McChes R. B. Aircraft identification by moment invariants. – IEEE transaction on computers. – vol. C26. – No 1. – 1977. – Pp.39-45.
3. Wong R. Y. Scene matching with invariant moments. – Computer Graphics and image processing. – 1978. – vol.8. – Pp.16-24.
4. Hu M. K. Visual pattern recognition by moment invariants. – IRE Transactions on Information Theory 8. – 1962. – Pp. 179-187.
5. Абрамов Н.С., Ромакин В.А. Методы управления поворотной видеокамерой — Известия ЮФУ. Технические науки. – ISSN:1999-9429. – №7. – 2013. – с.173-179.
6. Абрамов Н.С., Фраленко В.П. Определение расстояний на основе системы технического зрения и метода инвариантных моментов. – Информационные технологии и вычислительные системы. – ISSN 2071-8632. – № 4. – 2012. – с. 32-39.
7. Абрамов Н.С., Хачумов В.М. Распознавание на основе инвариантных моментов. – Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. – № 2. – 2014. – с.142-149.
8. Абрамов Н.С., Хачумов М.В., Моделирование проводки по маршруту беспилотного летательного аппарата как задачи преследования цели. – Авиакосмическое приборостроение. – №9. – 2013. – с.9-22.
9. Абрамов Н.С. Хачумов М.В. Моделирование управления бортовой видеокамерой беспилотного летательного аппарата. – Авиакосмическое приборостроение. – 2014 г. – № 3. – с.9-16.

CAMERA CONTROL OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Abramov N.S.

Program Systems Institute of RAS, n-say@nsa.pereslavl.ru

The computer vision system based on a single rotating camera is considered. The problems of object recognition, determining distances, precise targeting to the object and follow the route are solved.

Key words: video camera, computer vision system, control.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Абрамов Н.С., Шишкин О.Г.

Институт программных систем им. А.К.Айламазяна РАН, n-say@nsa.pereslavl.ru

В работе предложена общая архитектура экспериментальной программно-аппаратной системы мониторинга и прогнозирования состояния космического аппарата. Описывается функциональная схема интеллектуальной системы контроля неисправностей.

Ключевые слова: космический аппарат, мониторинг, контроль, система, архитектура, высокопроизводительные вычисления, телеметрические данные.

Введение

Одной из приоритетных задач при создании ракетно-космической техники нового поколения является задача поддержания и продления жизненного цикла космических аппаратов (КА). Для этого создаются и широко используются автоматизированные системы мониторинга и прогнозирования состояния космических аппаратов, которые способствуют повышению долговечности КА [1]. В настоящей работе предложена архитектура и функциональная схема интеллектуальной системы мониторинга неисправностей подсистем космического корабля.

Архитектура нейросетевой системы диагностики КА

Разрабатываемая интеллектуальная нейросетевая система мониторинга состояния и поведения подсистем КА по телеметрическим данным (далее «НС Мониторинг») основана на опыте построения инструментальных средств и прикладных интеллектуальных систем [2-5] и условно разделена на специализированный планировщик работы (ядро) и программные модули нейросетевой обработки телеметрических данных, поддерживающие преимущества гетерогенной вычислительной среды, имеющейся на борту КА. Общая архитектура системы представлена на рис. 1.

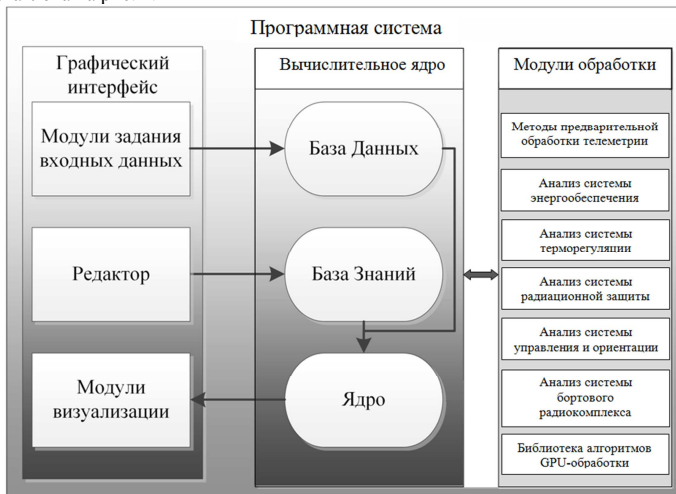


Рис. 1. Архитектура «НС Мониторинг»

На рисунке 2 показана предлагаемая двухуровневая схема экспериментального образца (ЭО) системы «НС Мониторинг». На схеме приняты следующие обозначения: СБИ – средства бортовых измерений, ТМИ – телеметрическая информация, АС – anomальная ситуация, ТС КА – техническое состояние космического аппарата. На нижнем уровне разработанной архитектуры телеметрическая информация поступает на вход системы диагностики, которая после предварительной обработки ТМИ производит анализ различных подсистем КА. В случае обнаружения отклонений от штатной работы подсистем производится проверка и анализ anomальной ситуации, идет формирование стратегии диагностирования, определяется класс технического состояния космического аппарата и класс anomальной ситуации. Далее эта информация обрабатывается на верхнем уровне системы, на нем задействована база знаний, на основе которой происходит выработка рекомендаций и принятие решений. Затем эта информация может передаваться для дальнейшей обработки в бортовой комплекс управления и/или в наземный комплекс управления.

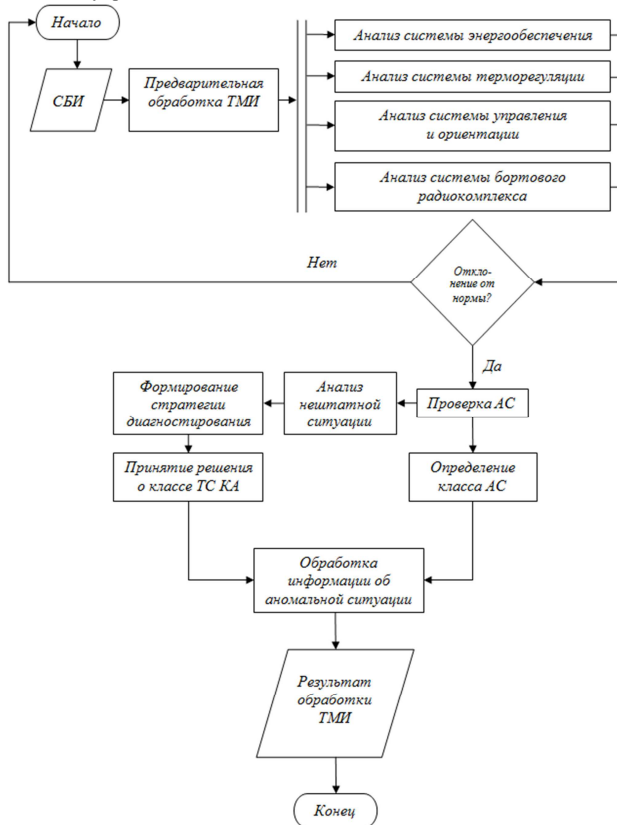


Рис. 2. Функциональная схема ЭО системы диагностики неисправностей

Разрабатываемое программное обеспечение, реализующее алгоритмы системы «НС Мониторинг», должно функционировать в гетерогенной вычислительной среде и использовать как ресурсы процессоров общего назначения, так и ресурсы графических ускорителей для решения поставленных задач. Разработанная архитектура может служить прототипом для создания перспективного многофункционального комплекса, предназначенного для приема, регистрации и обработки всех видов космической информации и осуществляющего мониторинг и диагностику подсистем КА.

Выводы

Предлагаемая в работе система «НС Мониторинг» будет способна решать задачи мониторинга и диагностики состояния подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным, осуществлять классификацию обнаруженных неисправностей в режиме, близком к реальному времени. Это достигается за счет принятой модульной архитектуры, возможности конвейерно-параллельной обработки данных, возможности использования высокопроизводительных платформ и использования аппарата нейросетевого анализа. Данная архитектура способна обеспечить решение задач поддержания и продления жизненного цикла космических аппаратов.

Работа выполнена в рамках СЧ НИР шифр «Мониторинг-СГ-1.2.5.1» по Программе Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли».

Литература

1. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Исследование и разработка методов обеспечения функциональной безопасности и электромагнитной совместимости космических систем». 2013. – <http://www.hse.ru/data/2013/03/10/1293637463/Rep%20TZ-109.pdf>.
2. Абрамов Н.С., Заднепровский В.Ф., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Применение искусственных нейронных сетей в задачах контроля и диагностики подсистем космических аппаратов. – Современные проблемы науки и образования. 2014. – № 3. – <http://www.science-education.ru/pdf/2014/3/296.pdf>.
3. Мажуга В.В., Хачумов В.М. Контроль и диагностика технических и биологических систем на основе метода группового учета аргументов. – Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 4. – С. 80–87.
4. Талалаев А.А. Организация конвейерно-параллельных вычислений для обработки потоков данных. – Информационные технологии и вычислительные системы. – 2011. – № 1. – С. 8–13.
5. Талалаев А.А., Фраленко В.П. Архитектура комплекса конвейерно-параллельной обработки данных в гетерогенной вычислительной среде. – Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. – 2013. – № 3. – С. 113–117.

ARCHITECTURE OF MONITORING SYSTEM OF SPACECRAFT

Abramov N.S. Shishkin O.G.

Program Systems Institute of RAS, n-say@nsa.pereslavl.ru

The paper presents the general architecture of the experimental software - hardware monitoring and forecasting system of the spacecraft. Describes the functional scheme of intellectual control system of malfunctions.

Key words: spacecraft, monitoring, control, system architecture, high performance computing, telemetry data.

JUMP POINT SEARCH – АЛГОРИТМ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОИСКА ПУТИ НА ГРАФЕ ОСОБОЙ СТРУКТУРЫ

Андрейчук А.А.

Российский университет дружбы народов, andreychuk@mail.com

В докладе рассматривается алгоритм Jump Point Search, нацеленный на повышение вычислительной эффективности в задаче планирования траектории на плоскости.

Ключевые слова: эвристический поиск, A*, Jump Point Search.

Введение

Задача о кратчайшем пути между двумя вершинами на графе является одной из важнейших классических задач теории графов. Одним из применений поиска пути на графе является планирование траектории в пространстве. Наиболее известным алгоритмом поиска пути на графе является алгоритм Дейкстры, предложенный нидерландским учёным Э.Дейкстрой в 1959 году[1]. Алгоритм оптимален, но зачастую неэффективен с точки зрения использования времени и памяти компьютера. С целью устранить этот недостаток, был разработан так называемый эвристический поиск, наиболее известный как алгоритм A*[2]. Основным принципом функционирования алгоритма A* заключается в итерационном обходе вершин графа до выполнения некоторого критерия. В процессе обхода для каждой вершины рассчитывается и сохраняется в оперативной памяти ряд числовых характеристик. После завершения обхода, рассчитанные величины используются в совокупности для построения искомого пути. Подобным образом функционирует и алгоритм Дейкстры. Разница заключается в том, что помимо расчета веса пути от начальной вершины до текущей, в алгоритме A* рассчитывается еще и приблизительный вес пути до конечной вершины. Эта величина рассчитывается как раз с помощью эвристической функции. Этот дополнительный критерий влияет на выбор следующей вершины при каждой итерации алгоритма. Алгоритм A* гарантированно находит кратчайший путь, но только если используемая эвристическая функция является допустимой. Эвристическую функцию называют допустимой, если она никогда не переоценивает фактический минимальный вес пути до цели.

Несмотря на возросшую производительность современных компьютеров и их значительную миниатюризацию, скорость работы алгоритма A* с использованием допустимых эвристических функций является недостаточной для планирования траектории в реальном времени. Поэтому было создано большое количество различных модификаций алгоритма A*, призванных ускорить его работу. С этой же целью был разработан алгоритм Jump Point Search, предложенный австралийскими учеными Д. Харабором и А. Грастьеном в 2011 году[3].

Алгоритм Jump Point Search

Как и алгоритм Дейкстры или алгоритм A*, Jump Point Search ищет кратчайший путь на графе. Однако этот граф должен иметь определенную структуру. Эту структуру имеет так называемый метрический топологический граф (MT-граф) – взвешенный неориентированный граф, представляющий из себя бинарную матрицу, каждый элемент которой соответствует некоторой области на плоскости. Если область проходима, то элемент матрицы имеет значение «0», если нет – «1». В качестве ребер MT-графа выступает пара смежных элементов матрицы. Если смежные элементы находятся вертикально или горизонтально, то ребро между ними имеет вес 1, если они расположены по диагонали - $\sqrt{2}$. Если хотя бы один из смежных элементов является непроходимым, то ребро имеет вес ∞ , то есть переход по такому ребру запрещен.

В дальнейшем будет использоваться обозначение $\pi = \langle n_0, n_1, \dots, n_k \rangle$ – это путь, представленный в виде упорядоченной последовательности смежных вершин, от вершины n_0 к вершине n_k . Выражение $\pi \setminus x$ означает, что путь π не включает в себя вершину x . Также будет использоваться функция len , обозначающая длину (вес) пути. В отличие от алгоритма A^* , который рассматривает все смежные вершины как кандидатов для дальнейшего поиска пути, Jump Point Search отсекает большую часть соседей, не рассматривая их. Соседи, которые были отсечены, не добавляются в список *open*, тем самым экономя время и память. Список *open* – это очередь с приоритетом, в которой находятся все текущие кандидаты для дальнейшего поиска пути. Отсечения производятся по двум следующим правилам:

Правило для прямолинейного движения. Отсекаются все соседние (смежные) вершины, которые удовлетворяют следующему неравенству:

$$len(\langle p(x), \dots, n \rangle \setminus x) \leq len(\langle p(x), x, n \rangle) \quad (1)$$

Правило для движения по диагонали. В этом случае принцип тот же, но правило более строгое:

$$len(\langle p(x), \dots, n \rangle \setminus x) < len(\langle p(x), x, n \rangle) \quad (2)$$

Смежные вершины, которые не удовлетворяют этим правилам, называют вынужденными соседями. Другими словами, вынужденным соседом называют смежный элемент матрицы, до которого нельзя построить кратчайший путь от родителя, не пройдя через текущую вершину. В таком случае текущую вершину называют опорной, и её следует добавить в список *open* для дальнейшего поиска пути.

На рисунке 1 изображены несколько возможных случаев прямолинейного движения и движения по диагонали.

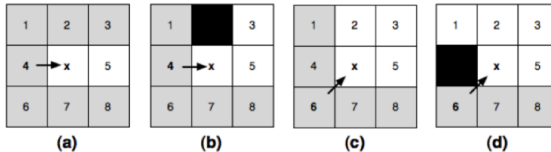


Рис. 1. (a) – пример прямолинейного движения. (b) – пример вынужденного соседа при прямолинейном движении. (c) – пример диагонального движения. (d) – пример вынужденного соседа при движении по диагонали.

В случаях (a) и (c) все смежные вершины являются проходимыми. В соответствии с вышеприведенными правилами отсекаются соседи, которых не нужно рассматривать (отмечены серым). В случае (a) остается лишь одна смежная вершина, которую нужно рассмотреть, поэтому алгоритм сразу переходит к вершине №5. Случай (c) более сложный, так как остаются три неотсеченных соседа. Сначала нужно рассмотреть вершины №2 и №5 по правилу прямолинейного движения. Если в этих направлениях не было обнаружено вынужденных соседей, следует перейти к вершине №3. Случай (b) похож на случай (a), однако вершина №2 – препятствие, поэтому вершина №3 – вынужденный сосед. В случае (d) происходит движение по диагонали. Вершина №2 – препятствие, а значит нельзя построить кратчайший путь из вершины №6(родителя текущей вершины) в вершину №1, не пройдя через текущую вершину. В случаях (b) и (d) текущая вершина является опорной, а в случаях (a) и (c) – нет.

На рисунке 2 приведены примеры обнаружения опорных вершин. Вершина x – текущая вершина, $p(x)$ – родитель текущей вершины, вершина u – опорная вершина. Пунктирными линиями обозначены последовательности оценок промежуточных вершин, которые привели к препятствиям. В случае (b) вершина x также является опорной, так как у неё есть вынужденный сосед (вершина w).

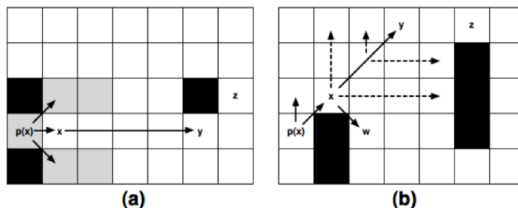


Рис.2 (а) - пример опорной вершины при прямолинейном движении. (б) - пример опорной вершины при движении по диагонали.

Алгоритмы Jump Point Search и A* были протестированы на картах местности города Москвы, а также на картах компьютерных игр Starcraft и Warcraft III[4]. Карты были приведены к виду МТ-графа размером 500x500 в случае городских карт и 512x512 в случае карт Starcraft и Warcraft III.

В таблице 1 приведены сравнения результатов экспериментов, демонстрирующие, во сколько раз алгоритму Jump Point Search требуется меньше времени и памяти на поиск кратчайшего пути по сравнению с алгоритмом A*.

Таблица 1. Сравнение результатов тестирования алгоритмов Jump Point Search и A*.

| | Moscow maps | Starcraft | Warcraft III |
|--------|-------------|-----------|--------------|
| Time | 71,2 | 263 | 88,7 |
| Memory | 27,4 | 57,1 | 81 |

Выводы

Алгоритм Jump Point Search оптимален при использовании допустимой эвристической функции, то есть гарантировано находит кратчайший путь, если он существует[3]. Алгоритм не требует дополнительных затрат памяти или преобразования входных данных. При этом он работает в десятки раз быстрее и потребляет во столько же раз меньше памяти, чем алгоритм A*.

Литература

1. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs. // Numerische Mathematik. V. 1 - 1959, P. 269 - 271.
2. Hart P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4. - 1968. - № 2. P. 100 - 107.
3. D. Harabor; A. Grastien. "Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps". 25th National Conference on Artificial Intelligence. AAAI - 2011.
4. Pathfinding benchmarks. <http://movingai.com/benchmarks/>

Jump Point Search - algorithm for pathfinding on grid maps

Andreychuk A.A.

Peoples' Friendship University of Russia, andreychuk@mail.com

The report reviews the algorithm Jump Point Search aimed at improving the computational efficiency in the task of pathfinding on grid maps.

Key words: heuristic search, A*, Jump Point Search.

ОБЪЕДИНЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Ермакова Т.Н., Ромашкова О.Н.

Московский городской педагогический университет, ermakat@bk.ru

В статье обосновывается необходимость объединения конфигураций платформы 1С:Предприятие «Общеобразовательное учреждение» и «Дошкольное учреждение».

Ключевые слова: образовательный комплекс, информационные потоки, функциональные требования, объединение конфигураций.

Введение

Согласно Постановлению Правительства Москвы № 86 от 22 мая 2011 года «О проведении пилотного проекта по развитию общего образования в городе Москве» в московском регионе идет процесс создания единых образовательных комплексов (ОК), в которые объединяются школы, дошкольные организации и другие организации, проводящие учебно-воспитательную работу [1, 2].

Для оптимизации управленческой деятельности в структурных подразделениях ОК возникла необходимость в разработке управленческой информационной системы, которая бы могла объединить в себе автоматизированные рабочие места пользователей как средних общеобразовательных организаций, так и дошкольных образовательных организаций (ДОО).

Основная часть

На основе анализа должностных инструкций работников ОК выполнено информационное моделирование управленческих процессов ОК, в частности, разработана контекстная диаграмма информационных процессов управления ОК с помощью инструментального средства CA ERwin Process Modeler в нотации DFD (рис. 1), наглядно показывающая информационные потоки внутри образовательной организации.

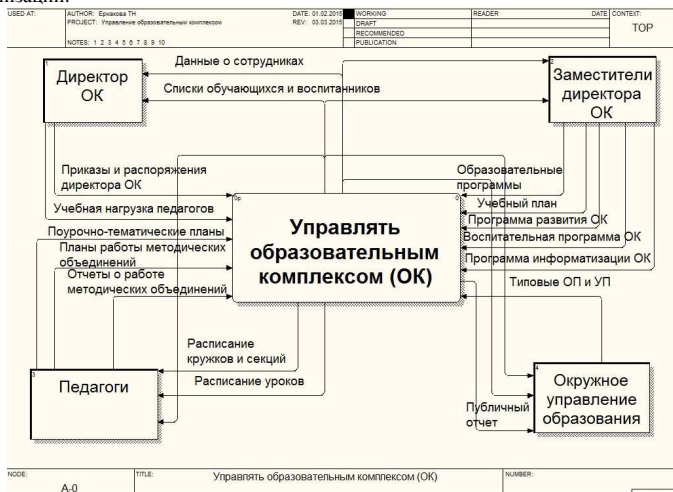


Рис. 1. Схема информационных потоков единого образовательного комплекса

Разработанная схема позволяет выявить, какие информационные потоки являются общими для дошкольных и средних общеобразовательных организаций, и на основе этого анализа сформировать функциональные требования к разрабатываемой управленческой информационной системе:

- 1) автоматизированное ведение базы данных сотрудников, обучающихся школы и воспитанников ДОО;
- 2) поддержка формирования структуры школы (назначение классных руководителей, воспитателей, распределение обучающихся по классам и воспитанников по группам);
- 3) автоматизированное ведение базы нормативных документов и методических материалов;
- 4) поддержка разработки учебно-методической и иной документации, необходимой для деятельности ОК;
- 5) автоматизированное распределение учебной нагрузки преподавателей;
- 6) загрузка и выгрузка учебного плана ОК;
- 7) поддержка составления расписания образовательной и воспитательной деятельности;
- 8) интерактивное ведение журнала замен;
- 9) интерактивное ведение электронного классного журнала;
- 10) поддержка разработки программы информатизации ОК;
- 11) автоматизированный учет материально-технических средств, используемых в ОК;
- 12) составление отчетной документации по образовательной и воспитательной деятельности;

13) составление необходимой финансовой и хозяйственной документации.

Рассмотрим основные функциональные возможности объединяемых между собой конфигураций.

Конфигурация ИС «Общеобразовательное учреждение» позволяет автоматизировать административно-хозяйственную деятельность общеобразовательных организаций, а также процесс формирования и передачи отчетности в вышестоящие органы.

Программа включает набор подсистем, таких как:

- **Рабочий стол** – настраивается в зависимости от прав пользователя и выполняемых им задач;
- **Делопроизводство** – подсистема, обеспечивающая учет входящих, исходящих и внутренних документов;
- **Нормативно-справочная информация** – подсистема, предназначенная для ведения базы нормативных локальных актов образовательной организации;
- **Учебно-воспитательная деятельность** – подсистема, обеспечивающая учет движений контингента, организацию учебного процесса, работу с электронными классными журналами;
- **Методическая деятельность** – подсистема, предназначенная для ведения планов работы методических объединений образовательной организации;
- **Платные услуги** – подсистема, предназначенная для ведения взаиморасчетов с обучающимися по платным образовательным услугам;
- **Кадровый учет** – подсистема, обеспечивающая ведение кадрового учета в организации;
- **Хозяйственная деятельность** – подсистема, обеспечивающая учет материальных средств образовательной организации;
- **Настройка и администрирование** – подсистема, предназначенная для управления основными настройками программы [3].

Конфигурация 1С:Предприятие «Дошкольное учреждение» обеспечивает создание электронного документооборота, учет контингента и кадровый учет, управление ресурсами в конкретной организации.

В данной конфигурации есть следующие подсистемы:

- **Рабочий стол** – настраивается отдельно под каждого пользователя;
- **Документы и файлы** – подсистема, предназначенная для автоматизации деятельности секретаря-делопроизводителя по приему, отправке и уничтожению документации;
- **Задачи и бизнес-процессы** – содержит список задач для конкретного пользователя системы;
- **Учет воспитанников** – подсистема, содержащая всю необходимую информацию о воспитанниках ДОО;
- **Кадровый учет** – подсистема, обеспечивающая ведение кадрового учета в организации;
- **Учет ТМЦ** – подсистема, обеспечивающая учет товарно-материальных ценностей образовательной организации;
- **Методические материалы** – ведение базы методических материалов;
- **Настройка и администрирование** – подсистема, предназначенная для управления основными настройками программы [4].

Выводы

Анализ данных конфигураций и информационных потоков позволил выявить, какие информационные потоки и объекты метаданных 1С являются одинаковыми для дошкольной и средней общеобразовательной организаций, и тем самым обосновать необходимость объединения двух программных продуктов.

Литература

1. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Моделирование информационных процессов управления образовательным комплексом // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2014. – № 2. – С. 122-129.
2. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Мониторинг качества образования в средней общеобразовательной организации с использованием современных средств информатизации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2014. – № 4. – С. 10-17.
3. Карточка решения – 1С: Общеобразовательное учреждение – <http://solutions.1c.ru/catalog/school-edu/features>.
4. Карточка решения – 1С: Дошкольное учреждение – <http://solutions.1c.ru/catalog/preschool>.

INTEGRATED INFORMATION MODEL OF MANAGEMENT OF THE EDUCATIONAL COMPLEX

Ermakova T.N., Romashkova O.N.

Moscow City Teacher Training University, ermaktat@bk.ru

Need of association of configurations of a platform 1С:Enterprise «Educational institution» and «Preschool institution» locates in article.

Key words: educational complex, information streams, functional requirements, association of configurations.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОНТОЛОГИЙ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ

Жантемирова А. Ш.

Российский университет дружбы народов, aida05@rambler.ru

В статье представлена информация о классификации онтологий, описание их особенностей и применение в телекоммуникационной отрасли.

Ключевые слова – онтология, экземпляры, классы, атрибуты, отношения, языки описания онтологий, Пролог.

Краткая характеристика классификации онтологий

Существуют различные типы классификации онтологий. Наиболее полезные два типа классификации онтологий:

Семантическая:

- 1) по уровню выразительности;
- 2) по степени формальности;
- 3) по уровню детальности представления.

Прагматическая:

- 1) по степени зависимости от конкретной задачи или прикладной области;
- 2) по языку представления онтологических знаний;
- 3) по предметной области;
- 4) по цели создания;
- 5) по наполнению (содержимому).

Семантическая классификация:

1. *По уровню выразительности* - тяжеловесные онтологии. Тяжеловесные онтологии сильно аксиоматизированы, такой уровень аксиоматизации позволяет осуществлять онтологическое связывание явно. Легковесные онтологии. Это простые таксономические структуры примитивов или композиции термов с соответствующими определениями.

2. *По степени формальности* - Неформальные - это онтологии, которые описываются в документе на любом естественном языке (английский, русский, украинский и т.д.). Более формализованные – онтологии, хотя и формализованы, но очень слабо структурированы – основанные на терминах. Strongly формализованные – онтологии для решения инженерных уравнений.

3. *По уровню детальности представления* – некоторые количественно-измеримые метрики могут быть применены к расчету уровня детальности представления. Низкий. Онтология может быть построена на основе терминов и нескольких типов связей. Высокий. Онтология может содержать намного больше деталей, включая правила, по которым термины могут быть связаны между собой.

Прагматическая классификация:

1. *По степени зависимости от конкретной задачи или прикладной области:*
 - а) Верхнего уровня – такие онтологии описывают наиболее общие концепты (пространство, время, материя, объект, событие, действие и т.д.), которые не зависят от конкретной проблемы или области.
 - б) Ориентированные на предметную область. Во многих дисциплинах сейчас разрабатываются стандартные онтологии, которые могут использоваться экспертами по предметным областям (доменам) для совместного использования и аннотирования информации в своей области.
 - в) Ориентированные на задачу. Это онтология, используемая конкретной прикладной программой и содержащая термины, которые используются при разработке ПО, выполняющего конкретную задачу.

- г) Прикладные онтологии описывают концепты, которые зависят как от онтологии задач, так и от онтологии домена.
2. *По языку представления онтологических знаний:*
 - 2.1. RDF. Основное предназначение языка – описание метаданных документов, размещаемых в Интернете.
 - 2.2. DAML+OIL – семантический язык разметки Web-ресурсов, который расширяет стандарты RDF и RDF Schema за счет более полных примитивов моделирования.
 - 2.3. OWL (Web Ontology Language) – язык представления онтологий следующего поколения после DAML+OIL. Проект предполагает создание мощного механизма семантического анализа. Онтология OWL – это последовательность аксиом, фактов и ссылок на другие онтологии.
 - 2.4. KIF (Knowledge Interchange Format, или формат обмена знаниями) – специальный язык, предназначенный для обмена знаниями между разными компьютерными системами. Разрабатывался для описания общего формата представления знаний, независимого от конкретных систем.
 - 2.5. CycL (язык описания онтологии Cyc) – это гибридный язык, в котором объединены свойства фреймов и логики предикатов. CycL различает такие сущности, как экземпляры, классы, предикаты и функции.
 - 2.6. OCML (Operational Conceptual Modeling Language) язык поддерживает построение нескольких типов конструкций представления знаний. Он позволяет задавать спецификацию и операционализацию функций, связей, классов, экземпляров и правил.
 - 2.7. LOOM и Power Loom – языки представления знаний. Цель проекта Loom – разработка и внедрение продвинутых средств для представления знаний и рассуждений в области искусственного интеллекта Ontolingua предоставляет распределенную среду для совместного просмотра, создания, редактирования, изменения и использования онтологий.
 - 2.8. F-Logic – онтологический язык, который создавался для осуществления взаимодействия между онтологиями, построенными на основе предикатов, и онтологиями, построенными на основе F-Logic.
 3. *По предметной области.* Онтология отражает общие знания о предметной области, такие, как иерархия классов понятий и семантические отношения на этих классах.
 4. *По цели создания.* А) Онтологии приложения - используются во время выполнения конкретного приложения, осуществляющего онтологическое нанесение ограничений на аксиоматизацию для терминологической службы, т.е. используются в работе блока построения рассуждений. Б) Ссылочные онтологии - используются во время разработки приложений, для взаимного понимания и толкования между агентами, принадлежащими к разным сообществам, для установления консенсуса между сообществами, которые нуждаются во введении нового термина, или просто для пояснения значения термина новому участнику сообщества.
 5. *По наполнению (содержимому).* В данной классификации акцент делается на реальное содержимое онтологии, а не на абстрактную цель. Сложность создания таких онтологий обычно заключается в том, что возможно наличие различий в понятийных системах разных языков.

Применение онтологии в телекоммуникационной отрасли на примере языка Пролог

В телекоммуникационной отрасли онтология используется для описания информационных ресурсов с учетом семантики обрабатываемой информации.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ N-ГРАММ В ВЫЯВЛЕНИИ ПЛАГИАТА

Нгуен Кат Тиеу Занг

Российский университет дружбы народов, tieugiang91@gmail.com

В работе представлены способы подбора хорошего параметра и некоторые методы ускорения программы выявления плагиата.

Ключевые слова: Выявление плагиата, модель N-грамм, оптимизация, Рабин-Карп, список шумовых слов.

Введение

Модель N-грамм – это популярная модель, используемая во многих областях наук. В том числе она применяется в выявлении плагиата. Множество различных алгоритмов, основанных на этой модели, было предложено для увеличения скорости и точности программы. И при решении этой задачи, самыми важными проблемами являются выбор хорошего параметра N, сокращение числа сравнений и параллелизация. В этой работе мы рассмотрим способы решения этих проблем.

На практике можно увидеть, что меньшие значения параметра N, кроме 1, дают наилучший результат [1]. Например, в программе Ferret [2], используются N равный трём, то есть триграммы. С другой стороны, можно рассматривать документ на уровне предложений, а не слов, например, программа PRChecker [3] определяет потенциально заимствованные предложения путём пересечения и дополнения их со множеством ссылок и подозреваемых предложений из словаря.

В этой работе, раскрывается характеристика отношения между параметром N и временем работы, опираясь на математическое доказательство. Таким образом, обеспечивается возможность подобрать параметр в зависимости от специфики алгоритма.

Далее описывается применение списка шумовых слов [4] для сокращения количества сравнений и увеличения производительности программы. В завершение поговорим об эффективной утилизации современных многоядерных процессоров путём параллелизации программы.

Постановка задачи

Даны два текстовых документа: подозрительный и исходный тексты с длинами L и M. Вывести позиции заимствованных участков текста, если таковые существуют.

Простое применение модели N-грамм

Основной идеей является разбиение текстов на подстроки N-грамм. Каждая подстрока в L сравнивается с подстроками в M. Далее, подходящие смежные подстроки сливаются, чтобы получить скопированные диапазоны.

Параметер N

Для удобства положим $L < M$. Так как при N равном 1 или 2 слова есть высокая вероятность случайных совпадений и сравнение документов в таком случае не имеет смысла. Обычно полагают N большим либо равным трём. Решим систему неравенств:

$$\begin{cases} N * (L - N + 1) * (M - N + 1) - (N + 1) * (L - N) * (M - N) < 0 \\ 3 \leq N < L < M \end{cases}$$

Получен следующий результат:

$$3 < N \leq \frac{1}{6} * (-\sqrt{4 * L^2 + 8 * L + 1} + 4 * L + 1), \quad M > L > 2 * (3 + \sqrt{3}) \quad (1)$$

$$\frac{1}{6} * (-\sqrt{4 * L^2 + 8 * L + 1} + 4 * L + 1) < N < \frac{L}{2}, \quad L > 2 * (3 + \sqrt{3}),$$

$$M > \frac{2 * L * N - 3 * L^2 + L}{L - 2 * N} \quad (2)$$

$$6 < L \leq 2 * (3 + \sqrt{3}), \quad 3 < N < \frac{L}{2}, \quad M > \frac{2 * L * N - 3 * L^2 + L}{L - 2 * N} \quad (3)$$

Поскольку на практике L и M не ограничены сверху, случаи (2) и (3) нас не интересуют. Из системы решений (1) можно сделать заключение: в интервале N, меньшем чем $D = \frac{1}{6} * (-\sqrt{4 * L^2 + 8 * L + 1} + 4 * L + 1)$, число сравнений возрастает при увеличении N. А за пределами этого интервала – убывает. Далее, оценивая полученное выражение, получим $\frac{1}{4} * L < D < \frac{1}{3} * L$.

В общем случае, длина текста во много раз больше, чем длина подстроки. Потому верхняя граница $D > 1/3 * L$ достаточно велика, чтобы заключить, что чем меньше N, тем быстрее выполняется программа. Полученный результат также даёт нам понять, что в некоторых случаях, когда набор данных обладает необычными характеристиками, например, когда объём заимствованного диапазона достаточно большой (в сравнении со всем текстом) или если пороговое значение, указывающее на наличие в документе плагиата, выбрано большим, чем $\frac{1}{3} * L$, меньшее значение N не всегда лучший выбор.

Оптимизация через использование шумовых слов

Шумовые слова – это слова, обычно исключаящиеся из текста, потому что они не несут семантической нагрузки. Но, с другой стороны, они отображают грамматическую структуру текста. Точно так же, если участок текста заимствован, то его можно определить по структуре, отображённой шумовыми словами [4]. Далее, согласно «принципу 30», количество этих слов невелико, примерно 30 процентов от общего числа слов в тексте [4], потому количество сравнений будет значительно меньше:

$$0.3 * L * 0.3 * M = 0.09 * L * M$$

То есть 0.09 раз от сравнения всех слов. Но, проверяя только по шумовым словам, нечего и говорить о точности результата, вероятность ложно-положительных срабатываний слишком высока. Поэтому мы используем эту идею для уменьшения длины участков текста, над которыми производится полное сравнение. Сначала отбираются подозрительно похожие участки по общей грамматической структуре на основе шумовых слов, а затем происходит полное сравнение полученных участков всё тем же методом p-gram. На практике, можно отбросить не менее 50 процентов от общего количества слов. Следовательно, затрачиваемое время уменьшается по меньшей мере в два раза. И чем больше текст, тем более заметной будет разница во времени. В случае же, когда длина текста невелика, скорость может даже немного замедлиться, ввиду двойного прохода по тексту и загрузки списка шумовых слов.

Оптимизация распараллеливанием

Вычислительная мощность современных компьютеров неуклонно растёт. Однако, уже довольно долгое время, этот рост идёт не за счёт наращивания тактовой частоты процессора, а за счёт увеличения количества вычислительных ядер. Нередко можно увидеть процессор с четырьмя или более ядрами. Тем не менее, если программа не адаптирована для многоядерных процессоров, то она будет исполняться лишь на одном вычислительном ядре, а остальные будут простаивать, не занятые ничем.

В нашем случае есть два подхода к параллелизации программы. Первый подход – параллельная обработка одного документа, то есть его содержимое будет равномерно распределено и обработано на каждом ядре по отдельности. Второй подход –

одновременная обработка нескольких документов, в этом случае каждое ядро будет заниматься отдельным файлом.

Мы применим второй подход, как потенциально более эффективный, за счёт масштабирования на большое количество процессоров.

Заключение

Комбинируя подбор оптимального параметра N вместе с улучшением посредством шумовых слов и параллельной обработкой документов, производительность программы может возрасти многократно, вплоть до $2 * K$ раз, где K – количество вычислительных ядер.

В дальнейшем возможно увеличение производительности за счёт использования скользящего хеша в стиле алгоритма поиска подстроки в строке Рабина-Карпа [5]. В этом случае слова предварительно хешируются, а комбинацией значений хешей слов будет получен хеш N -граммы. Таким образом, удастся значительно сократить количество полных сравнений строк, сравнивая лишь целевые числа, что намного быстрее. Для исходных документов такие хеши можно вычислить заранее и сохранить в отдельный файл-индекс, затем подгружая его по мере необходимости, сокращая затраты времени на обработку исходных документов.

Экспериментальная проверка этих оптимизаций будет выполняться с помощью набора данных PAN [6] для задачи выравнивания текстов в 2015 году. В нём есть более 3000 исходных и более 1800 подозреваемых текстов разного характера, с наличием плагиата и без него. Это количество документов считается достаточно большим, чтобы проверить точность и скорость программы.

В заключение, несмотря на то, что временная сложность программы не меняется, эти улучшения позволят значительно сократить время обработки большой базы документов.

Литература

1. Alberto Barron-Cedeno, Paolo Rosso (2009). On Automatic Plagiarism Detection Based on n -Grams Comparison. *Advances in Information Retrieval*: 696-700.
2. Lyon C., Barrett R., Malcolm J.: A Theoretical Basis to the Automated Detection of Copying Between Texts, and its Practical Implementation in the Ferret Plagiarism and Collusion Detector. *Plagiarism: Prevention, Practice and Policies Conference*, Newcastle, UK (2004).
3. Kang N., Gelbukh A.: PChecker: Plagiarism Pattern Checker in Document Copy Detection. Sojka P., Kopecek I., Pala K. (eds.) TSD 2006. LNCS, vol. 4188, pp. 661–667. Springer, Heidelberg (2006).
4. E. Stomatatos. "Plagiarism detection using stopword n -grams". *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. Volume 62, Issue 12, pages 2512–2527, December 2011.
5. Karp Richard M., Rabin Michael O. (March 1987). Efficient randomized pattern-matching algorithms.
6. <http://www.webis.de/research/corpora/corpus-pan-labs-09-today/pan-13/pan13-data/pan13-text-alignment-training-corpus-2013-01-21.zip>

OPTIMAL N-GRAM MODEL APPLIED TO PLAGIARISM DETECTION

Nguyen Cat Tieu Giang

People's friendship university of Russia, tieugiang91@gmail.com

In this paper, optimal option of parameter n is proposed based on mathematical proof and enhancements for n -gram model applied to plagiarism detection are presented.

Key words: Plagiarism detection, n -gram model, optimization, Rabin-Karp, stopwords list.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ КАТЕГОРИАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Илюкович-Страковская А.М.

Российский университет дружбы народов, nhfancy@mail.ru

В работе рассмотрена задача бинарной непересекающейся классификации данных, содержащих разнородные признаки. Проанализированы методы обработки категориальных признаков в задачах машинного обучения. В работе используется открытый набор данных Титаник[2], предоставленный в международном обучающем соревновании на kaggle [1].

Ключевые слова: машинное обучение, классификация, анализ данных, категориальные признаки.

Введение

В современном мире с каждым годом собирается и накапливается большой объем данных. Соответственно способы их обработки и эффективного использования становятся все более актуальными. Также многие данные содержат в себе категориальные признаки, допускают шумы и пропуски. В частности, это значительно усложняет задачу классификации, и машинного обучения в целом, т.к. нельзя использовать классические методы. Упростить задачу, к примеру, может качественный анализ данных, но и эта задача сама по себе не тривиальна. Именно поэтому в настоящей работе сделан основной упор на обработке категориальных признаков. На сайте Kaggle [1] есть возможность участвовать в обучающем конкурсе, в котором предлагается написать алгоритм, определяющий возможность выжить при крушении Титаника. Он называется «Titanic: Machine Learning from Disaster»[2] и особо интересен наличием категориальных признаков и пропусков в данных. В этой задаче нужно классифицировать объекты на два непересекающихся класса. В настоящей работе представлен опыт участия в конкурсе Kaggle.

Математическая постановка задачи

По условиям задачи имеется:

X — множество объектов;

Y — множество ответов;

$y: X \rightarrow Y$ — неизвестная зависимость;

$\{x_1, \dots, x_l\}$, X — обучающая выборка;

$y_i = y(x_i)$, $i = 1, \dots, n$ — имеющиеся ответы;

$f_j: X \rightarrow D_j$, $j = 1, \dots, n$ — признаки объектов;

D_j — множество признаков (может быть разных типов: бинарным, категориальным, порядковым, количественным);

Вектор $f_1(x), \dots, f_n(x)$ — признаковое описание объектов;

$F = \|\|f_j(x_i)\| \|_{l \times n}$ — матрица «объекты–признаки»;

Найти:

$a: X \rightarrow Y$ — алгоритм, приближающий y на всём множестве X ;

В нашем случае решение ищется в виде:

$Y = \{1, \dots, M\}$ — на M непересекающихся классов ($M = 2$).

Структура данных

На сайте соревнования [2] имеются данные для обучения («train.csv») и данные для тестирования («test.csv») алгоритма. Структура данных описана в табл.1.

Таблица 1. Описание структуры данных

| | |
|----------|--|
| survival | Survival (0=No; 1=Yes) |
| Pclass | Passenger Class (1=1st; 2=2nd; 3=3rd) |
| name | Name |
| sex | Sex |
| sibsp | Number of Siblings/Spouses Aboard |
| parch | Number of Parents/Children Aboard |
| ticket | Ticket Number |
| cabin | Cabin |
| embarked | Port of Embarkation (C=Cherbourg; Q=Queenstown; S=Southampton) |

Методы обработки категориальных признаков

Категориальный признак – это признак, значения которого обозначает принадлежность объекта к какой-то категории [3]. Например, признак Пол может принимать значение из конечного неупорядоченного множества {Мужчина, Женщина}. Если попытаться свести задачу с категориальными признаками к задаче с вещественными признаками, к примеру, пронумеровав значения признаков целыми числами, то множество значений станет упорядоченным, что не отражает первоначальную суть. Соответственно, к ним не получится применить классические алгоритмы машинного обучения, т.к. они могут учитывать порядок на новом полученном множестве. А значит, мы можем только сравнивать значения признаков на равенство.

Для начала, можно попытаться разобраться, существует ли взаимосвязь между признаками. Для этого необходимо построить таблицы сопряженности. «Таблицей сопряженности называется прямоугольная таблица, по строкам которой указываются категории одного признака, а по столбцам – категории другого. Каждый объект совокупности попадает в какую-либо из клеток этой таблицы в соответствии с тем, к какой категории он относится по каждому из двух признаков. Таким образом, в клетках таблицы стоят числа, представляющие собой частоты совместной встречаемости категорий двух признаков (например, число людей, принадлежащих конкретной социальной группе и при этом входящих в определенную партию)» [4]. В этом случае, о связи номинальных признаков свидетельствует наиболее частая (редкая) совместная встречаемость определенных сочетаний категорий по сравнению с ожидаемой встречаемостью.

«Универсальным способом перекодировки категориального признака со значениям из $\{1, 2, \dots, n\}$ в «стандартные» без потери информации и для использования классических моделей является замена столбца $(h_1, \dots, h_m)^T$ матрицы F (соответствующего признака) бинарной матрицей $\|\delta_{ij}\|_{m \times n^*}$,

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & h_i = j \\ 0, & h_i \neq j \end{cases}$$

$i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n^*\}$ » [3].

Также, часто применяемым на практике является сингулярное разложение матриц: «разложение заключается в представлении матрицы Z размера $m \times n$ в виде произведения $U\Lambda V$, где U $m \times m, V$ $n \times n$ – ортогональные матрицы, Λ $m \times n$ – матрица с элементами $\lambda_1, \dots, \lambda_r, 0, \dots, 0$ на главной диагонали, остальные – нули, $r = \text{rank}(Z)$, удобно считать, что $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_r > 0$. Эти элементы называются сингулярными числами и равны квадратным корням собственных значений матрицы ZZ^T » [3].

«Матрицу U в усечённом сингулярном разложении $F' \approx U\Lambda V$ можно использовать как признаковую матрицу. Далее задачу часто удаётся решить достаточно простым методом, например гребневой линейной регрессией» [3].

«Иногда используют случайные кодировки: для каждого признака на множество его значений $\square \{1, K, ni\}$ действуют случайной перестановкой. После этого строится дерево решений (или небольшой случайный лес). Затем процедура повторяется. Естественно, эти же перестановки действуют и на описания новых объектов (из контроля). Ответы деревьев (лесов) усредняют по всем кодировкам» [3].

В некоторых случаях можно воспользоваться методами, основанными на близости. Их плюсы заключаются в простоте реализации и трактовании, но, к сожалению, такие методы обязуют нас хранить всю обучающую выборку и достаточно долго настраивать параметры.

Выводы

В работе рассмотрены методы обработки категориальных признаков в задачах классификации данных: one-hot кодирование, сингулярное разложение матриц, случайное кодирование, методы основанные на близости. В работе дана сравнительная оценка этих методов и рассмотрены вопросы применимости этих методов в соревновании Титаник [2].

Литература

1. Международный сайт машинного обучения Kaggle – <https://www.kaggle.com/>.
2. Соревнование «Titanic: Machine Learning from Disaster» – <https://www.kaggle.com/c/titanic-gettingStarted>.
3. Дьяконов А.Г. Методы решения задач классификации с категориальными признаками.
4. Бородин Л.И. Анализ взаимосвязей качественных признаков - <http://www.iskunstvo.info/materials/history/2/inf/crosstab.htm>.

METHODS OF HANDLE CATEGORIAL FEATURES IN CLASSIFICATION PROBLEM

Iliukovich-Strakovskaia A.M.

Peoples' Friendship University of Russia, nhfancy@mail.ru

This work covers binary classification problem for datasets with heterogeneous features. The aim is to analyze and compare different approach to handle with categorical features in binary classification problem. In this work used open dataset Titanic [2].

Key words: computer science, machine learning, binary classification, categorical features.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОРО

Исаев А.А., Новикова Г.М.

Российский университет дружбы народов,
aspekt93@yandex.ru, novikova_gm@mail.ru

Рассматривается проектирование информационной базы для систем технического обслуживания и ремонта оборудования с использованием онтологии предметной области.

Ключевые слова: онтология предметной области, модель база данных, база знаний, техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Постановка задачи

В связи с глобальной автоматизацией производственных процессов, а также усложнением используемых технических ресурсов всё более необходимыми становятся системы технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОРО), без которых в наше время не обходится не одно крупное предприятие. В то же время актуальной является задача автоматизации не только производственных процессов, но и процессов ТОРО. Важной частью такой системы является информационная база, которая проектируется на основе онтологии и включает как знания о предметной области, так и данные об оборудовании и его текущем состоянии.

Классификация понятий системы ТОРО

На Рис. 1 представлено дерево, которое является фрагментом онтологии, содержащий понятия верхнего уровня.



Рис. 1. Классификация основных понятий ТОРО

На множестве понятий онтологии можно установить ISA и SQN иерархии. Например, *Трение и изнашивание* включает в себя такие понятия, как *Царапанье*, *Отслаивание*, *Выкрашивание*, *Приработка*, *Задир*, которые образуют его подклассы [1]. Понятие *Изнашивание* включает в себя такие понятия, как *Показатель изнашивания* и *Износостойкость*, находящиеся с ним в отношении «часть-целое». Аналогично понятие *Надёжность и Ремонтпригодность* разбивается на подклассы: *Исправное состояние*, *Неисправное состояние*, *Дефект*. В свою очередь понятие *Дефект* включает *Виды дефектов*, *Планный срок службы*, *Моральный износ*, *Срок гарантии*, а *Эксплуатация* включает в себя такие понятия, как *Условия эксплуатации*, *Ввод в эксплуатацию*, *Система эксплуатации*, являющиеся характеристиками этих понятий. В то же время *Эксплуатация* разбивается на *Техническую* и *Производственную*.

На основе онтологии формируется база знаний предметной области, которая используется для определения технологии и порядка работы автоматизированной системы ТОРО, а также для наполнения базы данных понятиями предметной области.

Проектирование структуры БД для системы ТОРО

Используя рассмотренную выше систему понятий, спроектируем информационную базу. Основные наименования таблиц представлены на рисунке 2.

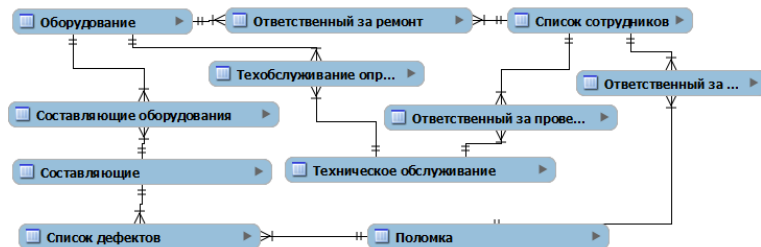


Рис.2. Наименования таблиц БД и связи между ними

Рассмотрим подробнее структуру некоторых таблиц. Таблица «Оборудование» включает поля:

- Идентификационный номер оборудования.
- Наименование оборудования.
- Ответственный за эксплуатацию оборудования.
- Начало эксплуатации.
- Плановый срок службы.
- Срок гарантии.
- Дата последнего технического обслуживания.
- Текущий износ оборудования – значение, указывающее текущее состояние оборудования, на основе которого делают выводы о том, сможет ли оборудование отработать плановый срок службы.

Таблица «Список сотрудников» содержит в себе:

- Идентификационный номер сотрудника.
- ФИО.
- Паспортные данные.
- Номер трудовой книжки.
- Статус – поле, в котором указывается текущий статус сотрудника (на больничном, в отпуске, работает).

Таблица «Техническое обслуживание» содержит в себе поля:

- Уникальный номер технического обслуживания (ТО) – необходим для связи сотрудников, проводящих техническое обслуживание с работами, а так же связью ТО с оборудованием, для которого оно проводится.
- Тип обслуживания – поле, содержащее в себе определение типа ТО (плановое ТО, внеплановое ТО и т.д.).
- Дата проведения работ.

Таблица «Поломки» содержит в себе следующие поля:

- Идентификационный номер поломки – уникальный номер конкретного сбоя, приведшего к частичной или полной утрате работоспособности оборудования.
- Детали – наименование детали, которую необходимо заменить/провести ремонт.

- Код дефекта.
- Тип дефекта.
- Решение – поле, в котором приводится выявленное из базы знаний на основе кода дефекта типичное решение по устранению поломки.

Таблица «Составляющие» содержит в себе поля:

- Идентификационный номер составляющей – необходим для связи конкретной детали с конкретным оборудованием.
- Наименование составляющей.
- Код статуса составляющей – номер, показывающий текущее состояние оборудования в виде кода – динамическое поле, необходимое для быстрого выявления дефектов в автоматическом режиме.

Представленная модель является универсальной, так как таблицы и поля подходят практически для любой системы ТОРО, независимо от вида деятельности. В некоторых случаях, когда мы имеем более облегчённую систему технического обслуживания, отдельные поля и таблицы можно убрать. К примеру, для системы ТОРО, специализирующейся на поддержке домашних персональных компьютеров, из таблицы «Оборудование» необходимо убрать поля «Плановый срок службы», «Текущий износ оборудования» и «Начало эксплуатации», а из структуры базы данных - таблицы «Составляющие» и «Поломка», поскольку отслеживание их в автоматическом режиме не выгодно с финансовой и технической стороны.

Заключение

Данная информационная база содержит как знания о предметной области ТОРО, так и данные об оборудовании предприятия и результатах процессов технического обслуживания и ремонта, что позволяет нам составить полную картину происходящего на предприятии – состояние оборудования, проведённые и запланированные ТО, статус сотрудников, ответственных за ремонт и ТО. Также на основе онтологии мы можем быстро в автоматизированном режиме выявлять причину сбоя оборудования и назначать методы ремонта и сотрудников, участвующих в процессе ремонта. Кроме того, информационная база позволяет в автоматическом режиме планировать профилактическое обслуживание и замену оборудования.

Литература

1. А. И. Яшура «Система ремонта общепромышленного оборудования. Справочник». Энас, 2012 г.

DESIGNING AN INFORMATION BASE FOR PM CONTROL SYSTEM

Isaev A.A., Novikova G.M.

*Peoples' Friendship University of Russia,
aspekt93@yandex.ru, novikova_gm@mail.ru*

We consider the design of the database model for systems maintenance and repair of equipment using domain ontology.

Key words: domain ontology, model database, knowledge base, maintenance and repair of the equipment.

ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Казёнова Н.С., Новикова Г.М.

Российский университет дружбы народов, nskazenova@gmail.com, novikova_gm@mail.ru

Рассматривается подход к проектированию системы мониторинга производственных процессов, основанный на расчете и анализе базовых и основных показателей, показана структура системы мониторинга, описана система показателей и ER-модель базы данных.

Ключевые слова: BPM-система, ER-модель, базовые показатели, бизнес-процессы, плановые показатели, производственные процессы, система мониторинга.

Введение

В настоящее время на предприятиях активно внедряется процессный подход к управлению, большое внимание уделяется автоматизации, мониторингу и дальнейшей оптимизации бизнес-процессов (БП) компании. Однако внедряемые сегодня BPM (Business Process Management) системы, как правило, нацелены на мониторинг финансовых и административно-хозяйственных процессов, а также процессов взаимодействия с клиентами. В то же время актуальной является задача создания системы мониторинга производственных процессов (ПП), поскольку оптимальность их организации и исполнения определяет эффективность и результативность работы компании. Необходимость в оптимизации производственных процессов значительно усилилась в последнее время и в связи с ускорением технологического прогресса, открывшем для мирового рынка новые автоматизированные системы реализации производственных процессов.

Проектируемая система мониторинга является частью BPM системы, которая предназначена для управления бизнес-процессами компании. Основным инструментом для мониторинга производственных процессов является система показателей, включающая различные типы показателей.

Структура системы мониторинга производственных процессов

Система мониторинга производственных процессов включает в себя базу данных и набор правил для осуществления расчета показателей и мониторинга бизнес-процессов. На основе данных, полученных во время исполнения БП, система мониторинга позволяет оптимизировать процесс, анализируя реальные значения показателей, которые отражают затраты на процесс, время выполнения, а также загрузку ресурсов.

Система мониторинга состоит из следующих компонент (Рис. 1):

- База данных- содержит таблицы с информацией об участниках процессов и результатах их работы, в том числе плановые и фактические значения базовых и основных показателей, полученные в контрольных точках производственных процессов;
- База знаний- содержит набор правил для расчета основных показателей на основе значений базовых показателей;
- Модуль ввода данных- обеспечивает пользователю выбор параметров производственного процесса и ввод значений базовых показателей при исполнении;
- Модуль расчета показателей- реализует вычисление основных показателей на основе текущих значений базовых показателей производственных процессов;
- Модуль сравнения значений показателей- определяет результат выполнения процесса и готовит данные для последующего принятия решений пользователем системы;



Рис. 1. Структура системы мониторинга производственных БП

Система показателей как основа мониторинга производственных процессов

При мониторинге производственных процессов важную роль играет определение типа производственного процесса, так как для различных типов производства необходимо анализировать соответствующие им показатели. Например, для единичного типа производства актуальны показатели равномерного последовательного действия, в то время как массовое или серийное производство используют технику параллельного производства, что требует анализа показателей загрузки и простоя оборудования. Таким образом, для мониторинга производственных процессов важно знать такие показатели, как *коэффициенты серийности* и *массовости*, которые определяют, к какому типу производства относится анализируемый производственный процесс.

В свою очередь, основными показателями для различных типов производства являются:

- для единичного типа производства: *прямоточность, дифференциация, бездефектность, гибкость*
- для серийного типа производства: *пропорциональность, надежность, повторяемость, ритмичность*
- для массового типа производства: *унификация, параллельность, устойчивость, автоматизированность, непрерывность*

Таким образом, идентификация и анализ данных свойств и соответствующих показателей позволяет произвести дифференцированную оценку ПП по основным координатам организации процессов: во времени, в пространстве, в количестве и в комплексном виде.

Проектирование базы данных для системы мониторинга БП

Для описания структуры базы данных используется ER-модель, которая позволяет описывать все сущности базы данных и связи между ними. В спроектированной модели

все сущности распределяются по трём уровням: уровень персонала, уровень производства и уровень мониторинга. Основными таблицами в базе данных системы мониторинга являются:

1. На уровне персонала:

- *Сотрудник*- содержит описание рабочего, который будет отмечать данные о ходе процесса в системе мониторинга на BPMN диаграмме.
- *Эксперт*- содержит описание менеджера, определяющего плановые значения основных и базовых показателей до исполнения ПП.
- *РаботаетНад*- содержит описание связи между рабочим, осуществляющим ввод значений базовых показателей при исполнении ПП, и исполняемым им процессом.

2. На уровне производства:

- *ТипПроизводства*- содержит описание типов производства, составляющих ПП и связанных с процессом основных показателей.
- *Процесс*- содержит информацию обо всех ПП и времени их исполнения.

3. На уровне мониторинга процессов:

- *ОП*- содержит описание основных показателей, их плановые и фактические значения.
- *БП*- содержит описание базовых показателей, их плановые и фактические значения.
- *Отклонение*- таблица, в которую записываются данные по отклонениям базовых и расчетных значений основных показателей при исполнении ПП.
- *ОП состоит из БП, ОП имеет Отклонение- таблицы*, отображающие связь М:N между базовыми и основными показателями и их отклонениями.

Заключение

Рассмотренная система мониторинга, а также структура её информационного пространства основана на взаимодействии участников исполнения и анализа производственных процессов. Связь плановых и базовых показателей, а также правила расчета значений показателей позволяют вычислять отклонения при мониторинге производственных процессов, а наличие идентифицирующих показателей определять группу показателей для мониторинга данного типа процесса.

Литература

1. Оптимизация бизнес-процессов (Джеймс Харрингтон) Изд-во «Азбука», СПб., 2002. 305с.
2. <http://www.mysql.ru/docs/mysql-man-4.0-ru/introduction.html>
3. Основы экономики и управления производством. Конспект лекций. (Ю.И. Ребрин) Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. 145 с.

APPROACH TO DESIGNING MONITORING SYSTEM OF PRODUCTION PROCESSES

Kazenova N.S., Novikova G.M.

Peoples' Friendship University of Russia, nskazenova@gmail.com, novikova_gm@mail.ru

This article deals with the way to design the monitoring system of production processes based on calculation and analysis of basic and main indices. The article illustrates the structure of monitoring system, describes of indices system and ER database model.

Key words: BPM-system, ER-database model, base production indices, business process, plan production indices, production processes, monitoring system.

РЕКЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ В МНОГОМЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Кузнецов Е.А., Фомин М.Б.

Российский университет дружбы народов,
ekuznetsov@sci.pfu.edu.ru, mfomin@sci.pfu.edu.ru

В работе рассматривается способ преобразования данных, описанных в виде многомерного куба, позволяющий представить данные в новом аспекте – реклассификация данных.

Ключевые слова: многомерные модели данных, реклассификация данных, классифицируемые реквизиты-признаки, неклассифицируемые реквизиты-признаки, наблюдаемые явления.

Введение

В случае использования многомерного подхода данные информационной системы формируются на основе допустимых значений характеристик наблюдаемых явлений в виде сочетаний допустимых значений классифицируемых реквизитов-признаков (КРП), определяющих значения анализируемого показателя. Аналитическое пространство, описывающее структуру показателя, характеризуется существенной неравномерностью и разреженностью [1]. При описании показателей используются не все возможные сочетания значений КРП, а их часть, составляющая множество сочетаний допустимых значений (множество СДЗ). Количественно анализируемый показатель выражается значениями неклассифицируемых реквизитов-признаков (НРП), заданными для каждого сочетания из множества СДЗ. КРП являются размерностями многомерного куба данных. Их выбор определяет тот аспект наблюдаемого явления, с позиций которого может быть произведен анализ данных. В случае если появляется необходимость анализа данных в другом аспекте, возникает задача построения многомерного куба данных с другим набором КРП.

Постановка задачи

Для решения задачи анализа информации, описание которой производится в рамках многомерной информационной системы, в новом разрезе, может быть использована реклассификация – преобразование информации, представленной с использованием сочетаний допустимых значений КРП одного многомерного куба данных, в представление, использующее сочетания допустимых значений других КРП другого многомерного куба данных.

С семантической точки зрения реклассификация означает переход к представлению той же информации в ином аспекте, с использованием понятий, характерных для этого нового аспекта. Технически реклассификация описывается набором правил, совокупность которых можно назвать схемой реклассификации.

Для задания схемы реклассификации требуется определить:

- входное множество схемы реклассификации;
- выходное множество схемы реклассификации;
- таблицу сопоставления, определяющую набор входных сочетаний допустимых значений, соответствующих выходным сочетаниям допустимых значений;
- правила преобразования НРП при формировании нового многомерного куба данных (функции агрегации).

Входное и выходное множества схемы реклассификации должны содержать следующие данные:

- набор КРП;
- множество допустимых значений КРП;

- множество сочетаний допустимых значений КРП.
- Для схемы реклассификации должны быть выполнены следующие требования:
- КРП их набора КРП входного множества схемы реклассификации должны быть размерностями исходного многомерного куба данных;
 - КРП их набора КРП выходного множества схемы реклассификации не должны быть размерностями исходного многомерного куба данных;
 - множество допустимых значений КРП исходного многомерного куба данных (в части КРП из набора КРП входного множества схемы реклассификации) должно быть подмножеством множества допустимых значений КРП входного множества схемы реклассификации;
 - множество сочетаний допустимых значений КРП (в части КРП из набора КРП входного множества схемы реклассификации) исходного многомерного куба данных должно быть подмножеством множества сочетаний допустимых значений КРП входного множества схемы реклассификации.

Выполнение перечисленных требований однозначно определяет способ выполнения реклассификации. Формирование результирующего многомерного куба данных при этом должно производиться с использованием следующего алгоритма:

- во множестве сочетаний допустимых значений КРП исходного многомерного куба данных должны быть выявлены (в части КРП из набора КРП входного множества схемы реклассификации) сочетания, входящие во множество сочетаний допустимых значений КРП входного множества схемы реклассификации;
- выявленные сочетания допустимых значений КРП должны быть заменены на сочетания допустимых значений выходного множества схемы реклассификации в соответствии с таблицей сопоставления схемы реклассификации;
- в случае появления дублирующих сочетаний они должны быть объединены; при этом значения НРП, соответствующие сочетаниям, полученным при объединении, должны быть рассчитаны в соответствии с правилами агрегации, заданными в схеме реклассификации;
- совокупность полученных таким образом сочетаний допустимых значений КРП и значений НРП, соответствующих этим сочетаниям, образуют результирующий многомерный куб данных.

Пример применения реклассификации

В качестве примера рассмотрим показатель, описывающий выдачу кредитов, в котором характеристики, выражаемые КРП «Заемщик» и «Срок погашения», требуется заменить на характеристики «Тип кредита» и «Метод погашения». КРП, формирующие входное и выходное множества схемы реклассификации, представлены в таблице ниже.

Таблица 1. Допустимые значения входного и выходного множества КРП

| КРП входного множества | | КРП выходного множества | |
|------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| КРП «Заемщик» | КРП «Срок погашения» | КРП «Тип кредита» | КРП «Метод погашения» |
| Физическое лицо | До 30 дней | Краткосрочный | Единовременно |
| Юр. лицо | От 2 до 7 дней | Среднесрочный | Частично |
| Банк | От 31 до 90 дней | Долгосрочный | Частично |
| | От 91 до 180 дней | | |
| | От 1 года до 3 лет | | |
| | Свыше 3 лет | | |

При этом таблица сопоставления, определяющая набор выходных сочетаний допустимых значений, соответствующих входным сочетаниям, имеет вид, представленный в таблице ниже.

Таблица 2. Соответствие сочетаний ДЗ входных КРП к сочетаниям ДЗ выходных КРП

| КРП входного множества | | КРП выходного множества | |
|------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| КРП «Заемщик» | КРП «Срок погашения» | КРП «Тип кредита» | КРП «Метод погашения» |
| Физическое лицо | До 30 дней | Краткосрочный | Единовременно |
| | От 2 до 7 дней | | |
| | От 31 до 90 дней | Среднесрочный | Единовременно |
| | От 91 до 180 дней | Среднесрочный | Частично |
| | От 1 года до 3 лет | Долгосрочный | Частично |
| Свыше 3 лет | | | |
| Юр. лицо Банк | До 30 дней | Краткосрочный | Единовременно |
| | От 2 до 7 дней | Среднесрочный | Единовременно |
| | От 31 до 90 дней | | |

В случае если для задания значений показателя в многомерном кубе данных используется НРП «Сумма кредита», в качестве функции агрегации при объединении сочетаний в результирующем множестве СДЗ для этого НРП должно применяться суммирование.

Заключение

В работе был рассмотрен способ реклассификации данных в многомерной информационной системе, который может быть использован при решении задачи представления данных в новом аспекте с использованием характеристик этого аспекта. Ключевым моментом, обеспечивающим возможность реклассификации данных по рассмотренной схеме, является возможность построения таблицы соответствия сочетаний входного и выходного множеств СДЗ.

Литература

1. Висков А.В., Фомин М.Б. Методы описания допустимых сочетаний реквизитов-признаков при использовании многомерных моделей в инфокоммуникационных системах // Т-Comm. – Телекоммуникации и Транспорт. – 2012. – № 7. – С. 45-47.

RECLASSIFICATION OF DATA IN MULTIDIMENSIONAL INFORMATION SYSTEM

Fomin M.B., Kuznetsov E.A.

Peoples' Friendship University of Russia,
mfomin@sci.pfu.edu.ru, ekuznetcov@sci.pfu.edu.ru

The paper presents an approach to conversion of data, which are described in the form of a multidimensional cube that allows you to present data in a new aspect - reclassification of data.

Key words: multidimensional data models, reclassification of data, classified detail-attributes, non-classified detail-attributes, observed phenomena.

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПОИСК В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ. АЛГОРИТМ A*

Люлько О.Ю.

Российский университет дружбы народов, oylulko@inbox.ru

В докладе рассматриваются различные приложения алгоритма эвристического поиска A к задаче поиска маршрутов перемещения транспортных средств в городских условиях, удовлетворяющих различным критериям оптимальности.*

Ключевые слова: эвристический поиск, A*.

Введение

Настоящая работа посвящена решению задачи автоматического отыскания маршрута движения транспортного средства в городских условиях. Эта задача имеет значение для развития робототехники, в частности, беспилотных транспортных средств, управляемых компьютером.

В работе используется представление карт в виде графов. В виде графа можно представить любую карту. Используя специальные алгоритмы поиска пути на графе, возможно вычислить маршрут с любыми заданными свойствами – самый короткий, самый выгодный с точки зрения затрат топлива, самый насыщенный различными достопримечательностями. Все зависит лишь от информации, представленной графом, и алгоритма. Сформулируем задачу о кратчайшем пути:

Пусть $G=(V, E)$ — неориентированный взвешенный граф. Вершинам графа соответствуют пункты назначения, ребрам — переходы между ними. Сложность того или иного перехода задана весами ребер. Задача о кратчайшем пути состоит в отыскании пути минимального веса, соединяющего заданные начальную и конечную вершины графа G при условии, что хотя бы один такой путь существует. Если же такого пути нет, то пользователь должен быть об этом уведомлен. Начальную и конечную вершины обозначают соответственно через s (от слова start) и g (от слова goal); (s, g) - путь минимального веса будем называть кратчайшим (s, g) - путем. [1]

Для решения такой задачи применяются различные алгоритмы – одни используют меньше памяти при меньшей точности поиска, другие гарантированно находят кратчайший путь, но используют значительно больше вычислительных ресурсов. В данной работе будет рассмотрена эвристическая модификация самого популярного из них - алгоритма Дейкстры - под названием A*, как наиболее оптимального по соотношению трудности реализации к эффективности [2].

Алгоритм A*

Алгоритм A* пошагово просматривает все пути, ведущие из начальной вершины в конечную, пока не найдёт минимальный по весу. A* отличается от алгоритма Дейкстры использованием эвристической функции, которая «направляет» алгоритм в сторону конечной вершины, сужая таким образом область поиска и высвобождая память. Порядок обхода вершин определяется функцией «приблизительный вес пути от текущей вершины до целевой + вес пути от стартовой вершины до текущей» (обычно обозначаемой как $f(v)$). Эта функция — сумма двух других: функции веса пути, необходимого для достижения рассматриваемой вершины (v) из начальной (обычно обозначается как $g(v)$) и эвристической оценки веса от рассматриваемой вершины к конечной (обозначается как $h(v)$).

Функция $h(v)$ должна быть допустимой эвристической оценкой, иначе не гарантируется нахождение кратчайшего пути алгоритмом. Говорят, что эвристическая оценка $h(v)$ допустима, если для любой вершины v значение $h(v)$ меньше или равно весу кратчайшего пути от x до цели.

В некоторых случаях может быть выгодно делать эвристическую оценку «недопустимой» - например, на очень больших графах. В таком случае качество найденного пути ухудшается, но зачастую возрастает скорость работы.

Функция $h(v)$ называется монотонной (или преемственной), если для любой вершины v и ее потомка w разность $h(w)$ и $h(v)$ не превышает фактического веса ребра от v до w , а эвристическая оценка целевого состояния равна нулю. Любая монотонная эвристика допустима, однако обратное неверно [3].

Реализация поиска оптимального пути на карте города

В ходе исследований была разработана программа, реализующая алгоритм поиска пути на графах A^* .

Для исследования возможностей программы был составлен граф, соответствующий карте дорожной сети одного из районов Москвы. Вершинам графа соответствуют перекрестки дорог, ребрам соответствуют дороги. Сложность маршрута выражается степенью загруженности дорог (низкая, средняя, высокая).



Рис. 1. Граф, соответствующий карте дорожной сети

Программа работает в двух режимах:

1. Поиск кратчайшего пути на основании наименьшего расстояния между вершинами;
2. Поиск кратчайшего пути на основании загруженности маршрута.

В первом режиме работы программа рассчитывает расстояние в метрах между вершинами по формуле:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Здесь x_1, y_1 – x -координаты первой и второй вершины соответственно, а x_2, y_2 – y -координаты этих вершин.

Для второго режима работы вводится понятие сложности маршрута. Сложность прохождения ребра (загруженность дорог) варьируется от небольшой (дороги свободны) до критической (сильные пробки).

В режиме работы «по загруженности» программа умножает расстояние между вершинами на коэффициент загруженности. Общая формула выглядит так: $weight = d * k$, где $k = 1/15/30$ – коэффициент загруженности. В результирующем файле отображено время прохождения маршрута в секундах.

Выводы

В ходе исследований выяснилось, что оба режима сильно отличаются по результатам работы – режим «по дистанции» находит как можно более прямой маршрут (для минимизации пройденного расстояния), а режим «по пробкам» старательно обходит зоны с высоким уровнем загруженности, если это выгодно с точки зрения затрат по времени.

Литература

1. Емеличев В.А., Лекции по теории графов, Глава 1/ Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И., Книжный дом "Либроком", 2009

-
2. Stanford Theory Group, Amit's thoughts on pathfinding [электронный ресурс] <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html>
 3. Записки программиста [электронный ресурс] <http://eax.me/a-star/>

HEURISTIC SEARCH IN STATE SPACE. A* ALGORITHM

Lyulko O.Y.

Peoples' Friendship University of Russia, olyulko@inbox.ru

Various pathfinding applications of A* algorithm are discussed, particularly in terms of traffic jams.

Keywords: heuristic search, A*.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЭВРИСТИЧЕСКОГО ПОИСКА НА ГРАФАХ ОСОБОЙ СТРУКТУРЫ. АЛГОРИТМ BASIC THETA*

Люляева Д.Д.

Российский университет дружбы народов, ddlyulyaeva@gmail.com

В работе рассматривается эвристический алгоритм поиска пути на графе особого вида Basic Theta*.

Ключевые слова: эвристический поиск, планирование траектории, построение траектории, Basic Theta*

Введение

Построение траектории движения технических устройств на местности с некоторыми препятствиями с заданными начальным и конечным положениями является актуальной задачей в настоящее время. Задача построения траектории чаще всего сводится к задаче поиска пути на взвешенном графе. В качестве вершин графа рассматриваются точки пространства, а рёбер – прямые линии, соединяющие эти точки. За вес каждого ребра принимается длина соответствующей прямой. Для нахождения пути на графе существует множество алгоритмов, один из которых – алгоритм эвристического поиска A^* . По сути, он является модификацией алгоритма Дейкстры с уменьшением количества рассматриваемых вершин. В процессе выполнения алгоритма A^* происходит итерационный обход вершин графа до выполнения определённого критерия. Во время обхода вычисляются некоторые характеристики и заносятся в память. A^* - эвристический алгоритм поиска, то есть в его реализации используется так называемая эвристическая функция, с помощью которой происходит приблизительная оценка расстояния от каждой рассматриваемой вершины до целевой.

Для поиска пути удобно представлять карту в виде графа регулярной декомпозиции, МТ-графа. Множество вершин МТ-графа, называемых клетками, - это равноудалённые на некоторое единичное расстояние точки пространства. В соответствие им ставится матрица проходимости, в которой по индексам координат каждой вершины стоит «0» для проходимых вершин и «1» для непроходимых. Смежными называются вершины, координаты которых отличаются не более, чем на единицу.[1] Известно, что путь, находимый A^* на таких графах, выглядит довольно угловато и неестественно, так как переход возможен только из вершины в вершину, смежную с ней (см. рис. 1). Для сглаживания траектории, полученной при помощи A^* , часто используется постобработка, однако такое решение имеет ряд недостатков. В процессе выполнения A^* находится лишь один из множества возможных кратчайших вариантов, и некоторые из них могут быть сглаживаемы менее эффективно, чем другие. Таким образом, наиболее эффективное решение задачи с большой вероятностью может быть потеряно.

Рассматриваемый в работе алгоритм Theta* - это алгоритм на основе A^* , в котором траектория пути не привязана напрямую к рёбрам графа. Этот алгоритм был предложен А. Нэшем, К. Дэниэлом, С. Кёнигом и А. Фелнером в 2010 году. Он прост для понимания и реализации, достаточно быстр, а главное, находимая им траектория геометрически короче и выглядит реалистичней [2].

Методы повышения емкостной эффективности эвристического поиска пути на графе

Когда A^* находит путь, он представляет собой последовательный набор вершин, соединённых ребрами, который можно представить в таком виде, как на рис.1 (а). В Theta* же вершины могут напрямую быть не соединены ребром, между ними просто не должно быть препятствий, то есть между ними должно быть можно провести так называемую линию видимости line-of-sight, таким образом можно достигнуть результата, показанного на рис.1 (б), который безусловно является более коротким путём и с геометрической точки зрения выглядит менее ломаным [3].

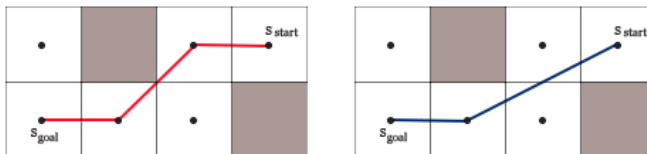


Рис. 1. а) Кратчайший путь на МТ-графе б) Реальный кратчайший путь

Basic Theta* сглаживает траекторию прямо во время её построения без необходимости постобработки. Особенностью Theta* является совмещение преимуществ двух вариантов представления карты, то есть при переборе вершин Theta* использует карту в виде МТ-графа, однако после обработки каждой последующей вершины рассматривает возможность попадания в данную вершину, минуя предыдущую, используя линию видимости line-of-sight, как в графах видимости.

Вершина, из которой мы попадаем в текущую вершину, называется родительской. Сокращение пути Basic Theta* идёт за счёт смены родительской вершины на её собственного родителя в случае, когда препятствие не мешает провести между текущей вершиной и её возможным новым родителем линию видимости. Такой путь по определению не может быть длиннее, поэтому если вершина прошла проверку, путь в неё теперь будет строиться не из физически соседней вершины, а из предыдущей, которая может находиться за много клеток от неё. Таким образом, путь сглаживается. [4]

Алгоритмы A^* и Basic Theta* были протестированы на множестве различных карт. Проведено 400 тестов на реальных картах московских улиц, а также на 750 на картах из игровой вселенной Starcraft и 360 – из Warcraft III. Результаты, полученные при помощи автоматизированной системы, и ею же усреднённые и обработанные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные результаты работы A^* и Basic Theta

| | A^* на картах Москвы | Basic Theta* на картах Москвы | A^* на картах Starcraft | Basic Theta* на картах Starcraft | A^* на картах Warcraft III | Basic Theta* на картах Warcraft III |
|------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| память | 2452,13 | 24616,18 | 39358,06 | 128728,6 | 4467,46 | 26672,83 |
| длина пути | 6306,4 | 5555,3 | 11539,56 | 10046,42 | 5174,79 | 4599,623 |
| время | 0,0314 | 1,335 | 1,276 | 10,532 | 0,049 | 0,875 |

Из предоставленных в табл. 1 результатов видно, что находимая длина пути действительно сокращается, а к недостаткам алгоритма можно отнести заметное увеличение среднего время работы и затрат памяти.

Выводы

Алгоритм Basic Theta* позволяет улучшить работу алгоритма эвристического поиска A*, а помимо этого сгладить полученную траекторию, приблизив её к более реалистичному виду.

Литература

1. *Яковлев К.С.* Графы специальной структуры в задачах планирования траектории. Труды III международной конференции «Системный анализ и информационные технологии САИТ-2009». М: ИСА РАН, 2009.
2. *van Elswijk L.* Hierarchical Path-Finding Theta*.Combining HPA* and Theta*, 2013 - http://www.cs.ru.nl/bachelorscripties/2013/Linus_van_Elswijk___0710261___Hierarchical_Path-Finding_Theta_star_Combining_HPA_star_and_Theta_star.pdf
3. *Daniel K., Nash A., Koenig S., Felner A.* Theta*: Any-Angle Path Planning on Grids. Journal of Artificial Intelligence Research, 39, 533-579, 2010.
4. *Nash A.* Theta*: Any-Angle Path Planning for Smoother Trajectories in Continuous Environments, 2010 - <http://aigamedev.com/open/tutorials/theta-star-any-angle-paths/>

METHODS AND ALGORITHMS OF HEURISTIC SEARCH ON GRAPHS. BASIC THETA*

Lyulyaeva D.D.

Peoples' Friendship University of Russia, ddyulyaeva@gmail.com

Theta is a variant of A*, that propagates information along grid edges without constraining the paths to grid edges. Theta* is simple, fast and finds short and realistic looking paths.*

Key words: heuristic search, path planning, path finding, Basic Theta*.

ОБЗОР ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОНТОЛОГИЙ

Малютина Т.В.

Российский университет дружбы народов, tatianamalyutina@gmail.com

Рассматриваются фундаментальные онтологии как способ представления базовых понятий мира, лежащих в основе любой предметной области.

Ключевые слова: онтология, фундаментальная онтология, предметная область, программное обеспечение.

Введение

Фундаментальные онтологии - онтологии, описывающие общие концепции, которые одинаковы для всех предметных областей. Важной функцией фундаментальной онтологии является широкая поддержка обмена недвусмысленными, однозначно определёнными данными между большим количеством онтологий, которые определены “под” такой фундаментальной онтологией. Предполагается, что это иерархия сущностей и соответствующих правил (теорем и правил), которые описывают общие сущности, не принадлежащие конкретной предметной области.

- Такая онтология является хорошим продуктом, поэтому многие компания хотят взять пальму первенства в разработке. Однако есть несколько факторов, мешающих этому:
- Отсутствие орен-соурсе программных продуктов, которые позволили бы протестировать различных онтологий в одном вычислительном пространстве.
- Различия широко обсуждаются, но нет методов для объективного сравнения результатов.
- Нет ни одной фундаментальной онтологии, которая могла бы считаться де-факто стандартом.
- Сложность построения.

«За» и «Против» создания фундаментальной онтологии

«Против»

Более общие концепции и более пригодные для семантической передачи данных компоненты приводят к тому, что сложно их привести к символьным или логическим концепциям, т.е. получается, что такая онтология будет доступна только для описания очень сложных концепций, оставляя за бортом простые с точки зрения человека понятия.

- Нет очевидного разделения мира на концепции, которое бы было принято всеми.
- Нет «нейтральной» прослойки для связи низкоуровневых онтологий.
- Естественный язык уже сам по себе случайное приближение одной из многих концептуальных карт.
- Любое иерархическое или топологическое представление концепций должно начинаться с какой-нибудь онтологической, эпистемологической, лингвистической, культурной и прагматической перспективы.
- Непонятно, какая практическая цель преследуется при построении такой онтологии и какое новшество она принесёт.
- Такие же возражения, как и против искусственного интеллекта.

«За»

- Прикладные онтологии не обязательно должны быть согласованы везде, а лишь достаточно большую поддержку пользователей просто чтобы было выгодно её использовать и дописывать модули.
- Любое представление предметной области может и будет логичным, даже если рассматриваются различные аспекты одной сущности, если всё сделать аккуратно.

- Целесообразность согласования всех базовых элементов, которая может быть положена в основу более сложных онтологий низших уровней с большим количеством терминов.
- Разделение логических термов и их представлений на различных языках позволит очистить онтологию от субъективизма разработчиков, предоставляя каркас для последующего заполнения. Таким образом построение высшей онтологии оказывается даже легче, нежели построение словаря.
- Выделение мнений в отдельную область разрабатываемой онтологии упраздняет страхи того, что одна онтология не может быть использована разными группами людей в силу различия во взглядах.

Популярные фундаментальные онтологии

Sus - проект по созданию искусственного интеллекта, который базируется на фундаментальной онтологии и базе знаний терминов «здорового смысла». Была создана одна фундаментальная онтология и пара предметных. Отличительные черты: достаточно полна и широко распространена [2].

BORO (Business Objects Reference Ontology) - разработана для построения онтологических или семантических моделей для больших приложений. Состоит из верхней онтологии и инструмента создания онтологий. Отличительные черты: предоставляет простой критерий идентичности [3].

BFO (Basic Formal Ontology) - онтология, состоящая из нескольких онтологий с различными уровнями детализации. Отличительные черты: в одном фреймворке работает как с трёхмерными, так и с четырёхмерными физическими сущностями. Широко используется в биологической, оборонной индустриях [2].

DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) - первый модуль WonderWeb - библиотеки фундаментальных онтологий. Отличительные черты: сочетает онтологические категории с естественным языком и человеческим «здоровым смыслом», была применена для описания организаций, коллективов, суверенных государств, геополитических границ [2].

GFO (General Formal Ontology) - реалистичная онтология, интегрирующая процессы и объекты. Отличительные черты: На дерево таксономии и аксиоматизацию повлияла направленности на многие аспекты сегодняшней философии, представлены неизменные во времени объекты [2].

UFO (Unified Foundational Ontology) - соединяет принципы GFO, DOLCE и Ontology of Universals. Отличительные черты: используется в сложных предметных областях, таких как моделирование процессов предприятия, разработка программного обеспечения, нефть и газ, телекоммуникации, биоинформатика.

IDEAS - расширяемая четырёхмерная онтология высшего порядка. Отличительные черты: представляет собой скрупулёзную модель бизнеса [3].

OCHRE (Object-Centered High-level REference) – данная онтология рассматривает объекты, атрибуты и события как средства для описания реальности. Онтология фокусируется на концептуальной простоте, т.е. количество базовых концепций минимизируется для простоты теоретического построения. Отличительные черты: онтология была создана не только для практического применения, но и для иллюстрации зависимости качества онтологии от её описательной адекватности, простоты и прозрачности [4].

gist – «минималистичная фундаментальная онтология», нацеленная на корпоративные информационные системы. Отличительные черты: минимальные объёмы базовых компонент и понятий способствовали широкому распространению данной онтологии в реальном мире: Procter & Gamble, Sentara Healthcare, Washington State Department of Labor & Industries, LexisNexis, Sallie Mae и две Financial Services фирмы [5].

MarineTLO - высокоуровневая онтология для морского домена: флора и фауна, биоразнообразии [6].

Yet Another More Advanced Top Ontology - фундаментальная онтология, на базе которой строятся медицинские, генетические, обучающие, научные и культурные онтологии. Отличительные черты: улучшенные описания качества, атрибутов, свойств и размеров, является онтологией описания, улучшенные описания процессов и событий, использует теорию ролей [7].

Выводы

Даже по тому, в каком объёме и где была использована та или иная фундаментальная онтология, становится ясно, что в современном мире быстрорастущих и динамических технологий выживет легковесная, быстрая и, в тоже время, мощная онтология. Из всех представленных выше онтологий только gist добилась значительных высот в структуризации и описании предметной области, а это значит, что фундаментальные онтологии начали занимать свою нишу в прикладной разработке.

Литература

1. W3C Ontology Standard – <http://www.w3.org/standards/semanticweb/ontology>.
2. Mascardi V., Cordi V., Rosso P. A comparison of Upper Ontologies// Dipartimento di Informatica e Scienze dell'Informazione (DISI). – 2006.
3. Business Object Reference Ontology – <http://www.borosolutions.co.uk/research/>
4. Schneider L. How to build a Foundational Ontology: The Object-Centered High-level Reference Ontology ORCHE// University of Leipzig: Institute for Formal Ontology and Medical Information Science. – 2003.
5. Gist 7 – <http://www.semanticarts.com/gist/>
6. MarineTLO – <http://www.ics.forth.gr/isl/MarineTLO/>
7. Mizoguchi R. YAMOTO: Yet Another More Advanced Top Ontology// The Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University. – Dec. 2010.

FOUNDATIONAL ONTOLOGIES REVIEW

Malyutina T.V.

Peoples' Friendship University of Russia, tatianamalyutina@gmail.com

This article covers foundation ontologies as a powerful instrument for describing and presentation of the most basic concepts in the world. These concepts help developers, analytics and architects to build an exquisite model of any domain knowledge.

Key words: ontologies, fundamental ontologies, domain knowledge, software design.

О ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПОДГОТОВКУ СПЕЦИАЛИСТОВ В РАМКАХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ДОКУМЕНТОВ

Меняшина А.Ю., Козлова М.И., Трофимова Н.А., Толмачев И.Л.

Российский университет дружбы народов,

menyashina@gmail.com, mari-koz@mail.ru, trofimova_nadezda@mail.ru, tolmachevil@mail.ru,

В данной статье рассматривается цепочка процессов, сопровождающих подготовку специалистов.

Ключевые слова: стабильный учебный план, индивидуальный учебный план, ведомость, система управления движением документов.

Введение

Электронный документооборот широко внедряется в административное управление [1]. Административное управление работой вуза представляет собой такие процессы как кадровый учет студентов, учет успеваемости и распределение его нагрузки, кадровый учет преподавателей и т.п. В настоящее время имеется много систем документооборота, но основным недостатком которых является то, что сначала принимается управленческое решение, а потом его информация вносится в базу данных. В данной работе используется другая технология [2]. Подразумевается наличие подсистем кадрового учета студентов и кадров сотрудников, позволяющих получить информацию о структуре вуза и преподавательском составе с достаточной степенью детализации. Выделяется цепочка взаимодействия процессов, связанных с подготовкой специалистов. Данная цепочка включает в себя формирование стабильного и индивидуального учебных планов, ведомостей учета оценок. Согласно этому каждый из упомянутых процессов рассмотрим отдельно.

Формирование стабильного и индивидуального учебных планов

В соответствии с требованиями федерального стандарта (ФГОС) каждый вуз для каждого направления подготовки специалистов должен сформировать так называемый Стабильный учебный план (СтУП). СтУП состоит из нескольких циклов, в каждом из которых предусматривается изучение обязательных дисциплин и отведено время на то, чтобы студент мог выбрать какие-то из нескольких предлагаемых ему возможностей. При этом должны быть соблюдены ограничения, предусмотренные ФГОС, что накладывает определенные трудности при формировании СтУП.

В настоящее время Индивидуальный учебный план (ИндУП) формируется на основе СтУП на весь учебный год и раздается каждому студенту для заполнения. Студент, а тем более тьютор, не владеет информацией об уже изученных дисциплинах и задолженностях. При этом не учитывается, что дисциплина может быть отменена по каким-либо причинам. Каждый студент сдает заполненный ИндУП тьютору своей учебной группы. На основе ИндУП формируются рабочие учебные планы.

Предлагается определенная технология, которая облегчает процесс формирования СтУП, одновременно с взаимодействием этого процесса с формированием ИндУП. В СтУП циклы разбиваются на блоки дисциплин: дисциплины, изучаемые обязательно; дисциплины по выбору. Процесс формирования включает в себя методы представления для ввода данных, вида документа в электронном виде, контроля полноты и достоверности.

Оптимизация этого процесса с помощью предлагаемой технологии позволяет соблюсти основные требования к СтУП и создать основу для формирования ИндУП и ведомостей учета успеваемости.

СтУП представляет собой 6 циклов дисциплин, каждый из которых может состоять из блоков дисциплин обязательных и по выбору.

Процесс формирования СтУП выполняется за несколько этапов. На этапе инициализации и, возможно, дальнейшего редактирования для каждого цикла СтУП расписываются укрупненные блоки, из которых детализированы только блоки обязательных дисциплин, предусмотренных ФГОС и вузом. Блоки дисциплин по выбору могут быть предварительно наполнены конкретными дисциплинами. В результате на экран отображается таблица с введенными данными. Метод контроля полноты следит за тем, чтобы каждая позиция была заполнена. Метод достоверности следит за корректным заполнением, учитывая лимит контрольной суммы кредитов, количество дисциплин в семестре, загруженность студентов и т.п. После согласования со всеми заинтересованными лицами СтУП подписывается и регистрируется.

Перед началом каждого семестра система запускает процесс, позволяющий уточнить (расширить) СтУП в части дисциплин по выбору. С одной стороны расширенный СтУП станет основой для формирования рабочего учебного плана (РаБУП), а с другой стороны используется для формирования ИндУП.

Для каждого студента система инициализирует ИндУП на основе СтУП. На этапе редактирования студенту предлагается информация в виде таблицы, включающая в себя уже изученные дисциплины, задолженности студента и возможности его дальнейшего развития. Студент отмечает дисциплины, которые он намеревается изучать. Метод достоверности следит за контрольной суммой набранных кредитов по следующей формуле (1)

$$Check_sum = \sum_i Credit_i + Credit_{passed} \geq i * 30 - P_{fail}, (1)$$

где i – номер текущего семестра;

$Credit_i$ – количество кредитов i -го семестра;

$Credit_{passed}$ – сумма кредитов по сданным дисциплинам;

P_{fail} – процент кредитов по задолженностям;

$Check_sum$ – контрольная сумма кредитов.

Если студент заполнил поле комментария, проект ИндУП предлагается тьютору на согласование, иначе формируется сводный список количества студентов записавшихся на различные дисциплины. При наличии нестандартной ситуации этот список предьявляется проректору, принимающему решение по СтУП. Если возникает необходимость исключения какой-либо дисциплины из-за слишком малого количества студентов, то СтУП возвращается на редактирование с одновременный возвратом ИндУП тем студентам, которые записались на эту дисциплину с соответствующим комментарием. При регистрации СтУП происходит автоматическое утверждение всех ИндУП.

Учет успеваемости студентов

На данный момент независимо от ИндУП ведомости по учету знаний и умений формируются на каждую академическую группу. Назначенный кафедрой на дисциплину преподаватель заполняет ведомость вручную. Для дисциплин по выбору преподаватель самостоятельно должен отслеживать студентов, изучающих его предмет, т.к. ИндУП студентов ему, как правило, не доступны. При заполнении ведомости для студентов, не изучающих данную дисциплину, поле оценки остается пустым. Далее ведомости сдаются в деканат, где их результаты разносятся по таблицам.

В предлагаемой модели на основании ИндУП формируются учебные группы. Причем для обязательных дисциплин берутся академические группы, а для дисциплин по выбору и проведения пересдач создаются временные. К моменту проведения аттестации происходит инициализация ведомостей на каждую группу по каждой дисциплине. На этапе редактирования заведующий кафедрой, ответственной за дисциплину, при

необходимости, может менять преподавателя. После ответственный за дисциплину преподаватель проводит аттестацию и выставляет оценки. Заведующие кафедрами утверждают результаты проведения аттестации, а деканат регистрирует. После этого имеется возможность (если необходимо) распечатать ведомости, как на кафедре, так и в деканате, обеспечивая высокую степень достоверности информации. На основе этого система как самостоятельно, так и по запросу может обеспечить руководство необходимой справочной информацией о состоянии учебного процесса. После окончания аттестационного периода оценки заносятся в ИнДУП студентов.

Кроме того, эта технология позволяет регламентировать систему передачи задолженностей.

Заключение

Такой подход существенно улучшит организованность, как студентов, так и преподавателей, требуя от них своевременного выполнения регламентных работ.

Предложенная технология к реализации процесса подготовки специалистов в системе управления движением документов позволяет автоматизировать и упростить работу по формированию стабильного и индивидуального учебных планов, а так же ведомостей учета успеваемости. Так же, по сравнению с созданием данных документов в ручную, сокращается время работы с документом и повышается степень достоверности данных. Можно говорить о том, что представленный подход оптимизирует процесс подготовки специалистов.

Литература

1. Ильина Т.Н., Логинова А.Ю., Романов Д.А. Правда об электронном документообороте – М., ДМК, 2002 – 224 стр.
2. Петров В.А., Толмачев И.Л. Об особенностях управления учебным процессом при кредитно-модульной системе. Материалы международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в образовании» – Екатеринбург, РГППУ, 2008, стр. 278-282.

THE TECHNOLOGY OPERATION PROCESSES PROVIDED WITH TRAINING MARKING IN THE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM

Menyashina A.U., Kozlova M.I., Trofimova N.A., Tolmachev I.L.

Peoples' Friendship University of Russia,

menyashina@gmail.com, mari-koz@mail.ru, trofimova_nadezda@mail.ru, tolmachevil@mail.ru

This article is about processes provided with training.

Key words: stable curriculum, personal plan of disciplines, the report card ratings, electronic document management system.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Молодченков А.И., Шелманов А.О.

Российский университет дружбы народов,

Институт системного анализа Российской академии наук, aim@isa.ru

В работе описаны основные методы, используемые в гибридном алгоритме автоматизированного построения медицинских технологических карт.

Ключевые слова: медицинские технологические карты, извлечение знаний.

Введение

Компьютеризация процессов оказания медицинской помощи – это крайне трудная задача. Информация об оказанных пациенту услугах, как правило, распределена между различными медицинскими учреждениями и подразделениями, значительная их часть не структурирована и не формализована, лечебно-диагностические процессы сложны и вариабельны, а ценой ошибки является жизнь и здоровье человека. Поэтому наряду с впечатляющими успехами в области информатизации отдельных медицинских технологий, в отрасли по-прежнему практически отсутствуют примеры успешно действующих автоматизированных систем управления крупными комплексами лечебно-диагностических процессов. Одним из направлений в этой области, по которым ведутся исследования, является разработка электронных медицинских технологических карт (ЭМК). ЭМК постепенно преобразуются из простого хранилища клинических данных о пациенте в многофункциональную систему, позволяющую организовывать, распределять и использовать медицинские знания с высокой степенью защищенности, облегчать и регулировать взаимодействие всех участников лечебно-диагностических процессов[1]. В основе создания современных ЭМК лежит процессный подход, который признан наиболее эффективным при организации управления предприятиями в разных отраслях экономики. В медицине есть соответствующий термин – «careflow» (по аналогии с «workflow»), означающий поток работ, связанных с оказанием медицинской помощи[2].

Ввиду активного внедрения ЭМК в клиническую практику, разработка методов и алгоритмов автоматизированного построения медицинских технологических карт является актуальной задачей. В качестве источников знаний при построении ЭМК выступают клинические руководства, протоколы ведения больных, номенклатура медицинских услуг, утвержденная Минздравсоцразвития России[3], эксперты.

В данной работе описаны основные методы, используемые в гибридном алгоритме приобретения знаний, используемом для построения медицинских технологических карт. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 13-07-12165.

Извлечение знаний из текстов

Для решения задачи извлечения знаний из клинических руководств были разработаны методы извлечения естественно-языковых конструкций, обозначающих медицинские процедуры (лечебные, диагностические, терапевтические мероприятия), а также фрагментов текста (от одного до нескольких предложений), в которых указаны условия их применения.

Метод извлечения лечебных мероприятий из текстов клинических руководств опирается на знания, содержащиеся в специализированных медицинских тезаурусах. Основным тезаурусом является UMLS Metathesaurus [4, 5]. Он интегрирует в себе множество медицинских и биомедицинских баз знаний и устанавливает соответствие между концептами с одинаковым смыслом из разных баз. Единственной русскоязычной базой, интегрированной на данный момент в UMLS Metathesaurus, является

переведенный MeSH [6]. Концептам из тезауруса сопоставлены семантические типы из UMLS Semantic Network [7]. Для извлечения лечебных мероприятий из текстов клинических руководств использовались концепты следующих семантических типов: «DiagnosticProcedure», «HealthCareActivity», «LaboratoryProcedure», «TherapeuticorPreventiveProcedure». Еще одним источником знаний для метода извлечения лечебных мероприятий послужила номенклатура медицинских услуг, утвержденная Минздравсоцразвития России. В этом кодификаторе содержится перечень медицинских услуг, представляющих собой как отдельные, так и комплексы медицинских вмешательств, направленных на профилактику, диагностику и лечение заболеваний, а также медицинскую реабилитацию. Поскольку тезаурусы не могут покрыть все разнообразие вариантов описания одних и тех же лечебных мероприятий в клинических руководствах, разработанный метод осуществляет нежесткое сравнение естественно-языковых конструкций из текста с терминами из медицинских тезаурусов.

Для найденных в тексте конструкций, обозначающих лечебные мероприятия, ищутся предложения, потенциально содержащие условия их применения. Для этого каждое предложение в фиксированном окне вокруг найденной конструкции пропускается через классификатор, построенный на основе машинного обучения. В качестве признаков используются слова, части речи предложения, упорядоченные пары слов, удаленность предложения от конструкции, длина предложения и др. Поскольку признаковое пространство велико, используются быстрые методы классификации, такие как линейный SVM и логистическая регрессия.

Приобретение знаний от эксперта

Знаний об условиях применения медицинских текстов, изложенных в текстах недостаточно, чтобы можно было построить ЭМК. Необходимо более полное представление о лечении заболеваний. Основным источником таких знаний остается эксперт.

Для работы с экспертом используется метод прямого приобретения знаний в виде автоматизированного интервью [8]. Целью этого метода является получение полного представления о лечении заболевания, путем выявления информации об участниках процесса лечения, объектах (лечебно-диагностических мероприятиях), свойствах, связях между объектами. Каждая пара объектов превращается в элемент некоторого бинарного отношения, которое определяется и отличается от остальных набором своих свойств. Для каждой пары объектов отношение устанавливается единственным образом [8].

Алгоритм приобретения знаний от эксперта реализуется с помощью применения набора сценариев, адаптированных к решению поставленной задачи. Первым выполняется сценарий выявления этапов лечебно-диагностического процесса (ЛДП). Далее для каждого этапа ЛДП выполняется сценарий ввода лечебно-диагностических мероприятий. В процессе выполнения этого сценария запускается ряд процедур. Первая процедура предоставляет эксперту для выбора список лечебно-диагностических мероприятий, которые необходимо выполнить. Этот список формируется в результате анализа клинических руководств и рекомендаций и подключения справочника медицинских услуг. Следующая процедура выполняет поиск условий выполнения лечебно-диагностических мероприятий. Поиск условий производится путем анализа клинических руководств и поиска близких, ранее построенных технологических карт. Процедура поиска технологических карт, имеющих этапы, в которых процесс лечения близок текущему процессу по выполнению лечебно-диагностических мероприятий. Многие процедуры включают в себя функцию объяснения результатов своих работ. Весь диалог работы с экспертом строится путем применения системы правил.

Процесс построения ЭМК завершается в том случае, если все этапы ЛДП содержат лечебные мероприятия. Если эксперт считает, что он полностью сформировал технологическую карту, то запускается процедура проверки ввода в технологическую

карту всех обязательных лечебно-диагностических мероприятий. Весь список обязательных ЛДМ берется из перечня медицинских услуг. Если не все лечебные мероприятия включены в ЛДП, то эксперт информируется об этом. Работа метода приобретения знаний от эксперта завершается в том случае, когда медицинская технологическая карта построена, и внутри нее отсутствуют противоречия.

Выводы

Медицинский технологический процесс объединяет организационные и лечебно-диагностические и мероприятия. Для управления медицинскими технологическими процессами в клиническую практику внедряются ЭМК. В связи с этим актуальной является задача разработки методов и алгоритмов автоматизированного построения ЭМК. В работе описан новый гибридный метод автоматизированного построения ЭМК. Предложены методы извлечения знаний из текстов и приобретения знаний от экспертов.

Литература

1. Назаренко Г.И., Клейменова Е.Б., Яшина Л.П., Молодченков А.И., Пающик С.А., Константинова М.А., Мокин М.В., Отделенов В.А., Сычев В.А. Разработка онтологии технологических карт ведения пациентов многопрофильного стационара при моделировании медицинских технологических процессов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. - № 2. - С.68–77.
2. Quaglini S., Stefanelli M., Lanzola G. et al. Flexible guideline-based patient careflow systems // Artif. Intel. Med. 22 (2001) 65-80.
3. Об утверждении номенклатуры медицинских услуг // [Электронный ресурс] URL: <http://www.rosminzdrav.ru/documents/6975-prikaz-minzdravsotsrazvitiya-rossii-1664n-ot-27-dekabrya-2011-g> (дата обращения 13.01.2015).
4. Lindberg D. A., Humphreys B. L., McCray A. T. The unified medical language system. // Methods of information in medicine. — 1993. — Vol. 32, no. 4. — P. 281–291.
5. UMLS Metathesaurus Fact Sheet // [Электронный ресурс] URL: <http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/umlsmeta.html> (дата обращения 13.01.2015).
6. 2014AA UMLS MeSH Russian Source Information // [Электронный ресурс] URL: <http://www.nlm.nih.gov/research/umls/sourcereleasedocs/current/MSHRUS/index.html> (дата обращения 13.01.2015).
7. UMLS Semantic Network Fact Sheet // [Электронный ресурс] URL: <http://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/umlssemn.html> (дата обращения 13.01.2015).
8. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами: Основы теории и технологии. — М.: Наука. Физматлит, 1997. — 112 с.

MAIN METHODS OF THE HYBRID ALGORITHM FOR E-CARDS COMPUTER-AIDED SYNTHESIS

Molodchenkov A.I., Shelmanov A.O.

*Peoples' Friendship University of Russia, Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences,
aim@isa.ru*

Abstract. *The paper presents main methods that are used in the hybrid algorithm for e-card computer-aided synthesis.*

Key words: e-card, knowledge acquisition.

УДАЛЁННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТОВ

Молодченков А.И., Суворов Р.Е, Шелманов А.О.

Институт системного анализа Российской академии наук,
Российский университет дружбы народов, aim@isa.ru

В работе описана архитектура интеллектуальной системы удалённого мониторинга состояния здоровья пациентов.

Ключевые слова: удалённый мониторинг, телемедицина, e-Health.

Введение

Электронное здравоохранение (e-Health) – относительно новое понятие в медицине. Оно подразумевает взаимодействие инфокоммуникационных технологий и современного здравоохранения. При этом понятие электронное здравоохранение включает в себя и удаленные портативные технологии наблюдения (например, мобильные приложения для смартфонов) – mHealth. Активное применение мобильных устройств и различных датчиков для получения информации о показателях состояния здоровья позволяет разрабатывать системы, которые могут собирать информацию о состоянии здоровья пациентов вне клиники [1–11]. Однако далеко не все системы позволяют автоматически анализировать собираемую информацию. В данной работе описана архитектура интеллектуальной системы удалённого мониторинга состояния здоровья пациентов, которая ориентирована не только на сбор, но и на интеллектуальный анализ данных. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 13-04-12055.

Архитектура системы

Система построена по трёхзвенной архитектуре: сеть датчиков, локальное агрегирующее устройство (его роль выполняет смартфон) и центральный сервер. Локальное агрегирующее устройство отвечает за сбор и предварительную фильтрацию информации с датчиков, которая затем отправляется на центральный сервер. Общая архитектура системы мониторинга здоровья представлена на рис. 1.

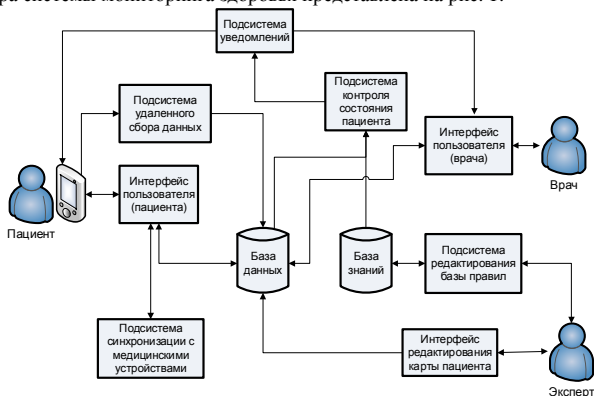


Рис. 1. Общая архитектура системы мониторинга здоровья

В системе присутствуют три основные роли: врач, пациент и эксперт. Для каждой роли разработан свой собственный интерфейс, права пользователя и функционал. Пациент через агрегирующее устройство или web-интерфейс пользователя

отправляет данные о своем здоровье. Сбор данных осуществляется с помощью заполнения пациентом дневников: дневника здоровья, пищевого дневника и др. Информация, необходимая для контроля состояния здоровья пациента, вводится через интерфейс пользователя либо пациентом вручную, либо с помощью специальных медицинских устройств (мини-кардиограф, устройство для считывания значения артериального давления и др.). За взаимодействие с этими устройствами отвечает подсистема синхронизации с медицинскими устройствами. За контроль своевременного сбора данных от пациентов и их обработку отвечает подсистема контроля состояния пациента. Эта подсистема состоит из двух основных модулей: модуль сбора данных о состоянии здоровья пациентов и модуль контроля состояния здоровья пациентов. Первый модуль контролирует своевременный сбор данных путем информирования пациентов о необходимости отправить данные системе мониторинга и проверки того, что пациент передал данные. Второй модуль предназначен для оценки полученных данных. Оценка состояния больного осуществляется путем применения набора правил, которые хранятся в базе знаний. Все правила в базе знаний сгруппированы по заболеваниям, причем каждое правило может быть применено в различных заболеваниях. Правила применяются в соответствии со стратегией управления, которая в общем виде состоит из следующих шагов [12]:

Шаг 1. Выбрать очередное правило из множества правил;

Шаг 2. Проверить выполнимость условия правила в текущем состоянии рабочей памяти;

Шаг 3. Если условие правила выполнено, поместить правило в конфликтное множество;

Шаг 4. Если множество применимых правил исчерпано, выбрать какое-либо правило из конфликтного множества правил и применить его.

Шаг 5. Перейти к шагу 1.

База правил реализована с помощью программного инструмента drools [13], позволяющего описывать и запускать правила любой сложности. Для работы правил в нем реализован интуитивно понятный и удобный язык описания правил.

Алгоритм анализа состояния больного работает следующим образом. Если в результате оценки состояния больного наблюдаются незначительное ухудшение, не требующее обращения к специалисту, то пациенту высылаются рекомендации о том, что нужно сделать для улучшения его состояния. Если состояние пациента требует обращения к врачу, то ему высылается уведомление о необходимости очной консультации со специалистом. Если возникает ситуация, требующая некоторых активных действий со стороны лечащего врача, то врач получает уведомления об этом. Все уведомления и рассылки осуществляются через подсистему уведомлений.

Для врача разработан интерфейс пользователя (врача), через который он может ознакомиться с данными состояния здоровья пациента. В отличие от интерфейса пользователя для пациента врачу предоставляется более полная информация о состоянии здоровья пациента, включая динамику изменений значений отдельных параметров. Через интерфейс пользователя (врача) специалист имеет доступ к различным шкалам, калькуляторам и другим инструментам, необходимым ему для работы с пациентом. Они подбираются в соответствии с заболеванием пациента, а результаты исследований и расчеты записываются в базу данных.

Редактированием базы знаний и карт пациента занимается эксперт с помощью подсистемы редактирования базы правил, предоставляет ему набор инструментов для создания, редактирования и тестирования правил, хранящихся в базе знаний. Подсистема редактирования карты пациента содержит набор инструментов, позволяющих эксперту редактировать отслеживаемые параметры пациента, создавать дневники, вводить шкалы и параметры, которые необходимы врачу для работы с пациентом.

Предложенная архитектура позволяет разрабатывать интерфейсы для работы врачей и экспертов с помощью web и мобильных технологий.

Выводы

В работе были описаны архитектура и методы работы интеллектуальной системы удалённого мониторинга состояния здоровья пациентов. Стоит отметить, что такой подход подходит и для наблюдения пациентов в стационарах. Для взаимодействия с пользователями можно использовать как web-интерфейсы, так и современные мобильные устройства (планшеты и смартфоны под ОС Android или iOS). Коммуникация между врачом и пациентом может быть реализована с помощью текстовых сообщений, голосовой или видеосвязи, напоминаний о лечебных процедурах, опросников и другими способами.

Литература

1. Holtz B., Lauckner C. Diabetes management via mobile phones: a systematic review // *Telemedicine and e-Health*. – 2012. – Т. 18. – №. 3. – С. 175-184.
2. Wang J. et al. Smartphone Interventions for Long-Term Health Management of Chronic Diseases: An Integrative Review // *Telemedicine and e-Health*. – 2014.
3. Persaud N. et al. Wellness for older adults: Usability and benefits of telehealth monitoring // *Proceedings of the Michael L. Gargano 11th Annual Student-Faculty Research Day*, Pace University, White Plains, NY. – 2013.
4. Archer N. et al. Personal health records: a scoping review // *Journal of the American Medical Informatics Association*. – 2011. – Т. 18. – №. 4. – С. 515-522.
5. Dixon R. F., Rao L. Asynchronous Virtual Visits for the Follow-up of Chronic Conditions // *Telemedicine and e-Health*. – 2014.
6. Lan M. et al. WANDA: An end-to-end remote health monitoring and analytics system for heart failure patients // *Proceedings of the conference on Wireless Health*. – ACM, 2012. – С. 9.
7. Doherty S. T., Oh P. A multi-sensor monitoring system of human physiology and daily activities // *Telemedicine and e-Health*. – 2012. – Т. 18. – №. 3. – С. 185-192.
8. Медархив [Электронный ресурс] // Медархив. 2015. URL: <http://medarhiv.ru/>. Дата обращения: 16.01.2015.
9. Компания «ФОБОС» [Электронный ресурс] // Система удаленного мониторинга. 2014. URL: <http://www.fobosmed.ru>. Дата обращения: 16.01.2015.
10. Монитор здоровья [Электронный ресурс] // Система удаленного мониторинга «Монитор здоровья». 2015. URL: <http://zdrav24.ru>. Дата обращения: 16.01.2015.
11. REMSMED [Электронный ресурс] // Система удаленного мониторинга REMSMED. 2015. URL: <http://www.fors.ru>. Дата обращения: 16.01.2015.
12. Осипов Г. С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.
13. Drools [Электронный ресурс] // Drools. 2015. URL: <http://www.drools.org/>. Дата обращения: 16.01.2015.

REMOTE MONITORING PATIENT'S HEALTH

Molodchenkov A.I., Suvorov R.E., Shelmanov A.O.

*Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences,
People's Friendship University of Russia, aim@isa.ru*

Abstract. *The paper presents architecture of the system for remote monitoring patient's health.*

Key words: remote monitoring, telemedicine, e-Health.

ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

Нгуен Зуй Тхань

Российский университет дружбы народов, nguyenduythanh1410@gmail.com

Представлен краткий обзор методов распознавания на основе 2D и 3D моделей лиц, приведены их преимущества и недостатки. Определено направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: распознавание лиц, метод, алгоритм, формирование признаков.

Введение

Задача распознавания лиц является актуальной, но до сих пор не решена в полном объеме. Разработанные методы и алгоритмы пока не дают стопроцентного результата в условиях переменного освещения, поворотов головы, вариации выражения лица и старения. Исследования продолжаются, при этом используются такие индивидуальные черты лица, как профиль, форма уха или расстояние между глазами. За последние годы было предложено много новых методов и алгоритмов распознавания лиц [1-6]. Практически все подходы характеризуются недостаточной точностью при наличии яркостных шумов на изображениях и движении объектов на видеопоследовательностях. При всем многообразии методов основной подход к решению проблемы состоит из следующих этапов: преобразование исходного изображения, выделение ключевых характеристик и осуществление классификации. Решение задачи классификации зависит от удачно выбранной системы признаков. Процесс построения признаков изображения до настоящего времени остается эвристической процедурой.

Методы распознавания лиц по 2D изображениям

Метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM) используется для решения задач классификации и регрессионного анализа. Применение SVM к решению задачи заключается в поиске гиперплоскости в признаковом пространстве, отделяющей классы изображений «лицо» и «не лицо». Недостатки: существенные временные затраты при настройке, необходимость большого объема памяти.

Алгоритм AdaBoost был успешно использован при решении задач поиска лиц на изображениях. Система поиска объектов на изображениях Viola-Jones Object Detector, основанная на AdaBoost, показывает высокую эффективность, как по уровню распознавания, так и по скорости работы. В качестве характерных признаков в простейшем случае можно использовать вейвлеты Хаара. Представляется целесообразным применение алгоритма для уменьшения размерности данных и выбора основных признаков. К основным преимуществам алгоритма AdaBoost относятся высокая эффективность распознавания и простота реализации. Недостатком является требование большого числа примеров для обучения.

Суть метода гибкого сравнения на графах (Elastic graph matching) сводится к эластичному сопоставлению графов, описывающих изображения лиц. Лица представлены в виде графов с взвешенными вершинами и ребрами. На этапе распознавания эталонный граф остается неизменным, в то время как другой деформируется с целью наилучшей подгонки к первому. В вершинах графа вычисляются значения признаков, чаще всего используют комплексные значения фильтров Габора или их упорядоченные наборы, которые вычисляются в некоторой локальной области путем свертки значений яркости пикселей с фильтрами Габора. Деформация графа происходит путем смещения каждой из его вершин на некоторое расстояние в определенных направлениях относительно ее исходного местоположения и выбора такой позиции, при которой разница между значениями признаков в вершине деформируемого графа и соответствующей ей вершине эталонного графа будет

минимальной. Недостатки: высокая вычислительная сложность процедуры распознавания, низкая технологичность при запоминании новых эталонов.

Среди нейронных сетей наилучшие результаты в области распознавания лиц показала сверточная нейронная сеть (СНС), которая является логическим развитием когнитрона и неокогнитрона. Успех обусловлен возможностью учета двумерной топологии изображения. Отличительными особенностями СНС являются локальные рецепторные поля, детектирование некоторых черт в любом месте изображения и иерархическая организация. Благодаря этому СНС обеспечивает частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Недостатки: добавление нового эталонного лица в базу данных требует переобучения сети на всем имеющемся наборе, есть проблемы, связанные с попаданием в локальный оптимум.

Скрытые Марковские модели (СММ) с дискретным временем используют статистические свойства сигналов и учитывают их пространственные характеристики. Элементами модели являются: множество скрытых состояний, множество наблюдаемых состояний, матрица переходных вероятностей, начальная вероятность состояний. При распознавании объекта ищется максимальная вероятность того, что последовательность наблюдений для данного объекта сгенерирована соответствующей моделью. Недостатки метода: необходимо подбирать параметры модели для каждой базы данных; алгоритм обучения только максимизирует отклик каждого изображения на свою модель, но не минимизирует отклик на другие модели.

При применении метода линейного дискриминантного анализа (Linear Discriminant Analysis, LDA) выполняется проекция пространства изображений на пространство признаков. Выбор проекции удовлетворяет условию минимизации внутриклассового и максимизации межклассового расстояния в пространстве признаков. LDA применяется для уменьшения размерности пространства. При этом создается обучающая последовательность изображений лиц, в которой известна принадлежность каждого изображения к одному из имеющихся классов. Недостаток: остается открытым вопрос о применимости при одновременном изменении ракурса и условий освещения.

Основной идеей применения метода главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) для распознавания лиц является введение понятия «собственных лиц» (eigenfaces), представляющих изображения лиц в виде набора главных компонент изображений. Процесс распознавания лиц заключается в сравнении главных компонент неизвестного изображения с главными компонентами всех известных изображений. Основные преимущества применения PCA проявляются при хранении и поиске изображений в больших базах изображений, а также при реконструкции изображений. Недостаток PCA: высокие требования к условиям съемки изображений.

Метод Виолы-Джонса позволяет распознавать лица в автоматическом режиме в системах реального времени. Метод инвариантен к цвету кожи и освещению. Метод использует признаки Хаара на стадии анализа изображений и классификатор AdaBoost (Adaptive Boosting) на стадии распознавания образов. Недостаток: возникают проблемы с округлением на изображениях низкого разрешения, которыми обычно пользуются для обеспечения реального времени.

Методы распознавания лиц по 3D изображениям

Метод UR3D основан на описании лиц с помощью деформированной модели. Модель захватывает индивидуальные детали лица и представляет эту 3D информацию в некоторой форме 2D, так называемой UV-параметризации. С помощью этой параметризации возможно дальнейшее сравнение данных с использованием вейвлетного анализа и спектральных коэффициентов. Процедура верификации в рассматриваемом подходе состоит из двух шагов: регистрация и идентификация. Сначала данные, которые приходят с сенсора, преобразуются в 3D полигональное представление. Затем происходит заполнение пропусков в районе глаз и бровей. Полученная модель

сглаживается, данные выравниваются к известному общему положению, далее модель лица сопоставляется входным 3D данным.

Метод LBP (Local Binary Patterns) описывает локальный текстурный паттерн с помощью бинарного кода. Он построен на пороговой классификации некоторой окрестности точки некоторого радиуса (обычно рассматривают 8 соседних пикселей). Для каждой области строится гистограмма подобных наборов и, таким образом, описывается лицо. В случае 3D изображений алгоритм немного меняется для описания внутренней геометрии, при этом снижается влияние эффекта от изменения выражения лица. На стадии обучения для изображений применяется спектральная регрессия.

Метод Automatic asymmetric 3D-2D Face Recognition использует 3D модели лица для регистрации и 2D изображения лица для идентификации, что делает его уникальным. Подход состоит из двух отдельных действий: 2D-2D на основе разрезанного классификатора представления; 3D-2D на каноническом корреляционном анализе. Обе соответствующие оценки объединяются для окончательного решения. По сравнению с традиционными методами 2D распознавания предложенный асимметричный метод распознавания лица обеспечивает лучшую производительность, и по сравнению с основанными на 3D моделях методами, имеет более низкую сложность вычислений.

Выводы

Проведенный анализ современных методов и алгоритмов распознавания 2D и 3D лиц показал, что существующие алгоритмы обладают как преимуществами, так и недостатками. В настоящее время проблема распознавания лиц не решена до конца и требует дополнительных исследований. Перспективным направлением, на наш взгляд, является распознавание лиц на основе 3D инвариантов. Работа выполняется в рамках проекта «Разработка методов распознавания объектов на основе 3D моделей и инвариантов к аффинным и яркостным преобразованиям с применением высокопроизводительных вычислений» по Программе ОНИТ 1 РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

Литература

1. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц. – <http://habrahabr.ru/company/synesis/blog/238129>
2. *Goswami G., Bharadwaj S., Vatsa M., Singh R.* On RGB-D Face Recognition using Kinect. – <https://research.iiitd.edu.in/groups/iab/PID2857163.pdf>
3. *Манолов А.И., Соколов А.Ю., Степаненко О.В.* и др. Некооперативная биометрическая идентификация по 3D-моделям лица с использованием видеокамер высокого разрешения – http://www.graphicon.ru/proceedings/2009/conference/se8/139/139_Paper.pdf
4. *Чанг Б.Т.Т., Хоанг Ф.Н., Спицын В.Г.* Распознавание лиц на основе применения метода Виолы-Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент. – Известия Томского политехнического университета, №5, т.320, 2012, с.54-59.
5. *Местецкий Л.М.* Математические методы распознавания образов / Л.М. Местецкий. – М.: МГУ, ВМиК, 2002–2004. – 85 с.
6. *Chellappa R., Wilson C.L., Sirohey.* Human and Machine Recognition of Faces: a survey. – Proc. of the IEEE, Vol. 83, 1995, pp. 705-740.

REVIEW AND ANALYSIS THE METHODS FOR FACE RECOGNITION

Nguyen Duy Thanh

Peoples' Friendship University of Russia, nguyenduythanh1410@gmail.com

Submit an overview of the methods of pattern recognition based on 2D and 3D models. Submit their advantages and disadvantages. Identify areas for further research.

Keywords: face detection, method, algorithm, the formation of features.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УЧЁТА КОМПЬЮТЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ 1С

Неверов М.П., Змеев Д.О.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
mi.neveroff@gmail.com, zndeol@gmail.com*

В данной работе рассматривается задача разработки системы учёта оборудования и ПО для технического отдела ВУЗа, приведена модель данных.

Ключевые слова: программная инженерия, автоматизация деятельности, экономическая система, UML, 1С.

Введение

В настоящее время, во многих организациях важной ролью обладает техническое и программное обеспечение рабочих мест и необходимых мероприятий. Однако, с учётом особенностей ВУЗов задача по эффективному созданию, сопровождению и улучшению компьютерной среды становится сложнее, так как активно проводится политика внедрения компьютерных технологий во все сферы жизни подобных организаций, но при этом любая закупка или приобретение техники или лицензий на программное обеспечение сопровождается бюрократическими издержками.

Для решения подобных задач зачастую создаются специализированные департаменты в рамках учебного заведения, занимающиеся исключительно техническим сопровождением, в ответственности которой остаётся материальная база, которая требует учёта, обновления, ремонта, передислокации и актуализации. Одной из проблем слежения за материальной базой является учёт выданных единиц техники, особенно в вопросах дальнейшего обслуживания на местах. Достаточно типичная ситуация, когда из-за того, что системный блок пришёл в негодность его необходимо заменить, а для этого также необходимо восстановить лицензии на всё ПО, что было установлено на сломанном системном блоке. Таким образом, одним из вопросов технического отдела является создание своей системы для контроля и учёта техники и ПО.

В рамках данной работы планируется разработать систему, которая позволила бы обеспечить наиболее полное покрытие процесса сопровождения технической базы учреждения, от поступления нового оборудования или программного обеспечения и до мониторинга лицензионных ключей на машинах пользователей или замены комплектующих. Данную систему планируется разрабатывать на основе конфигурации 1С 8.3

Анализ требований

При анализе требований было определено, что для учёта оборудования и ПО, система должна обладать следующим функционалом

1. Получение, обработка и удовлетворение заявок на обслуживание оборудования от конечных пользователей.
2. Постановка на учет, снятие с учета оборудования/программного обеспечения.
3. Изменение ключевых параметров оборудования, таких как: местоположение, статус обслуживания, статус использования и прочие.
4. Получение отчета о составе программного обеспечения на единице оборудования на определенную дату.

Функциональные возможности 2-4 фактически относятся к непосредственной работе технического отдела и используются для регулирования и учёта действий, совершаемых с техникой и ПО. Однако, в качестве основного сценария подобных работ, выступает получение отделом различного рода заявок от сотрудников учреждения. Примерами

таких заявок являются: устранение некоторой неисправности в работе сети, диагностика и починка компьютера, организация нового рабочего места, массовая выдача техники и ПО. Система подачи и исполнения заявок, является критичным моментом при реализации разрабатываемой системы, эффективная реализация которого позволит использовать подобную систему и как вспомогательный инструмент при подготовки отчетности и определения планов закупок на следующий период.

Проектирование модели системы

С учётом того, что данная система в большей степени относится к структурному решению контроля и учёта, то наибольшей сложностью является определения модели хранения данных, а также выбор платформы, на основе которой данная система будет разрабатываться.

В качестве платформы авторами предлагается использовать 1С, так как объектная модель наиболее полно описывает необходимые нюансы данной системы. В отличие от обычной базы данных, которую можно было бы использовать для решения задачи учёта доступных техники и ПО, также стоит задача дальнейшего сопровождения, что усложняет набор механизмов, и реализовывать их с нуля не эффективно.

В качестве же модели данных разрабатываемой системы предлагается следующий вариант (рис. 1)



Рис. 1. Диаграмма классов модели системы

На данной диаграмме стереотипы означают использования соответствующих объектов 1С, поскольку 1С в качестве модели имеет объектную структуру, то интерпретация связей между классами не изменяется. Структурная составляющая – хранение и статистика, реализуется при помощи регистров и справочников, а динамика и изменение данных при помощи документов и их проведения.

Заключение

На настоящий момент времени создана модель системы, позволяющей значительно облегчить процесс обслуживания подотчетной технической базы.

Литература

1. М. Г. Радченко Практическое пособие разработчика 1С Предприятие 8.3 – ООО "1С-Паблишинг", ISBN 978-5-9677-1147-3, 874 стр., формат А5 (60х90 1/16).

DEVELOPMENT OF ACCOUNTING SYSTEM HARDWARE AND SOFTWARE BASED ON 1C

Neverov M.P., Zmeev D.O.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

mi.neveroff@gmail.com, zmdeol@gmail.com

We develop the system for IT-department of university. The system used for account of hardware and software of university.

Key words: software engineering, UML, accounting systems, 1C, automation of accounting.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК

Позняк К.С.

*Российский университет дружбы народов,
kirill.poznyak@gmail.com*

В статье рассматривается процесс моделирования плана снабжения компании с использованием системы управления цепочками поставок.

Ключевые слова: бизнес-процесс, моделирование, имитационная модель, цепочки поставок

Введение

На данный момент одной из актуальных задач моделирования процессов снабжения является задача формирования оптимального плана снабжения предприятия. Несмотря на внешнюю простоту, подбор оптимальной стратегии управления планом снабжения является достаточно сложной и трудоемкой задачей. Для решения этой задачи могут быть использованы методы имитационного моделирования.

В статье рассматривается реализация имитационной модели системы управления цепочками поставок.

Основные парадигмы имитационного моделирования

Моделирование – метод решения задач, при использовании которого исследуемая система заменяется моделью - более простым объектом, описывающим реальную систему. Сегодня получили широкое распространение системы имитационного моделирования. Имитационное моделирование – разработка компьютерных динамических моделей и постановка экспериментов на них. Существует несколько основных подходов имитационного моделирования[1,2]: системная динамика, дискретно событийное и агентное моделирование

Системная динамика[1] - парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере.

Дискретно-событийное моделирование[1] - подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие, как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. Дискретно-событийное моделирование имеет огромную сферу приложений - от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем. Этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования производственных процессов

Агентное моделирование[1] — метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. В отличие от других парадигм поведение агентов определяется на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу вверх»). Агентное моделирование используется для моделирования сложных систем, состоящих из большого количества взаимодействующих подсистем. Также агентное моделирование хорошо применимо в случае, когда слишком трудно или невозможно формализовать поведение системы на глобальном уровне.

Описание модели процесса снабжения предприятия

Рассмотрим модель централизованного процесса снабжения предприятия, которая позволит:

- определить оптимальное значение ключевых параметров процесса снабжения, таких как:
 - оптимальный размер заказа для удовлетворения спроса;
 - пороговый уровень, при котором необходимо делать заказ;
- визуально отобразить процесс перемещения складских запасов.

Объект моделирования характеризуется следующими параметрами:

- Всего восемь конечных складов, один региональный склад и один центральный склад.
- Спрос генерируется нормальным распределением.
- В случае потребности в запасе конечный склад размещает заказ у регионального склада, а региональный у центрального склада и заказ транспортируется на конечный склад.
- Конечный и региональный склад формирует заказ при достижении определенного порогового уровня запаса.
- Срок доставки зависит от расстояния между складскими подразделениями.
- Ставка на хранение одной единицы запаса на складском подразделении в течение одного периода равно $a[i]$ единиц, где i – порядковый номер складского подразделения.
- Ставка на транспортировку зависит от расстояния между складскими подразделениями и составляет b единиц за c единиц пройденного расстояния от регионального складского подразделения до конечного и d единиц от центрального складского подразделения до регионального.
- Запасы центрального склада приняты неограниченными

В системе снабжения могут быть три типа заказов для удовлетворения спроса:

- заказ инициатора спроса у конечного склада
- заказ конечного склада у регионального склада
- заказ регионального склада у центрального склада.

У конечного склада и регионального склада могут быть три состояния:

- заказ не может быть выполнен
- заказ может быть выполнен
- заказ может быть выполнен, но уровень запаса ниже порогового.

В первом и третьем состоянии вверх по цепочке поставок формируется новый заказ, если заказ уже не находится в пути. Каждый день генерируются восемь значений спроса – по одному для каждого конечного склада. При каждом событии проверяется состояние всех элементов цепи от конечного склада до центрального склада. Так как в один день региональному складу могут поступить заказы от нескольких конечных складов, и не во всех случаях имеющегося запаса хватит для обслуживания спроса.

Спрос генерируется ежедневно. Сначала проверяется условие, может ли заказ быть выполнен. Если спрос превышает запас, то записываются данные о дефиците. Проверяется условие, что заказ не находится в пути. Если оно выполняется, формируется заказ региональному складу в размере величины Оптимального размера заказа. Если запас позволяет обслужить спрос, то величина запаса уменьшается на величину спроса. После этого проверяется условие, не достигнут ли Пороговый уровень запаса. Если текущий запас ниже величины Порогового уровня и заказ не находится в пути, формируется новый заказ в размере величины Оптимального размера заказа. Проверка нахождения заказа в пути нужна потому, что срок доставки заказа больше, чем интервал между генерациями спроса.

Отобразим данный процесс с помощью диаграммы[2] (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма процесса снабжения предприятия

Заключение

Не смотря на то, что рассмотренная модель упрощена и не учитывает многие факторы, она полностью соответствует нашей постановке задачи. В дальнейшем можно провести некоторые эксперименты или ввести дополнительные параметры и изучить, как они влияют на итоговое распределение запасов.

Литература

1. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7:.. — СПб.: ВАС, 2014. — 432 с.
2. Маликов Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 : учеб. пособие. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.

SIMULATION OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Poznyak K.

*Peoples' Friendship University of Russia,
kirill.poznyak@gmail.com*

This article deals with the simulation of supply plan with the use of supply chain management.

Key words: business process, modeling, simulation model, supply chain.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ

Мортеза Хейдару

Российский университет дружбы народов, Mh_rusiran@mail.ru

В работе оценены преимущества разработки информационной системы на базе концептуальной объектно-ориентированной многомерной модели, также рассмотрены основные понятия CWM (Common Warehouse Metamodel).

Ключевые слова: Объектно-ориентированная многомерная модель, многомерное моделирование, метамоделирование, метаданные.

Введение

Объектно-ориентированное (ОО) моделирование является важным методом, используемым при проектировании баз данных, поскольку оно рассматривает систему как совокупность взаимодействующих объектов, которые сочетают данные и поведение. ОО модель реализует описание информационного содержимого и поведения системы. В ряде случаев используется подход, при котором имеющаяся информационная модель обогащается ОО компонентами, но правильный подход – последовательное построение ОО модели в начале разработки. ОО моделирование позволяет идентифицировать объекты и осуществлять коммуникации между ними, поддерживать абстракцию данных, наследование и инкапсуляцию. При этом желательно производить построение модели метаданных для описания многомерных данных в соответствии со стандартом CWM.

Объектно-ориентированная многомерная модель

В объектно-ориентированном многомерном моделировании данные структурированы в фактах и мерах. Факт количественно выражает свойства наблюдаемого явления и описывается с помощью набора атрибутов, называемых мерами или атрибутами факта, которые содержатся в ячейках в кубе данных. Этот комплекс измерений основан на наборе мер, которые определяют воспроизведение деталей, принятое для представления фактов. С другой стороны, меры описывают контекст, в котором факты должны быть проанализированы. Математическая объектно-ориентированная многомерная модель задается функцией $F(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n)$, где F выражает название факта, а (D_1, \dots, D_n) является списком измерений. Каждое измерение $D_i(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$ состоит из имени измерения D и списка атрибутов (A_1, \dots, A_n) . При этом атрибут A_i является именем роли измерения D в отношении некоторого аспекта наблюдаемого явления. D называется доменом A_i и обозначается $dom(A_i)$.

Рассмотрим объектно-ориентированную многомерную модель на примере системы продаж организации, структура которой показана на рис. 1. На представленной диаграмме факт выражается через класс «Продажа» и анализируется по трем параметрам: „Продукт“, „Время“ и „Рынок“.

Факты рассматриваются как объекты классов, которые связаны через агрегацию (частный случай ассоциации, в которых связь ассоциации между классами проявляется как „часть-целое“, и части являются деталями целого) размерности N . При этом может быть сформирована классификационная иерархия, каждый уровень которой образует класс. Эти классы формируют ориентированный ациклический граф, начиная с класса, описывающего измерение (класс уровня 2). Иерархии рассматривается как ассоциации. Как видно на рис. 1, ориентированный ациклический граф содержит альтернативные пути, представляющие несколько классификационных иерархий. Измерения можно систематизировать по принципу обобщение/специализация.

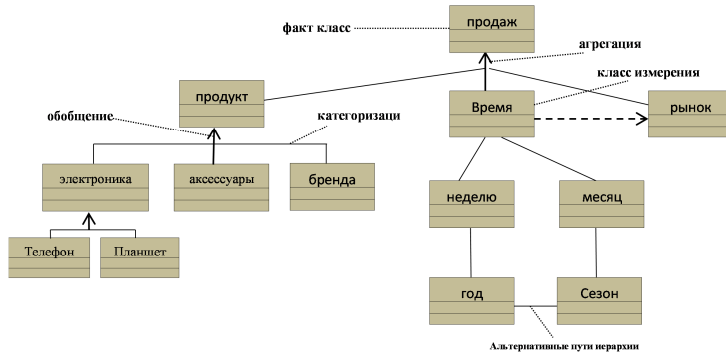


Рис. 1. Объектно-ориентированная модель системы продаж

Стандарт описания многомерных информационных систем: Common Warehouse Metamodel (CWM)

Хранилища данных, многомерные базы данных, а также инструменты OLAP могут быть построены в результате многомерного моделирования. В последнее время было предложено несколько подходов, позволяющих на концептуальном уровне закладывать базовые свойства многомерного моделирования. Соответствующие концептуальные модели вместе с моделями управления метаданными формируют инструментальную базу разработки многомерных информационных систем. Тем не менее, большое разнообразие моделей метаданных и управления метаданными оправдывает необходимость принятия четких стандартов для метаданных, которые позволили бы различным инструментам обмениваться информацией без необходимости преобразования данных. В данной работе мы рассмотрим стандарт Common Warehouse Metamodel (CWM), чтобы представить основные требования к метаданным при проектировании информационных систем на концептуальном уровне. В CWM многомерная модель данных описывается в рамках подхода OLAP.

Определение: Common Warehouse Metamodel (CWM) является открытым промышленным стандартом консорциума OMG (Object Management Group) для интеграции хранилищ данных с инструментами бизнес-анализа, основанными на использовании общих метаданных. Этот стандарт основан на трех ключевых промышленных стандартах:

- MOF (Meta Object Facility) – один из стандартов метамоделирования OMG, определяющий расширяемую инфраструктуру для описания модели метаданных, а также предоставляющий инструментарий с программным интерфейсом для хранения и доступа метаданных в репозитории;
- UML (Unified Modeling Language) – стандарт OMG, который определяет универсальный язык OO моделирования, поддерживаемый в значительном диапазоне графических средств проектирования;
- XMI (XML Metadata Interchange) – стандарт OMG для обмена метаданными с помощью языка XML, который может использоваться для описания любых метаданных в случае если их метамодель может быть выражена с помощью MOF.

Представленные три стандарта CWM вместе с фундаментальными технологиями проектирования обеспечивают возможность описания хранилищ данных. Также эти три стандарта содержат описание принципиальных основ архитектуры метаданных репозитория метаданных, что показано ниже на рис. 2.

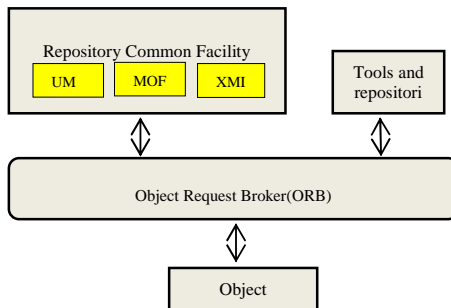


Рис. 2. Диаграмма использования стандартов CWM при разработке архитектуры хранилищ данных

UML используется в трех различных ролях: во-первых, в качестве языка моделирования и графической нотации; во-вторых, в качестве основы для CWM, из которой берутся классы и ассоциации, которые наследуются (в частности подмножества пакета Object Model); наконец, UML метамодель, в частности, ее Object Model пакет, используется в качестве ОО метамодели для представления ресурсов ОО данных в CWM.

Заключение

В заключение сформулируем основные результаты работы. Рассмотрена концептуальная объектно-ориентированная модель многомерного представления и анализа данных. Эта модель является языком описания метаданных для Информационно аналитических систем и Хранилищ данных.

Литература

1. Anjana Gosain-Object Oriented Multidimensional Model for a Data Warehouse with Operators - International Journal of Database Theory and Application Vol. 3, No. 4, December, 2010
2. http://www.service-architecture.com/articles/web-services/common_warehouse_meta-model_cwm.html

CONCEPTUAL OBJECT-ORIENTED MULTIDIMENSIONAL MODEL

Morteza Heydari

Peoples' Friendship University of Russia, Mh_rusiran@mail.ru

The paper proposes the benefits of developing an object-oriented conceptual multidimensional model.

Key words: Object-oriented multidimensional model, multidimensional modeling, metamodeling, metadata.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ, СТРУКТУР ДАННЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ВИЗУАЛЬНОМУ ПОДОБИЮ

Хромов Н.А.

Российский университет дружбы народов nikchromov@gmail.com

Предложен метод поиска изображений по визуальному подобию, основанный на анализе гистограмм изображений мерами сходства.

Ключевые слова: поиск изображений, цветовые составляющие, анализ гистограммы, меры сходства

Введение

В современном мире в связи с развитием информационных технологий и сети Интернет, возрос интерес к задачам информационного поиска, классификации, кластеризации. Классическим примером является задача распознавания образов, в которой выделяются 2 направления.

1. Изучение способностей к распознаванию, которыми обладают живые существа объединение и моделирование их.
2. Развитие теории и методов построения устройств, предназначенных для решения отдельных задач в прикладных целях.[1]

Во втором направлении можно выделить задачу поиска изображения по визуальному подобию. Существующие варианты решения этой задачи широко применимы в медицине, обеспечении правопорядка, организации поиска похожих изображений, каталогизации, поиске ресурсов и т.д. Т.к. существующие варианты дают решения, которые не удовлетворяют требованиям высокой полноты и точности, сложны в настройке и реализации на разных выборках данных, то существует необходимость разработки новых методов.

Разрабатываемый алгоритм поиска по визуальному подобию

Пусть имеется большая коллекция изображений, для которой необходимо установить визуальное соответствие изображений между собой. Для этого на этапе предварительной обработки размер всех изображений в коллекции приводится к норме. Размер здесь определяется либо экспериментально (для каждой коллекции изображений), - либо устанавливается системой как «квадратный». Это значит, что длина изображения устанавливается равной ширине для каждого изображения.

На следующем этапе происходит разбиение каждого изображения на квадраты. Количество квадратов, выделенных из каждого изображения варьируется от 4 до 1024 для изображения. В каждом разбиении изменяется параметр перекрытия для соседних квадратов (0-50%). Так же здесь возможно пренебрежение квадратами, образующими рамку для изображения. На рис. 1. показаны два варианта (10% и 20%) областей с перекрытием для одного центрального и одного крайнего квадрата.

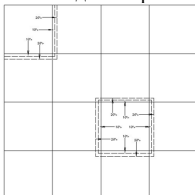


Рис. 1. Анализируемые области

На третьем этапе для каждого квадрата строится гистограмма цветов. Это может быть как стандартная RGB гистограмма (256, 256, 256), так и увеличенная(уменьшенная) гистограмма.

После получения всех гистограмм (для разных случаев предварительной обработки, разбиения на квадраты с различным перекрытием) производится сравнение гистограмм мерами сходства.

$$Hem(v^1 v^2) = \frac{\sum_{i=0}^n |v_i^1 - v_i^2|}{\sum_{i=0}^n (v_i^1 + v_i^2)} \quad (1)$$

Формула(1) - нормированная мера Хемминга, указывающая, где значения гистограмм в двух одинаковых позициях различны.

$$\cos(v^1 v^2) = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^1 * v_i^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^1{}^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2{}^2}} \quad (2) [2]$$

Формула (2) - косинусная мера сходства.

$$\rho_E(v^1 v^2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_i^1 v_i^2)^2} \quad (3)$$

Формула(3) - евклидово расстояние.

На основании результатов, полученных в результате выполнения алгоритма возможно установление порогового значения для отделения классов похожих и непохожих изображений (для каждого типа параметров).

Выводы

Получив результаты для большого количества изображений, можно оценить эффективность алгоритма и сравнивать его с существующими на данный момент, а так же использовать как альтернативный в уже существующих системах с целью повышения точности аналитики.

На данном этапе работы создана экспериментальная система, которая выполняет все вышеописанные шаги, после чего вручную ведется подбор пороговых значений для сильно и слабо похожих изображений и оценивается эффективность выполнения.

В дальнейшей работе предполагается:

- Оптимизация алгоритма на разных уровнях выполнения
- Разработка структур данных для хранения и быстрой индексации гистограмм
- Сравнение данного метода с другими с уже существующими по к скорости выполнения, точности и универсальности

Литература

1. Дж. Ту, Гонсалес "Принципы распознавания образов". - "Мир" Москва, 1978. - 414с
- 2 Schar Hanno "Optimal operators in digital image processing", 2000

THE DEVELOPMENT OF ALGORITHMS, DATA STRUCTURES AND SOFTWARE TOOLS FOR IMAGE SEARCH BASED ON VISUAL SIMILARITY

Khromov N.A

Peoples' Friendship University of Russia, nikchromov@gmail.com

The method of image processing based on histogram analysis and using vector space metrics is proposed.

Key words: image processing, vector-space metrics, histogram analysis, image recognition

К ВОПРОСУ О ДВИЖЕНИИ ДОКУМЕНТА

Черчик К., Толмачев И.Л.

Российский университет дружбы народов, cherchik.k@gmail.com, tolmachevil@mail.ru

В статье рассматривается задача организации движения документа в системе электронного документооборота.

Ключевые слова: система электронного документооборота, информационные технологии, права доступа.

Введение

Основным назначением любой системы электронного документооборота (СЭД) является организация движения документа в системе, которая образует жизненный цикл документа. Данный цикл состоит из нескольких этапов: инициализации, редактирования, согласования, принятия решения и регистрации. У каждого продукта СЭД представленного на рынке ИТ-индустрии свои подходы к организации маршрута движения документа в системе [1]. При рассмотрении современных СЭД становится явным один общий существенный недостаток. В процессе создания маршрута на каждом этапе необходимо указать конкретного участника системы или исполняющую обязанности роль. При этом в обоих случаях могут возникать проблемы. При замене участника на маршруте необходимо будет перенастраивать маршрут, чтобы жизненный цикл документа был реализован. Этот процесс совершается вручную администратором системы. Это увеличивает финансовые издержки и повышает стоимость содержания СЭД [1]. Некоторые производители СЭД пытаются избежать подобных проблем, указывая на маршруте не конкретного участника, а исполняющую роль. В этом случае, если в системе приходится более одного участника на роль, документ приходит сразу нескольким участникам, которым назначена эта роль. При этом не каждый документ может быть предназначен всем участникам.

Жизненный цикл абстрактного документа

Жизненный цикл абстрактного документа состоит не более, чем из пяти этапов (см. рис. 1). Этап – ступень в развитии проекта документа, имеющая свои качественные особенности. Каждый этап заканчивается одной из четырех функций (Да; Нет; Отложить или Возвратить, причем последняя требует обязательного заполнения комментария) которые запускаются нажатием на соответствующие кнопки.

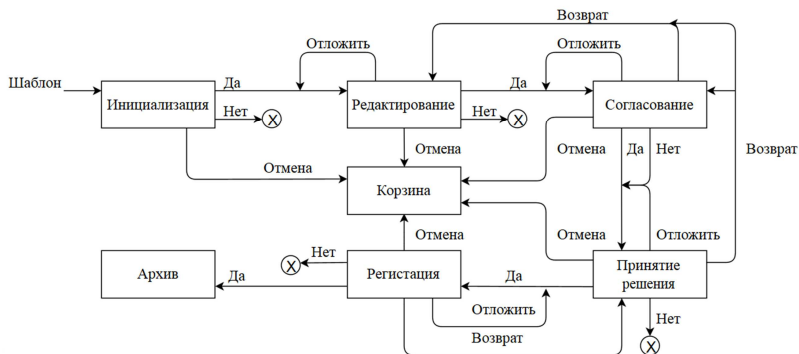


Рис. 1. Жизненный цикл абстрактного документа

1. Инициализация. Изначально существует лишь шаблон документа [2]. Инициализация проекта документа из шаблона начинается либо по воздействию пользователя, либо автоматически. При этом пользователю доступна функция «Отмена», позволяющая отменить инициализацию документа. При успешной инициализации вручную, проект переводится на следующий этап функцией «Да».

2. Редактирование. Этап внесения изменений в проект документа или заполнения тех его элементов, которые разработчик шаблона документа посчитал не возможными для заполнения автоматически. Редактирование проекта документа можно отложить или отменить (удалить), функции «Отложить» и «Отмена». Так же доступна функция «Да», отправляющая проект документа на этап согласования.

3. Согласование. Этап, на котором ответственный пользователь выражает свое мнение по проекту документа [1]. На этом этапе возможно отложить или же удалить проект документа посредством отмены, функции «Отложить» и «Отмена». Каким бы ни был результат согласования «Да» или «Нет», проект документа переходит на этап принятия решения. Пользователю также доступна функция «Возврат».

4. Принятие решения. Этап, на котором ответственный пользователь принимает решение о необходимости документа. При необходимости внесения изменений, проект документа возвращается на этап редактирования, посредством функции «Возврат» или же на этап согласования опционально. Функция «Да», отправляет проект документа на этап регистрации. Так же доступны функции «Отложить» и «Отмена».

5. Регистрация. По регламенту организации ответственный пользователь определяет проект документа как полноценный документ [2]. Электронная версия документа отправляется в Базу данных, функция «Да». Так же доступны функции «Возврат» (на этап Принятия решения) и «Отложить». Удаление осуществляется функцией «Отмена».

Метод конкретизации документа участнику

Мы уже говорили о недостатках прямой связи «конкретный документ – конкретный участник» [3]. Поэтому мы предлагаем метод конкретизации документа к участнику, определяя его права доступа связью «абстрактная роль – шаблон документа» (см. рис. 2).

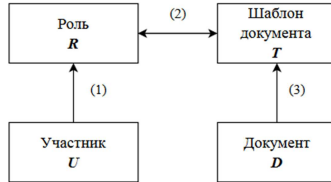


Рис. 2. Метод конкретизации документа участнику

$U = \{U_i\}, U_i$ – конкретный участник. $U_i = (u_{i,1} \dots u_{i,n})$, где $u_{i,j}$ – характеристика конкретного участника. $R = \{R_x\}, R_x$ – абстрактная роль участника. $R_x = (r_{x,1} \dots r_{x,m})$, где $r_{x,j}$ – характеристика абстрактной роли. $R_U \subset R$ – множество ролей конкретного участника. $D = \{D_k\}, D_k$ – конкретный документ. $D_k = (d_{k,1} \dots d_{k,p})$, где $d_{k,j}$ – поле конкретного документа. $T = \{T_z\}, T_z$ – абстрактный шаблон документа. $T_z = (t_{z,1} \dots t_{z,v})$, где $t_{z,j}$ – поле абстрактного шаблона. Каждому $d_{k,j}$ ставится в соответствие домен $dom(t_z)$.

Выполняя вход в систему управления движением документов, участнику предлагается выбрать одну из доступных ему ролей (при наличии единственной роли, выбор отсутствует).

Пусть, $U_i \in U$ – конкретный участник, тогда существует $R_{U_i} = \{R_{x,1} \dots R_{x,n}\} \subset R$, т.е. определено отображение $UR(U, R)$. Так как зафиксирована $R_x \in R_{U_i}$, то система предлагает для использования множество шаблонов, доступных для этой роли. Пусть, $T_{R_x} \subset T : T_{R_x} = \{T_1 \dots T_m\}$ множество шаблонов, для которых учтена роль R_x , в каждом шаблоне для каждого этапа определена исполняющая роль, если $R_x \in t_{z,j}$, где $t_{z,j} \in T_z, z = \overline{1, m}$. Далее, для каждого документа система по отображению $TD(T, D)$ определяет шаблон документа и, следовательно, для этапа, на котором находится этот документ, множество ролей, а с учетом конкретных данных документа, доступность этого документа конкретному пользователю. Пусть $D_{T_z} = \{D_1 \dots D_p\} \subset D$ – множество документов подходящих множеству шаблонов T_{R_x} . Если в документе D_k существуют такие значения $d_{k,j} \in \text{dom}(t_z)$, которые совпадают со значениями $U_i = \{u_{i,1} \dots u_{i,n}\} \in U$ и зафиксированная роль $R_x \in t_{z,j}$, то пользователь U_i получает право доступа к D_k .

Заключение

Представленный метод конкретизации позволяет автоматически, на основе прохождения определенных документов изменять соотношение $UR(U, R)$, решает проблемы связанные с излишней персонификацией маршрута движения документа. Позволяет устранить необходимость в постоянной настройке маршрутов при изменениях в составе участников системы, повышая уровень автоматизации СЭД.

Литература

1. Ильина Т.Н., Логинова А.Ю., Романов Д.А. Правда об электронном документообороте – М., ДМК, 2002 – 224 стр.
2. Кузнецов, С.Л. Делопроизводство на компьютере. Компьютерные технологии в производстве. – 3-е изд., доп. – М., ЗАО «Бизнес-школа», 2003 – 625 с.
3. Петров В.А., Толмачев И.Л. Элементы формализации описания логики развития модели предприятия. Труды 11 национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием – М., URSS, 2008. с.339-с.344.

APPROACH TO THE ORGANIZATION OF DOCUMENT FLOW

Cherchik K., Tolmachev I.L.

Peoples' Friendship University of Russia, cherchik.k@gmail.com, tolmachevil@mail.ru

The article deals with the task of organizing the movement of documents in electronic document management system.

Key words: electronic document management system, information technology, access rights.

СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕЗАУРУСА НА ОСНОВЕ СБОРА И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ ЭНЦИКЛОПЕДИИ «ВИКИПЕДИЯ»

Ядринцев В.В.

Российский университет дружбы народов, vvyadrincev@gmail.com

В работе рассмотрены различные методы построения онтологий, выполнен сравнительный анализ существующих способов представления онтологий, извлечено оглавление Википедии для дальнейшего его использования.

Ключевые слова: онтология, тезаурус, Википедия, интеллектуальные системы.

Введение

С появлением интернета и развитием поисковых систем возникла задача сбора, извлечения информации и формирования на этой основе баз знаний для дальнейшего использования этой информации в самых различных целях. В настоящее время одним из часто используемых способов хранения знаний является семантическая сеть – информационная модель предметной области, имеющая вид ориентированного графа, вершинам которого соответствуют объекты предметной области, а ребра (дуги) задают отношения между ними. Объектами могут быть понятия, события, процессы. Существуют специальные языки для представления семантических сетей в информационных системах.

Для представления знаний существуют различные искусственные языки и нотации, основанные на логике, легко читаемые человеком и удобно обрабатываемые машиной. Один из таких языков - OWL [5].

Для любой предметной области не существует единственно правильной онтологии. Проектирование онтологии – это творческий процесс. Каждый человек будет создавать онтологию, полагаясь на свою точку зрения, на свое видение рассматриваемой предметной области. «Две онтологии, разработанные разными людьми, никогда не будут одинаковыми» [4]. Несомненно, на принятие решений при проектировании онтологии, кроме точки зрения разработчика, влияет еще и предназначенность создаваемой онтологии. То есть потенциальные приложения, в которых будет использоваться разработка, и понимание предметной области разработчиком – ключевые моменты при принятии решений во время моделирования онтологии. Говоря о качестве созданной онтологии, стоит отметить, что реальное качество оценить можно только путём использования в приложениях, для которых онтология была создана.

Задачей работы является построение тезауруса на основе гипертекстовых ссылок между страницами Википедии. Для решения этой задачи необходимо сначала загрузить оглавление Википедии и извлечь все названия статей, а также ссылки на все эти статьи. Это нужно сделать для того, чтобы по полученному списку загружать статьи и далее выделять сущности, упоминаемые в этих статьях. В результате должен быть построен ассоциативный словарь: `name_of_article -> url_of_article`. Полученный словарь будет использован для исследования каждой сущности и выделения связей между ними на основе сбора информации из страниц «Википедии».

Методы построения и сравнительный анализ

Методы построения онтологий делятся на следующие:

1. «С нуля»
2. Дополнение существующих онтологий
3. Слияние онтологий
4. Комбинированные методы

В работе рассмотрены следующие методы построения онтологий «с нуля» [3] :
Метод Сус (методология Сус содержит большой объем знаний "здорового смысла"

(common sense knowledge)); *Метод Ушолда и Кинга* (Uschold and King's method – основан на разработке Enterprise Ontology, т.е. онтологии для моделирования процессов на предприятии); *Методология Грюнингера и Фокса* (Grüninger and Fox's methodology) Методология основана на опыте разработки онтологии TOVE (Toronto Virtual Enterprise Project [6]), предназначенной для области моделирования бизнес-процессов и бизнес деятельности; *Метод KACTUS* (Проект KACTUS выполнялся в рамках европейского проекта Esprit. Одной из целей проекта является исследование возможности повторного использования знаний в сложной технической системе и роль онтологии в поддержке этого); *Методология METHONTOLOGY* (метод обеспечивает конструирование онтологий на уровне знаний, базируется на основных видах деятельности, выявленных из процесса разработки программного обеспечения и методологии инженерии знаний, включает идентификацию процесса разработки онтологий, жизненный цикл, основанный на эволюции прототипов, и отдельные приемы для выполнения каждой деятельности); *Метод SENSUS* (Онтология SENSUS предназначена для использования в обработке текстов на естественном языке. Разработана в группе естественного языка института информационных наук ISI (Information Sciences Institute) для поддержки концептуальной структуры широкого назначения при разработке машинных трансляторов); *Методология On-To-Knowledge* (ОТК) (Методология ОТК предлагает разделять два процесса: первый – внедрение управления знаниями – решения в деятельность организации и его сопровождение (называемый авторами мета-процессом, «Knowledge Meta Process»), второй – это использование внедренного управления знаниями – решения (так называемый, цикл (преобразования) знаний, «Knowledge Process»)).

Наиболее гибким и полным методом *по стратегии конструирования* является методология On-To-Knowledge. Это можно объяснить тем, что *жизненный цикл* онтологии ОТК имеет нарастающий тип с меняющимися прототипами (все остальные методы имеют либо одно, либо другое); *Стратегия отношений* в приложении зависит именно от приложения; *Стратегия выявления понятий* не ограничивается одним способом, а может быть и сверху-вниз, и снизу-вверх; *Использование основной онтологии (ядра онтологии)* зависит от имеющихся ресурсов (может использоваться, может и не использоваться).

Все рассматриваемые методологии и методы разработки онтологий не дают информации о системах управления проектом (Project Management Processes), кроме метода ОТК.

Стоит отметить, что все методы и методологии нашли свое применение.

Сбор и извлечение данных из Википедии

1 181 241 – количество статей, полученных в ходе выполнения программы. Это почти соответствует официальной статистике: 1 176 314 статей на 06.01.2015. Предполагается, что это связано с тем, что в списке статей находятся все статьи: как доработанные, так и не доработанные. А статистика учитывает только доработанные, проверенные статьи. В качестве средств извлечения используются DOM – выражения [7] и CSS-селекторы.

1 этап – извлечение оглавления Википедии с помощью краулинга (извлечение данных (парсинг) страниц путём получения ссылки на следующую страницу из текущей) служебной страницы «Все страницы», сохранение ассоциативного словаря `name_of_article -> url_of_article`. Результатом 1-ого этапа является список сущностей.

2 этап – извлечение связей между сущностями, извлечение наборов ассоциаций для сущностей на основе списка сущностей, полученной в 1-ом этапе. Так как Википедия содержит статьи всех возможных предметных областей, связи между сущностями выделяются достаточно общие. Для каждой сущности выделена связь гипоним(сущность) -> гипероним (более общая сущность) (взят на основе анализа страницы Википедии). Гипоним – понятие, выражающее частную сущность по

отношению к другому, более общему понятию, а гипероним – понятие с более широким значением.

Выводы

По сравнительному анализу методов и методологий построения онтологий следует сказать, что наиболее популярны те методы, которые предполагают создание качественной базы знаний, а также инструменты инженерии знаний.

Рассматривая построение онтологий в избранной предметной сфере, пришли к выводу, что онтологии в таком качестве могут быть разными. Каждый разработчик видит онтологию таким, каким для него будет достаточно для решения поставленной задачи.

В работе было извлечено оглавление русской Википедии, выделены связи между сущностями (связи типа гипоним - гипероним), выделены ассоциативные связи. Все связи записаны в базу данных.

Применить созданную базу данных можно в сфере информационного поиска.

Литература

1. Соловьев В.Д., Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В. / ОНТОЛОГИИ И ТЕЗАУРУСЫ: [Учебное пособие] / – Москва: 2006. – 157с.
2. Eduard Hovy / Methodologies for the Reliable Construction of Ontological Knowledge [Электронный ресурс] <http://www.isi.edu/natural-language/people/hovy/papers/05ICCS-ontol-methods-hovy.pdf> Проверено 03.12.2014
3. Презентация Онтологические модели представления знаний [Электронный ресурс] <portal.tpu.ru/SHARED/y/YVZ/work/Tab1/lec-4.ppt> Проверено 03.12.2014
4. Наталья Ф. Ной (Natalya F. Noy) и Дэбора Л. МакГиннесс (Deborah L. McGuinness) / Руководство по созданию Вашей первой онтологии / [Электронный ресурс] <http://www.interface.ru/home.asp?artId=33255> / Проверено 22.12.2014
5. OWL (Web Ontology Language Overview) / [Электронный ресурс] <http://www.w3.org/TR/owl-features/> Проверено 10.03.2015
6. TOVE Ontology Project / [Электронный ресурс] <http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/tove/index.html> / Проверено 10.03.2015
7. Document Object Model (DOM) / [Электронный ресурс] <http://www.w3.org/DOM/> Проверено 10.03.2015

MERANS OF FORMING OF THESAURUS IN THE BASIS OF COLLECTION AND EXTRACTION OF DATA FROM THE ENCYCLOPEDIA WIKIPEDIA

Yadrincev V.V.

Peoples' Friendship university of Russia, vvyadrincev@gmail.com

Research uncludes methods for constructing ontologies and comparative analysis of existing methods for representing ontologies. Content of Wikipedia was extracted for further use.

Keywords: ontology, thesaurus, Wikipedia, intelligent systems.

Высокопроизводительные технологии РВ

ГЕТЕРОГЕННЫЙ КЛАСТЕР HYBRILIT: СТРУКТУРА И НАЗНАЧЕНИЕ

Адам Г.^{1,2}, Беляков Д.В.¹, Валя М.^{1,3}, Зрелов П.В.¹, Кореньков В.В.¹,
Матвеев М.А.¹, Подгайный Д.В.¹, Стрельцова О.И.¹

¹ Объединённый институт ядерных исследований, Лаборатория информационных технологий, Россия, adamg@jinr.ru, dmitry@jinr.ru, mvala@saske.sk, zrelov@jinr.ru, korenkov@jinr.ru, matveevma@jinr.ru, podgainy@jinr.ru, strel@jinr.ru

² IFIN-HH, Бухарест, Румыния.

³ Институт экспериментальной физики САН в Кошице, Словакия.

Кластер HybriLIT [1] включает в себя серверы общего назначения и вычислительные узлы. К серверам общего назначения относятся: управляющий сервер с домашними директориями пользователей, сервер для авторизации пользователей и сервер с предоставляемыми web-сервисами. Кластер содержит пять вычислительных узлов: два узла с графическими ускорителями NVIDIA Tesla K40 [2], узел с сопроцессорами Intel Xeon Phi 7120P [3], а также узел, содержащий NVIDIA Tesla K20x и сопроцессор Intel Xeon Phi 5110P. Все вычислительные узлы содержат по два процессора Intel Xeon E5-2695v2.

Ключевые слова: технологии параллельного программирования, CUDA, MPI, OpenMP, OpenCL, гетерогенный кластер, TDP, расчетная производительность.

Введение

Гетерогенный кластер HybriLIT входит в состав Многофункционального центра хранения, обработки и анализа данных ЛИТ ОИЯИ. Структура гетерогенного кластера объединяет между собой два уровня: технический и вычислительный. На техническом уровне размещены серверы и коммутационное оборудование, обеспечивающее работу компонентов вычислительного уровня. К таким серверам относятся: многофункциональный сервер загрузки вычислительных узлов, хранения домашних директорий пользователей, рабочей среды для создания и запуска программ; сервер авторизации пользователей, сервер с предоставляемыми web-сервисами. В состав гетерогенного кластера входят пять вычислительных узлов (рис. 1), в том числе: два с графическими ускорителями NVIDIA Tesla K40, один с сопроцессорами Intel Xeon Phi 7120P, а также сервер, содержащий NVIDIA Tesla K20x и сопроцессор Intel Xeon Phi 5110P. Все вычислительные узлы содержат по два процессора Intel Xeon E5-2695v2 и доступный объем оперативной памяти 128 GB.

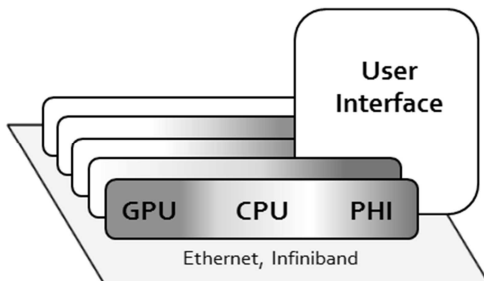


Рис. 1. Вычислительные узлы гетерогенного кластера HybriLIT.

Программное обеспечение

Гетерогенный кластер работает под управлением операционной системы Scientific Linux 6.6. Для разделения вычислительных ресурсов между пользователями используется планировщик очереди SLURM [4]. В его задачи входит:

- Бронирование и выделение вычислительных ресурсов;
- Запуск задач пользователей;
- Мониторинг текущего состояния;
- Статистика использования вычислительных ресурсов;

Целевое применение гетерогенного кластера предполагает решение широкого спектра вычислительных задач [5], [6]. В состав установленного программного обеспечения входит набор различных компиляторов и библиотек, обеспечивающих выполнение расчетов с использованием вычислительных устройств различной архитектуры (Таб. 1), [7-10].

Таблица 1. Установленное программное обеспечение для выполнения расчетов с использованием вычислительных устройств различной архитектуры.

| ПО ЯП | GNU 4.4.7 | Intel 14.0.2 | OpenMPI 1.6.5 / 1.8.1 | Intel MPI 14.0.2 | CUDA 5.5 / 6.0 |
|----------|--------------|-----------------|--------------------------|---------------------|-------------------|
| C | gcc | icc | mpicc | mpiicc | nvcc |
| C++ | g++ | icpc | mpicxx | mpiicpc | nvcc |
| Fortran | gfortran | ifort | mpif77/mpif90 | mpiifort | |

Расчет пиковой производительности и потребляемой мощности

Для расчета пиковой производительности применялись формулы для расчета производительности при вычислениях с одинарной и двойной точностью:

Устройство Intel Xeon E5-2695v2:

$$Gflops_{single} = F \cdot N \cdot Freq \quad (F = 16, N = 12, Freq = 2.4);$$

$$Gflops_{double} = F \cdot N \cdot Freq \quad (F = 8, N = 12, Freq = 2.4);$$

Устройство Intel Xeon Phi 7120P/5110P:

$$Gflops_{single} = F \cdot N \cdot Freq \quad (F = 32, N = 61, 60, Freq = 1.238, 1.053);$$

$$Gflops_{double} = F \cdot N \cdot Freq \quad (F = 16, N = 61, 60, Freq = 1.238, 1.053);$$

Устройство NVIDIA Tesla K40/K20x:

$$Gflops_{single} = F \cdot N \cdot Freq \quad (F = 2, N = 2880, 2688, Freq = 0.745, 0.732);$$

$$Gflops_{double} = F \cdot N \cdot Freq \quad (F = \frac{2}{3}, N = 2880, 2688, Freq = 0.745, 0.732);$$

Где F – количество операций в единицу времени, N – число ядер, Freq– частота процессора (Гц).

Расчет суммарной пиковой производительности дает следующие результаты: 46,194 Тф для одинарной точности и 17,979 Тф для двойной точности.

Выполненный расчет хорошо согласуется с результатами, приведенными на сайтах производителей.

Потребляемая мощность всех компонентов гетерогенного кластера составляет: минимальная 4,8 кВт, максимальная 14,4 кВт.

Выводы

В 2014 году введен в эксплуатацию гетерогенный кластер HybriLIT. Подключены и настроены вычислительные узлы с процессорами различной архитектуры. Установлен ряд сервисов для обслуживания пользователей и технической части кластера.

Литература

1. Гетерогенный кластер HybriLIT ЛИТ ОИЯИ. URL: <http://hybrilit.jinr.ru>
2. Компания NVIDIA. URL: <http://www.nvidia.com/object/tesla-workstations.html>
3. Компания Intel. URL: http://ark.intel.com/ru/products/75799/Intel-Xeon-Phi-Coprocessor-7120P-16GB-1_238-GHz-61-core
4. Simply linux utility for resource management (SLURM). URL: <http://slurm.schedmd.com>
5. E. Alexandrov et al. Principles of software construction for simulation of physical processes on hybrid computing systems (on the example of GIMM_FPEIP complex). Bulletin of PFUR, № 2(2) (2014).
6. F. Burger, M. Mueller-Preussker, E. M. Ilgenfritz, A. M. Trunin. Comparison of gradient flow with other smearing techniques applied to $N_f = 2+1+1$ -flavour QCD at nonzero temperature. Helmholtz International School "Lattice QCD, Hadron Structure and Hadronic Matter" (2014)
7. Compute unified device architecture (CUDA) <https://developer.nvidia.com/cuda-downloads>
8. Open Computing Language (OpenCL). <https://software.intel.com/en-us/articles/opencl-drivers>
9. Open Multi-Processing (OpenMP). URL: <http://openmp.org>
10. Message Passing Interface (MPI). URL: <http://open-mpi.org>

HETEROGENEOUS CLUSTER HYBRILIT: THE STRUCTURE AND PURPOSE

Adam G.^{1,2}, Belyakov D.V.¹, Vala M.^{1,3}, Zrelov P.V.¹, Korenkov V.V.¹, Matveyev M.A.¹, Podgainy D.V.¹, Streltsova O.I.¹

¹ Joint Institute for nuclear research, LIT, Russia, adamg@jinr.ru, dmitry@jinr.ru, mvala@saske.sk, zrelov@jinr.ru, korenkov@jinr.ru, matveevma@jinr.ru, podgainy@jinr.ru, strel@jinr.ru

² IFIN-HH, Bucharest, Romania

² Institute for Theoretical and Experimental Physics, Kosice, Slovakia

Cluster HybriLIT [1] includes general-purpose servers and computational nodes. General-purpose servers include a controlling server with home directories of users, a server for user authorization and a server with web-services. The cluster contains five computational nodes: two nodes with graphical accelerators NVIDIA Tesla K40 [2], a node with Intel Xeon Phi 7120P coprocessors [3], and a node that includes NVIDIA Tesla K20x and an Intel Xeon Phi 5110P coprocessor. All computational nodes include two Intel Xeon E5-2695v2 processors each.

Keywords: parallel programming technologies, CUDA, MPI, OpenMP, OpenCL, heterogeneous cluster, TDP, estimated performance.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ГЕТЕРОГЕННОГО КЛАСТЕРА HUBRIЛIT

^{1,2}Вальова Л., ¹Галактионов В.В., ¹Голубь Д.С., ¹Заикина Т.Н., ¹Кирикаосян М.Х.,
¹Приходько А.В., ¹Торосян Ш.Г.

¹Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований

²Институт экспериментальной физики САН в Кошице, Словакия

shushanik@jinr.ru

В 2014 в ЛИТ ОИЯИ введен в эксплуатацию гетерогенный вычислительный кластер “HybriLIT”, предназначенный для разработки параллельных приложений и проведения массивно-параллельных расчетов при решении широкого круга задач, возникающих в научных и прикладных исследованиях, проводимых сотрудниками ОИЯИ. Для ввода в эксплуатацию, развития и поддержки кластера в лаборатории была создана группа HybriLIT, одним из важных аспектов деятельности которой является организация взаимодействия с пользователями вычислительного кластера. Таким образом, группой активно внедряются различные формы взаимодействия с пользователями.

Ключевые слова: гетерогенный вычислительный кластер, HybriLIT, сервисы, информационная поддержка пользователей.

Введение

В ЛИТ ОИЯИ была разработана информационно-вычислительная среда, которая включает в себя аппаратное и программное обеспечения, а также инструментальные средства для работы на кластере HybriLIT [1]. Данные инструментальные средства представляют из себя некоторые сервисы, предназначенные для более эффективной работы пользователей на кластере. Большинство сервисов, предоставляемых пользователям, размещены в облачной инфраструктуре Cloud JINR [4]. Среди предоставляемых пользователям сервисов можно выделить следующие:

- Сайт HybriLIT [1]
- Система Indico [2]
- Проект HybriLIT User Support в системе Project Management Service [5]
- Статистика использования ресурсов кластера [3].

Учитывая тот факт, что пользователями кластера являются и становятся ученые и исследователи из различных стран, важным аспектом является поддержка всех ресурсов на двух языках: русском и английском.

Таким образом, все вышеуказанные сервисы предоставляют пользователям большие возможности и являются важными составляющими при работе на кластере.

Сервисы, предоставляемые пользователям HybriLIT

Как уже было отмечено ранее, сервисы предоставляются пользователям гетерогенного кластера для более эффективной работы на нем. Рассмотрим каждый сервис более детально.

1. Сайт HybriLIT [1] содержит подробную информацию о ресурсах, предоставляемых пользователям кластера. Уделено особое внимание аппаратному обеспечению, включающему подробные характеристики кластера HybriLIT, а также программному обеспечению, которое установлено на кластере. Очень важным аспектом является процедура регистрации на гетерогенном кластере. На сайте предоставлена очень подробная информация по данной процедуре. Помимо этого, пользователи могут ознакомиться с руководством запуска задач на кластере. Данное руководство предоставляет базовые сведения о кластере, методах и средствах работы с ним.

2. Система Indico [2], которая используется в ОИЯИ, предназначена для организации конференций, семинаров и встреч. В данной системе возможно создавать различные события, которые пройдут в рамках института. Созданное событие представляет краткую информацию о тематике мероприятия, месте и времени проведения. В системе также есть возможность загрузки материалов лекций и семинаров выступающих, что позволяет пользователям более детально ознакомиться с ними.
3. Проект HybriLIT User Support – проект, реализованный в системе Project Management Service [5], позволяющей оперативно отвечать на вопросы пользователей кластера, размещать полезные материалы, новости и др. Данный проект разработан для более эффективного взаимодействия пользователей как между собой, так и с группой HybriLIT. Данная система предоставляет возможности по быстрому информированию пользователей о предстоящих мероприятиях и состоянии кластера. Пользователи также могут создавать задачи по улучшению или исправлению возникающих ошибок в системе. Таким образом, взаимодействие между пользователями кластера и разработчиками является очень эффективным.
4. Статистика использования ресурсов кластера [3] включает в себя информацию по количеству запуска задач, используемым ресурсам (gpu, cpu, phi) и по организациям, сотрудники которых запускают задачи на гетерогенном кластере HybriLIT.

Выводы

В работе представлен краткий обзор сервисов, предоставляемых пользователям гетерогенного вычислительного кластера HybriLIT для более эффективной работы на нем. Все сервисы поддерживаются в рамках ЛИТ ОИЯИ.

Литература

1. Сайт HybriLIT – <http://hybrilit.jinr.ru>
2. Система Indico – <http://indico-hybrilit.jinr.ru>
3. Статистика использования – <http://www.winfo.jinr.ru/~gvv/SLURM>
4. Облачная инфраструктура Cloud JINR – <http://cloud.jinr.ru>
5. Project Management Service – <http://pm.jinr.ru>

INFORMATION SUPPORT OF USERS OF THE HETEROGENEOUS CLUSTER HYBRILIT

^{1,2}Valova L., ¹Galaktionov V., ¹Golub D., ¹Zaikina T., ¹Kirakosyan M., ¹Prikhodko A., ¹Torosyan S.

¹Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research

²Institute of Experimental Physics of SAS, Kosice, Slovakia

shushanik@jinr.ru

In 2014 a new heterogeneous computing cluster “HybriLIT” designed for the development of parallel applications and for carrying out massive parallel computations in solving a wide range of problems was put into service in LIT, JINR. A team HybriLIT was formed in order to develop and support the work of the cluster. One of the main purposes of the team is the organization of interaction of the team with the users of the computational cluster. Therefore, various forms of interaction with users are implemented.

Key words: heterogeneous computing cluster, HybriLIT, services, information support of users.

ТЕСТИРОВАНИЕ GPU-СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГЕТЕРОГЕННОГО КЛАСТЕРА HYBRILIT

Зуев М.И., Александров Е.И., Земляная Е.В., Подгайный Д.В., Стрельцова О.И.

Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований,
zuevmax@jinr.ru, aleksand@jinr.ru, elena@jinr.ru, podgainy@jinr.ru, strel@jinr.ru

Представлены результаты тестирования GPU-составляющей гетерогенного кластера HybriLIT с помощью пакета GIMM_FPEIVE и теста Linpack.

Ключевые слова: параллельные вычисления, гетерогенные вычислительные системы, технология CUDA.

Введение

В 2014 году в Лаборатории информационных технологий ОИЯИ был введен в эксплуатацию гетерогенный вычислительный кластер HybriLIT [1], включающий в свою структуру вычислительные узлы с различными типами сопроцессоров: графическими ускорителями (GPU) NVIDIA, сопроцессорами Intel Xeon Phi.

Особую важность играет корректность установки и настройки необходимого программного обеспечения, которая не может проходить без учета опыта уже функционирующих вычислительных систем. Для настройки специализированного программного обеспечения для поддержки технологии CUDA были задействованы:

- программный модуль GIMM_FPEIVE [2], входящий в состав программного комплекса GIMM_NANO (Graphical Interface for Mathematical Modeling in NANOScience) [3];
- версия теста Linpack, оптимизированная для проведения расчетов на GPU NVIDIA [4].

Особенности реализации GPU-модуля GIMM_FPEIVE

Модуль GIMM_FPEIVE реализует численное решение системы двух пространственно двумерных уравнений теплопроводности, описывающих динамику температурных полей ионной и электронной подсистем в материале при его облучении тяжелыми ионами высоких энергий. Подробное описание системы уравнений и вычислительной схемы дано в работе [5]. Здесь отметим только, что объем вычислений определяется числом узлов N_z и N_r дискретной сетки по двум пространственным координатам z и r цилиндрической системы координат, а также количеством гармоник M в разложении Фурье.

Основной особенностью параллельных приложений для проведения расчетов с использованием GPU является необходимость учета объема доступной памяти GPU. Исходя из этого ограничения, было разработано два варианта распараллеливания в зависимости от размера задачи (размер всех задействованных массивов и переменных).

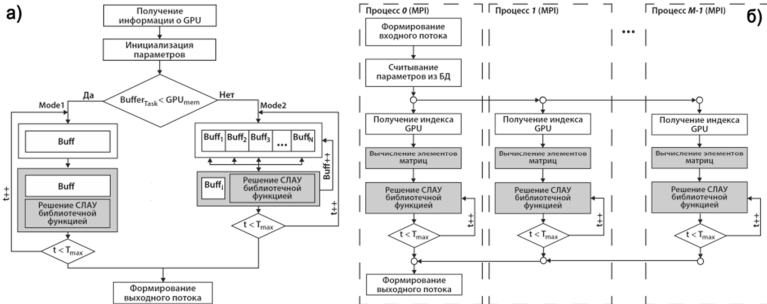


Рис. 1. Блок-схемы работы CUDA-алгоритма

На рис. 1а представлена блок-схема алгоритма в зависимости от размера задачи. Если размер задачи помещается в память одного GPU, тогда все расчеты проводятся на этом устройстве. В противном случае задача разбивается на блоки размером Buff, значение которого рассчитывается в зависимости от характеристик GPU. Блоки последовательно передаются в память GPU, где происходит их вычисление, после этого результаты расчетов копируются на хост, и берется следующий блок. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не будут просчитаны все блоки.

Также был реализован алгоритм вычислений с использованием нескольких GPU. Блок-схема multi-GPU-алгоритма представлена на рис. 1б. Разбиение на процессы происходит по числу коэффициентов разложения Фурье M .

Результаты расчетов

Представлены графики сравнения расчетов на гибридном вычислительном кластере K-100 ИПМ им. М.В. Келдыша [5] и гетерогенном кластере HybriLIT [1].

На рис. 2 приведена диаграмма зависимости времени расчетов задачи при размерности 10000×512 от числа задействованных GPU. Значение максимального ускорения времени расчетов на Tesla K40s по сравнению с Fermi C2050 составило 1,49 раз при расчетах на 3 GPU. Стоит отметить, что в этом случае расчеты велись в пределах одного вычислительного узла и отсутствуют временные затраты на передачу данных по сети.

На рис. 3 представлены результаты расчетов задачи в случае, когда размер задачи превышает доступную память одной из GPU. Расчеты проводились на Fermi C2050, объем памяти которой составляет 2,5 Гб, и Tesla K40s с 12 Гб оперативной памяти. При размерности $N_z \times N_r = 20000 \times 4096$ задача занимает более 5 Гб памяти GPU, а при $N_z \times N_r = 20000 \times 8192$ – 10 Гб. В первом случае для проведения расчетов на Fermi C2050 необходимо произвести, по крайней мере, два цикла копирования между CPU и GPU, а во втором – 4 цикла. Как видно по графику, было достигнуто ускорение в 7,45 раз для размерности 20000×4096 для расчетов на GPU Tesla K40s по сравнению с Fermi C2050.

На рис. 4 представлена диаграмма зависимости ускорения расчетов пакета GIMM_FPEIVE на кластере HybriLIT от используемых вычислительных элементов (2 CPU Intel Xeon E5-2695v2 и различного числа GPU Tesla K40s). Расчеты проводились при значениях $N_z \times N_r = 10000 \times 512$. Достигнуто максимальное ускорение в 40,64 раза по сравнению с одним MPI-процессом и 2,99 раз для 3 GPU Tesla K40s относительно 1 GPU Tesla K40s.

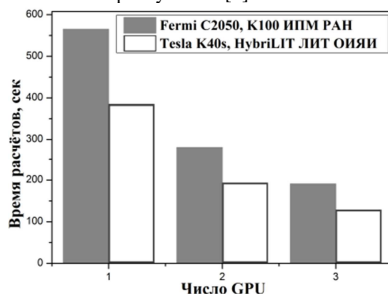


Рис. 2. Время multi-GPU расчетов для размерности задачи 10000×512

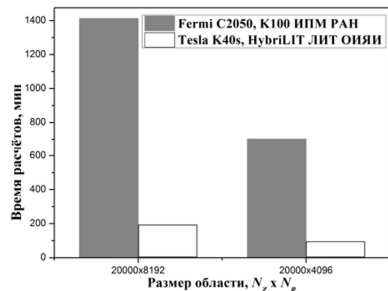


Рис. 3. Время расчетов задачи при больших размерностях задачи

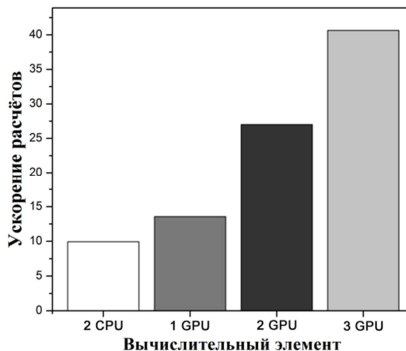


Рис. 4. Ускорение расчетов GIMM_FPEIVE при расчетах на различных вычислительных элементах

На рис. 5 представлена диаграмма сравнения производительности расчетов теста Linpack при расчетах на различных вычислительных элементах.

Было получено увеличение производительности в 3,32 при подключении одного GPU Tesla K40s по сравнению с 2 CPU Intel Xeon E5-2695v2. Добавление GPU Tesla K40s привело к дополнительному увеличению производительности в 1,6 раз для двух GPU и 2,18 – для трех GPU.

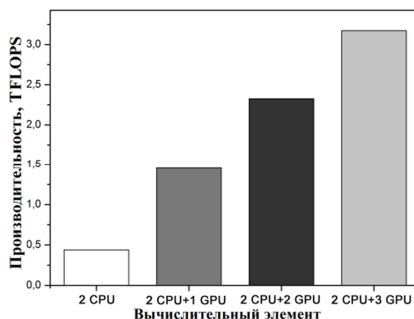


Рис. 5. Производительность, полученная с помощью теста Linpack

Выводы

Для пакета GIMM_FPEIVE было достигнуто максимальное ускорение в 1,49 раз при проведении расчетов на Tesla K40s по сравнению с Fermi C2050. Отношение теоретических производительностей этих GPU равняется 2,7. Таким образом, для реальной задачи эффективность ускорения при использовании карты K40s относительно теоретического ускорения составляет 55 %.

Для теста Linpack была получена производительность для различного числа GPU Tesla K40s: 1,46 TFLOPS для одного GPU, 2,33 TFLOPS – для двух GPU и 3,17 – для трех GPU, что составляет 77,04, 70,06 и 66,8 % от теоретической производительности каждого количества GPU соответственно.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 14-01-31227 мол_а, 13-01-00595 А, 14-01-00628 А.

Литература

1. Гетерогенный кластер ЛИТ ОИЯИ – <http://hybrilit.jinr.ru/>.
2. Александров Е.И., Амирханов И.В., Земляная Е.В., Зрелов П.В., Зуев М.И., Иванов В.В., Подгайный Д.В., Саркар Н.Р., Сархадов И.С., Стрельцова О.И., Тухлиев З.К., Шарипов З.А. Принципы построения программного комплекса для моделирования физических процессов на гибридных вычислительных системах (на примере комплекса GIMM_FPEIP) // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. – № 2. – 2014. – С. 197-205.
3. Бондаренко А.А., Кононов Э.М., Косолапов О.А., Поляков С.В., Якобовский М.В. Программный комплекс GIMM_NANO // Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: все грани параллелизма». – 2013. – С. 333-337.
4. CUDA Accelerated Linpack – <https://developer.nvidia.com/>.
5. Амирханов И.В., Земляная Е.В., Саркар Н.Р., Сархадов И.С., Тухлиев З.К., Шарипов З.А. MPI реализация алгоритмов для 2D и 3D моделирования фазовых переходов в материалах, облучаемых тяжелыми ионами, в рамках модели термического пика // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. – №.4. – 2013. – С. 80-94.
6. Гибридный вычислительный кластер K-100 – <http://www.kiam.ru/MVS/resourses/k100.html>.

TEST OF GPU-COMPONENT OF HETEROGENEOUS CLUSTER HYBRILIT

Zuev M.I., Alexandrov E.I., Zemlyanaya E.V., Podgainy D.V., Streltsova O.I.

*Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research,
zuevmax@jinr.ru, aleksand@jinr.ru, elena@jinr.ru, podgainy@jinr.ru, strel@jinr.ru*

The results of the test of GPU-component of the heterogeneous cluster HybriLIT by means of GIMM_FPEIVE package and Linpack benchmark have been presented.

Key words: parallel computing, heterogeneous computing systems, CUDA technology.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ЛЭМБА ПРИ СОСРЕДОТОЧЕННОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ВИДЕ ФУНКЦИИ ХЕВИСАЙДА

Мусаев В.К.

Московский государственный машиностроительный университет, musayev-vk@yandex.ru

Рассматриваются некоторые вопросы численного моделирования упругих волн напряжений в упругой полуплоскости при сосредоточенном взрывном воздействии в виде функции Хевисайда. Приводится изменение упругого контурного напряжения на свободной поверхности полуплоскости.

Ключевые слова: математическое моделирование, волны напряжений, поверхностная волна, свободная поверхность, упругая полуплоскость, функция Хевисайда.

1. Введение

Рассматриваются вопросы моделирования с помощью метода конечных элементов волн напряжений в сложных деформируемых телах. Решается задача о сосредоточенном взрывном воздействии в виде функции Хевисайда на свободной поверхности упругой полуплоскости.

2. Некоторые результаты исследований

Предложен квазирегулярный подход к решению системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка в перемещениях с начальными условиями и к аппроксимации исследуемой области. Для аппроксимации по пространственным координатам применяются треугольные конечные элементы с тремя узловыми точками с линейной аппроксимацией упругих перемещений и прямоугольные конечные элементы с четырьмя узловыми точками с билинейной аппроксимацией упругих перемещений.

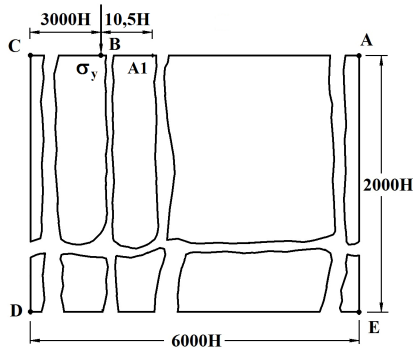


Рис.1. Постановка задачи о воздействии сосредоточенной взрывной волны на свободной поверхности упругой полуплоскости

Комплекс программ позволяет аппроксимировать исследуемую область по пространственным координатам практически неограниченно. На основе метода конечных элементов в перемещениях разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных задач при различных начальных и граничных условиях, для областей сложной формы. Комплекс программ написан на алгоритмическом языке Фортран-90. Рассматривается задача математического

моделирования волн напряжений в упругой полуплоскости. В некоторой точке перпендикулярно свободной поверхности упругой полуплоскости приложено сосредоточенное взрывное воздействие. Воздействие моделируется в виде функции Хевисайда. Задача решается с помощью метода конечных элементов в перемещениях.

Моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых областях с помощью рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведено в следующих работах [1–12].

Рассмотрим задачу о воздействии сосредоточенной взрывной волны перпендикулярной свободной поверхности упругой полуплоскости (рис. 1). В точке B перпендикулярно свободной поверхности ABC приложено упругое нормальное напряжение σ_y , которое при $0 \leq n \leq 10$ ($n = t / \Delta t$) изменяется 0 до P , а при $n \geq 10$ равно P ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа). Граничные условия для контура $CDEA$ при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура $CDEA$ не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 500$. Контур ABC свободен от нагрузок, кроме точки B , где приложено сосредоточенное упругое нормальное напряжение σ_y .

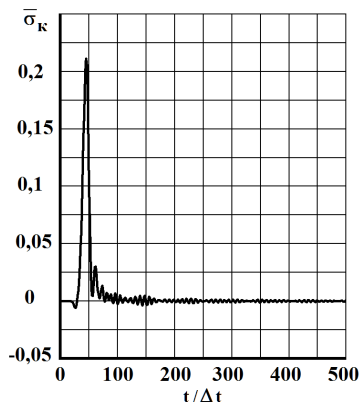


Рис. 2. Изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ во времени $t / \Delta t$ в точке $A1$

Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,15 \cdot 10^4$ МПа; $\nu = 0,2$; $\rho = 0,255 \cdot 10^4$ кг/м³; $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Решается система уравнений из 48032004 неизвестных. Для примера на рис. 2 приводится изменение упругого контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ ($\bar{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$) во времени n в точке $A1$, находящейся на свободной поверхности упругой полуплоскости.

3. Выводы

1. Амплитуда поверхностной волны Релея существенно больше амплитуд продольной и поперечной волн.
2. Оценка безопасности сложных технических объектов по несущей способности при нестационарных волновых воздействиях должна осуществляться с учетом поверхностных волн Релея.

Литература

1. *Musayev V.K.* Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. – Sent Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. – V. 3. – P. 87–97.
2. *Мусаев В.К.* Численное решение волновых задач теории упругости и пластичности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия прикладная математика и информатика. – 1997. – № 1. – С. 87–110.
3. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование упругих волн напряжений в сложных деформируемых телах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 1. – С. 62–76.
4. *Мусаев В.К.* Об оценке достоверности и точности численного решения нестационарных динамических задач // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 3. – С. 48–60.
5. *Мусаев В.К.* Оценка достоверности и точности результатов вычислительного эксперимента при решении задач нестационарной волновой теории упругости // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 55–80.
6. *Мусаев В.К.* Моделирование волн напряжений в сложных областях с помощью метода вычислительной механики // Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 44–52.
7. *Мусаев В.К.* Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2. – С. 138–149.
8. *Мусаев В.К.* О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11. – С. 10–14.
9. *Мусаев В.К.* Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых областях с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 12 (1). – С. 28–32.
10. *Мусаев В.К.* Моделирование безопасности по несущей способности дымовых труб с основанием при взрыве атомной бомбы в Нагасаки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 12. – С. 198–203.
11. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование поверхностных волн напряжений в задаче Лэмба при воздействии в виде дельта функции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 2 (часть 1). – С. 25–30.
12. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование волн напряжений в задаче Лэмба // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – М.: РУДН, 2014. – С. 266–269.

MATHEMATICAL MODELING OF STRESS WAVES IN THE PROBLEM OF THE LAMB CONCENTRATED VERTICAL EXPOSURE IN THE FORM OF THE HEAVISIDE FUNCTION

Musayev V.K.

Moscow State Engineering University, musayev-vk@yandex.ru

Covers some aspects of numerical simulation of elastic stress waves in elastic half-plane under a concentrated explosive impact as a function of Heaviside. Is the change in elastic contour stress on the free surface of the half-plane.

Key words: mathematical modeling, wave stresses, surface wave, the free surface of an elastic half-plane is the Heaviside function.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАБЕРЕЖНОЙ РЕЧНОГО ПОРТА С ЗАПОЛНЕННЫМ ВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА, АЛГОРИТМА И КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ МУСАЕВА В.К.

Самойлов С.Н., Суцев Т.С., Дикова Е.В., Стародубцев В.В., Куранцов О.В.

Московский государственный машиностроительный университет, tusayev-vk@yandex.ru

Для прогноза безопасности окружающей среды при сосредоточенном взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом применяется численное моделирование. Решены задачи о воздействии взрывных воздействий на набережной речного порта с заполненным водным объектом. Показано, что заполненный водный объект изменяет напряженного состояния на набережной речного порта незначительно.

Ключевые слова: детерминированное моделирование, метод конечных элементов, явная двухслойная схема, защита, набережная речного порта, взрывное воздействие, дельта функция, волны напряжений, окружающая среда, водная среда, несущая способность.

1. Введение

Для прогноза безопасности набережной речного порта с заполненным водным объектом применяется численное моделирование уравнений волновой теории упругости.

2. Реализация методики и алгоритма

В работах [1–4] приводится некоторая информация о практической реализации численного моделирования волн напряжений в сложных деформируемых объектах с помощью применяемого численного метода, алгоритма и комплекса программ.

Для решения краевой задачи используется метод конечных элементов в перемещениях. Задачи решаются методом сквозного счета, без выделения разрывов (однородный алгоритм).

3. О распространении взрывных волн напряжений

Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с незаполненным водным объектом. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Исследуемая расчетная область имеет 20402 узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных. Получены напряжения в точках на набережной речного порта с незаполненным водным объектом. Растягивающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = 0,331$. Сжимающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = -0,356$. Растягивающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = 0,192$. Сжимающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = -0,233$.

Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 25%. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Исследуемая расчетная область имеет 20402 узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных. Получены напряжения в точках на набережной речного порта. Заполненный водный объект на 25% изменяет величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,00

раз. Заполненный водный объект на 25% изменяет величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 25% изменяет величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 25% изменяет величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,00 раз.

Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 50%. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Исследуемая расчетная область имеет 20402 узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных. Получены напряжения в точках на набережной речного порта. Заполненный водный объект на 50% изменяет величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,003 раза. Заполненный водный объект на 50% изменяет величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 50% изменяет величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,00 раз. Заполненный водный объект на 50% изменяет величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,035 раза.

Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 75%. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Исследуемая расчетная область имеет 20402 узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных. Получены напряжения в точках на набережной речного порта. Заполненный водный объект на 75% изменяет величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,003 раза. Заполненный водный объект на 75% изменяет величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 0,99 раза. Заполненный водный объект на 75% изменяет величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 0,99 раза. Заполненный водный объект на 75% изменяет величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,059 раза.

Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 100%. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Исследуемая расчетная область имеет 20402 узловые точки. Решается система уравнений из 81608 неизвестных. Получены напряжения в точках на набережной речного порта. Заполненный водный объект на 100% изменяет величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,226 раза. Заполненный водный объект на 100% изменяет величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,047 раза. Заполненный водный объект на 100% изменяет величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,352 раза. Заполненный водный объект на 100% изменяет величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,04 раза.

Полученные результаты можно оценить как первое приближение к решению сложной комплексной задачи о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной

речного порта с заполненным водным объектом, с помощью численного моделирования волновых уравнений теории упругости.

Авторы выражают благодарность Мусаеву В.К. за внимание к работе.

4. Выводы

1. Для прогноза безопасности набережной речного порта с заполненным водным объектом применяется численное моделирование. С помощью метода конечных элементов в перемещениях разработаны методика, алгоритм и комплекс программ, которые позволяют решать волновые задачи при взрывных воздействиях на уникальные сооружения.

2. Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с незаполненным водным объектом. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса. Получены напряжения в точках на набережной речного порта с незаполненным водным объектом. Решена задача о сосредоточенном упругом взрывном воздействии на набережной речного порта с заполненным водным объектом на 25%, 50%, 75% и 100%. Показано, что заполненный водный объект изменяет напряженное состояние набережной речного порта незначительно.

Литература

1. Мусаев В.К. Об оценке достоверности и точности численного решения нестационарных динамических задач // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 3. – С. 48–60.
2. Мусаев В.К. Численное, аналитическое и экспериментальное решение задачи о концентрации нестационарных динамических напряжений в свободном круглом отверстии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 67–71.
3. Мусаев В.К. Оценка достоверности и точности результатов вычислительного эксперимента при решении задач нестационарной волновой теории упругости // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 55–80.
4. Мусаев В.К. О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11. – С. 10–14.

MODELING OF ENVIRONMENTAL PROTECTION FROM EXPLOSIVE EFFECTS ON THE EMBANKMENT OF THE RIVER PORT FILLED WITH WATER OBJECT USING A NUMERICAL METHOD, ALGORITHM AND COMPLEX PROGRAMMES

MUSAYEV V.K.

Samoylov S.N., Sushchev T.S., Dikova E.V., Starodubtsev V.V., Kurantsov O.V.

Moscow State Engineering University, musayev-vk@yandex.ru

For prediction of environmental safety when concentrated explosive impact on the embankment of the river port filled with water applies a numerical simulation. Solved problems on the impact of blasting impacts on the embankment of the river port filled with water object. It is shown that the filled water object changes the stress state on the embankment of the river port slightly.

Key words: deterministic modeling, finite element method, an explicit two-layer scheme, protection, embankment of the river port, the explosive impact of the Delta function, wave stress, environment, water environment carrying capacity.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА НИЗКОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ БЛОЧНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Синячкин А.Ю., Петров М.А., Ершов Н.М.

Международный университет природы, общества и человека «Дубна», ershovnm@gmail.com

Рассматриваются вопросы построения программной среды низкоуровневого дискретного моделирования естественных процессов.

Ключевые слова: моделирование, клеточные автоматы, инструментальная среда.

Введение

В работе рассматривается задача дискретного микроскопического моделирования природных (прежде всего, физических, химических и биологических) процессов с использованием стохастических клеточных автоматов [1, 2]. Низкоуровневый подход к моделированию сложных систем и процессов получает в последнее время все большее распространение в связи с широким развитием аппаратных и программных средств параллельного программирования [3, 4]. Стохастические блочные клеточные автоматы, рассматриваемые в настоящей работе, построены на основе марковских систем и являются адекватным средством данного подхода к моделированию. Ключевой особенностью такого рода автоматов является то, что в них явным образом описывается взаимодействие отдельных элементов (клеток) автомата. В данной работе описывается прототип инструментальной системы микроскопического моделирования, построенной на базе стохастических клеточных автоматов, рассматривается структура такой программной системы, приводятся примеры ее использования при моделировании простейших ферментативных реакций [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-07-00628 А).

Структура программной системы

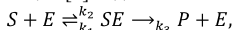
Предполагается модульная структура инструментальной системы, ядром которой служит модуль реализации двумерных блочных стохастических клеточных автоматов, включающий в себя поддержку настройки системы правил автомата и его начальной конфигурации. Кроме того, рассматриваемая программная система должна включать в себя и ряд других модулей, в том числе:

- модуль-проигрыватель, предназначенный для просмотра в различных режимах процесса эволюции автомата;
- измерительный модуль, позволяющий визуализировать динамику изменения концентраций групп символов в заданных областях автомата;
- модуль для экспорта графических файлов с поддержкой форматов PNG и GIF (анимация).

В настоящее время выполнена реализация прототипа системы на языке программирования Python. В дальнейшем планируется перенести ядро системы, отвечающее за расчет эволюции автомата, на язык C++ с поддержкой параллельных вычислений. Кроме того, предполагается расширить систему другими модулями с целью сделать процесс моделирования сложных систем и процессов более простым и наглядным.

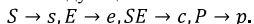
Моделирование ферментативных реакций

В качестве примера была рассмотрена задача низкоуровневого моделирования простейшей ферментативной реакции [5] вида

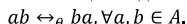


где S – субстрат, E – фермент, SE – субстрат-ферментный комплекс, P – продукт. Коэффициенты k_i определяют скорости соответствующих реакций. Была построена

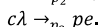
микроскопическая имитационная модель этой реакции на основе стохастических клеточных автоматов. В каждой клетке автомата располагаются не больше одной молекулы, которые обозначаются следующими символами (состояниями автомата):



Свободные клетки автомата находятся в состоянии, обозначаемом символом λ . Предполагается, что вся система находится в состоянии постоянного перемешивания, которое обеспечивается т.н. перемешивающей подсистемой перестановок вида



Параметр θ здесь определяет вероятность применения данной подстановки и неявно задает скорость перемешивания (температуру системы). Сама ферментативная реакция описывается следующей системой подстановок:



При этом предполагается, что $p_1 + \theta \leq 1$ и $p_2 + p_3 + \theta \leq 1$.

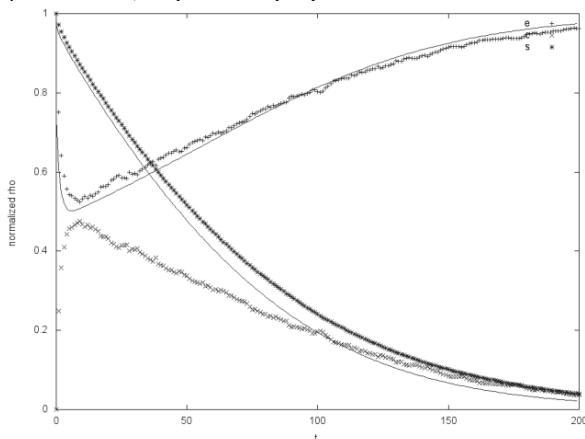


Рис. 1. Результаты численного моделирования простейшей ферментативной реакции

Было проведено моделирование рассмотренной простейшей ферментативной реакции с использованием стохастических клеточных автоматов. На рис. 1 маркерами показано найденное в результате такого моделирования изменение концентраций символов e , c и s от времени t . Для расчетов использовались следующие значения параметров: $\omega = 0.5$, $\theta = 0.7$, $k_1 = 0.7$, $k_2 = 0.01$, $k_3 = 0.02$. На том же рисунке сплошными линиями показаны результаты численного решения построенной для данной реакции системы дифференциальных (кинетических) уравнений. Видно, что эти два способа моделирования дают весьма схожие результаты. Кроме того, полученные результаты находятся в согласии с данными, приведенными в монографии [5].

Выводы

В результате выполненной работы получены следующие результаты: разработан и реализован программно прототип системы низкоуровневого моделирования на основе стохастических блочных клеточных автоматов, в качестве примера построена модель

простейшей ферментативной реакции, приведены результаты численного исследования исходной дискретной модели и построенной на ее основе непрерывной модели.

Литература

1. *Toffoli T., Margolus N.* Cellular automata machines: a new environment for modeling, MIT Press, 1987.
2. *Ершов Н., Кравчук А.* Дискретное моделирование с помощью стохастических клеточных автоматов // Вестник РУДН. Сер. Математика. Информатика. Физика. – 2014. №2, с. 359-362.
3. *Hoogendoorn S. P., Bovy P. H. L.* State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling // J. Syst. Cont. Eng., 2001, 215(4), pp. 283-303.
4. *Бандман О. Л.* Дискретное моделирование физико-химических процессов, Прикладная дискретная математика, 2009, № 3, 33–49
5. *Мюррей Дж.* Математическая биология. Том 1. Введение. – Изд. ИКИ-РХД, 2009.

INSTRUMENTAL ENVIRONMENT OF LOW-LEVEL MODELLING USING STOCHASTIC CELLULAR AUTOMATA

Sinyachkin A.Yu., Petrov M.A., Ershov N.M.

Dubna International University for Nature, Society, and Man, ershovnm@gmail.com

Development of the program environment for discrete low-level modelling of natural processes are considered.

Key words: modelling, cellular automata, instrumental environment.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ФУНДАМЕНТ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА, АЛГОРИТМА И КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ МУСАЕВА В.К.

Сушев Т.С., Дикова Е.В., Самойлов С.Н., Стародубцев В.В., Сергунов А.Б.

Московский государственный машиностроительный университет, musayev-vk@yandex.ru

Для прогноза безопасности фундамента машин без полости и с полостью при воздействии упругой ударной волны применяется численное моделирование. Решены задачи о воздействии ударной волны на фундамент машин без полости и с полостями. Показано, что применение полостей уменьшает величину напряжений в окружающей среде при ударных воздействиях на фундамент машин.

Ключевые слова: математическое моделирование, метод конечных элементов, явная двухслойная конечноэлементная схема, технические средства, защита, сооружение, фундамент машин, ударное воздействие, импульсное воздействие в виде прямоугольника, нестационарные волны напряжений, окружающая среда, полости, несущая способность.

1. Введение

Для прогноза безопасности фундамента машин без полости и с полостью при воздействии упругой ударной волны применяется численное моделирование уравнений волновой теории упругости.

2. Реализация методики и алгоритма

В работах [1–6] приводится некоторая информация о практической реализации численного моделирования волн напряжений в сложных деформируемых объектах с помощью применяемого численного метода, алгоритма и комплекса программ.

Для решения краевой задачи используется метод конечных элементов в перемещениях. Задачи решаются методом сквозного счета, без выделения разрывов (однородный алгоритм).

3. О распространении волн напряжений при ударных воздействиях

В работе применяется один из возможных технических средств защиты окружающей среды от ударных воздействий на фундамент машин – полости в окрестности предполагаемого сооружения. Нестационарное волновое воздействие, на своем пути встречая полость, будет ее обходить. Поэтому будет снижаться напряженное состояние в предполагаемом объекте.

На основании изложенного можно утверждать, что постановка задачи, разработка методики, реализация алгоритма численного моделирования и решение задач о применении технических средств защиты окружающей среды от нестационарных ударных воздействий на фундамент машин, является актуальной фундаментальной и прикладной научной задачей.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны на фундамент машин без полости. Исследуемая расчетная область имеет 14320 узловых точек. Решается система уравнений из 57280 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около фундамента машин без полости. Растягивающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = 0,51$. Сжимающее упругое контурное напряжение $\bar{\sigma}_k$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_k = -0,445$. Растягивающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет

следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = 0,506$. Сжимающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение $\bar{\sigma}_x = -0,347$.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны на фундамент машин с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пяти). Исследуемая расчетная область имеет 14320 узловых точек. Решается система уравнений из 57280 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около фундамента машин с полостью. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,14 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,22 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,093 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пяти, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,03 раза.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны на фундамент машин с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к десяти). Исследуемая расчетная область имеет 14320 узловых точек. Решается система уравнений из 57280 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около фундамента машин с полостью. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 1,961 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 2,572 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,788 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к десяти, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 1,866 раза.

Решена задача о воздействии упругой ударной волны на фундамент машин с полостью в виде прямоугольника (соотношение ширины к высоте один к пятнадцати). Исследуемая расчетная область имеет 14320 узловых точек. Решается система уравнений из 57280 неизвестных. Получены напряжения в точках на поверхности упругой полуплоскости около фундамента машин с полостью. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого растягивающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 3,35 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого сжимающего контурного напряжения $\bar{\sigma}_k$ в 3,5 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого растягивающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 2,79 раза. Полость, с соотношением ширины к высоте один к пятнадцати, уменьшает величину упругого сжимающего нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ в 2,916 раза.

Полученные результаты можно оценить как первое приближение к решению сложной комплексной задачи, о применении полостей для увеличения безопасности окружающей среды от ударной волны на фундамент машин, с помощью численного моделирования волновых уравнений теории упругости.

Авторы выражают благодарность Мусаеву В.К. за внимание к работе.

4. Выводы

1. Для прогноза безопасности фундамента машин при нестационарных ударных воздействиях применяется численное моделирование. С помощью метода конечных элементов в перемещениях разработаны методика, алгоритм и комплекс программ, которые позволяют решать волновые задачи при взрывных воздействиях на уникальные сооружения.
2. Решена задача о безопасности окружающей среды при нестационарных ударных воздействиях на фундамент машин без полости и с полостями. Показано, что применение полостей уменьшает величину напряжений в окружающей среде при нестационарных ударных воздействиях на фундамент машин.

Литература

1. *Musayev V.K.* Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. – St. Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. – V. 3. – P. 87–97.
2. *Мусаев В.К.* Численное решение волновых задач теории упругости и пластичности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия прикладная математика и информатика. – 1997. – № 1. – С. 87–110.
3. *Мусаев В.К.* Численное, аналитическое и экспериментальное решение задачи о концентрации нестационарных динамических напряжений в свободном круглом отверстии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 67–71.
4. *Мусаев В.К.* Оценка достоверности и точности результатов вычислительного эксперимента при решении задач нестационарной волновой теории упругости // Научный журнал проблем комплексной безопасности. – 2009. – № 1. – С. 55–80.
5. *Мусаев В.К.* О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11. – С. 10–14.
6. *Мусаев В.К.* Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых областях с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 12 (1). – С. 28–32.

MODELING ENVIRONMENTAL SECURITY IN UNSTEADY SHOCK STRESS ON THE FOUNDATION MACHINES USING NUMERICAL METHOD, ALGORITHM AND COMPLEX PROGRAMMES MUSAYEV V.K.

*Sushchev T.S., Dikova E.V., Samoylov S.N., Starodubtsev V.V., Sergunov A.B.
Moscow State Engineering University, musayev-vk@yandex.ru*

To forecast security Foundation machines without cavity and from the cavity when exposed elastic shock wave is applied numerical modeling. Solved problems about the impact of the shock waves on the Foundation of machinery without cavities and cavities. It is shown that application of cavities decreases the magnitude of the stresses in the environment of the shock effects on the Foundation of machinery.

Key words: mathematical modeling, finite element method, an explicit two-layer finite-element scheme, technical tools, protection, construction, Foundation machines, shock, pulse effects in the form of a rectangle, transient waves of stress, environment, cavity, load-carrying capacity.

ОСОБЕННОСТИ СИМУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ В МОДЕЛЯХ НА БАЗЕ PHYSX

Храбров Р.Н.

Российский Университет Дружбы Народов, Shaman1234@gmail.com

В работе рассмотрены особенности реализации гидродинамики сглаженных частиц при описании 3D-сцен в моделях на базе PhysX.

Ключевые слова: гидродинамика, симуляция жидкости, реалистические изображения, PhysX.

Введение

PhysX – физический движок, разработанный компанией Ageia и позволяющий имитировать динамику различных физических процессов, таких, как движение твёрдых тел, движение системы частиц, изменение формы одежды и волос. Благодаря продвижению компании Nvidia, движок PhysX является одним из самых популярных физических движков. В феврале 2015 года был открыт исходный код движка под лицензией EULA, что делает его интересным для широкого круга разработчиков.

Симуляция жидкости в движке реализована с использованием алгоритмов, моделирующих гидродинамику сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH). Быстрдействие повышается за счёт того, что при симуляции может использоваться как центральный процессор, так и графический (GPU). При этом для расчётов GPU должен реализовывать возможность выполнения задач с использованием CUDA.

В данной работе не рассматриваются алгоритмы корректной закраски частиц.

Алгоритм SPH

Алгоритм SPH основан на представлении жидкости в виде большого числа взаимодействующих между собой частиц. Преимущество такого подхода состоит в том, что отпадает необходимость в выполнении сложных расчётов – параметры одной частицы зависят только от параметров соседних. Недостаток метода состоит в том, что приходится обрабатывать большой объём данных, при этом большинство частиц оказываются скрытыми в глубине и не участвуют в формировании изображения. Частично этот недостаток сглаживается тем, что расчёты можно ускорить с помощью графического процессора.

Симуляция с задействованием графического процессора

При симуляции на CPU есть две проблемы, замедляющие построение изображений в режиме реального времени. Первая проблема состоит в том, что CPU не предназначен для симуляции большого числа объектов, поскольку не обеспечивает требуемую производительность параллельных расчётов. Вторая проблема связана с тем, что отрисовка выполняется на GPU, и возникает необходимость каждый кадр передавать весь буфер частиц на графический процессор.

Для решения обеих проблем в PhysX была разработана возможность симуляции прямо на GPU. Для реализации такого подхода необходимо зарегистрировать рисуемый буфер частиц как ресурс CUDA, установить настройки сцены PhysX как рассчитываемые на GPU и создать для всех полигональных сеток сцены их зеркала. После этого в каждом кадре достаточно вызывать `CUDA__global__` функцию, которая копирует результат из буфера симуляции в буфер отрисовки (т.к. в этом процессе задействована только видеопамять, он не будет вызывать проблем).

GPU-симуляция позволяет поднять число частиц до 200000 при сохранении плавной частоты кадров. Центральный процессор для достижения той же частоты кадров, как правило, не может обрабатывать больше 10000 частиц.

Параметры симуляции

В отличие от физики обычных частиц, SPH должен просчитывать взаимодействие между частицами. Для этого в PhysX предоставлен отдельный класс, PxParticleFluid.

В PhysX имеется большой выбор параметров симуляции частиц. Наиболее важные приведены в таблице ниже.

Таблица 1. Параметры систем частиц в PhysX

| | |
|----------------------|---|
| maxMotionDistance | Определяет максимальное расстояние, которое может преодолеть частица за шаг симуляции |
| gridSize | Устанавливает величину разбиения частиц на группы, необходимую для оптимизации |
| restOffset | Минимальное расстояние между частицами и объектами в состоянии покоя |
| contactOffset | Минимальное расстояние между частицами и объектами при столкновении |
| Restitution | Коэффициент реституции(восстановления) |
| dynamicFriction | Трение скольжения частиц |
| staticFriction | Трение покоя частиц |
| Damping | Амортизация скорости для частиц |
| externalAcceleration | Внешнее ускорение, применимое к частицам |
| particleMass | Масса каждой частицы |
| Stiffness | Сжимаемость жидкости |
| Viscosity | Мера сопротивляемости жидкости к внешним силам |

Выводы

В работе рассмотрены особенности симуляции частиц при использовании движка PhysX.

Литература

1. NVIDIA PhysX Documentation – <https://developer.nvidia.com/sites/default/files/akamai/physx/Index.html>
2. Krishna Kumar. Learning Physics Modeling with PhysX. – ПАСКТ publishing – 2013.

FEATURES OF FLUID SIMULATION IN MODELS BASED ON PHYSX

Khrabrov R.N.

Peoples' Friendship University of Russia, Shaman1234@gmail.com

The features of Smoothed Particle Hydrodynamics in NVIDIA PhysX was presented in this work.

Key words: computer graphics, SPH, hydrodynamics, fluid simulation, PhysX.

ОДНОПЕРИОДНЫЕ ПОРТФЕЛЬНЫЕ СДЕЛКИ С КОМИССИЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Аль-Натор М.С.¹, Аль-Натор С.В.²

^{1,2}Финансовый университет при Правительстве РФ,

¹malnator@yandex.ru, ²salnator@yandex.ru

Решена известная задача о нахождении явных формул для ожидаемой доходности и риска портфелей с комиссией, зависящей от актива, типа позиций и от того, открывается или закрывается данная позиция. Согласно полученным формулам, ожидаемая доходность и риск портфеля являются негладкими рациональными функциями от абсолютных величин весов портфеля. Показано, что функции ожидаемой доходности и риска портфеля являются ограниченными.

Ключевые слова: портфель, ожидаемая доходность портфеля, риск портфеля, оптимальные портфели, длинная позиция, короткая позиция, реальная чистая доходность.

Введение

Данная работа является непосредственным продолжением и обобщением [1-3]. Нас побудила к этому исследованию работа [4].

В работе [3] исследована задача выбора оптимального портфеля с учетом транзакционных издержек для детерминированного случая. Критерием выбора оптимального портфеля в этом случае является реальная полная чистая доходность портфеля (учитываются комиссия, налоги и инфляция). Однако в силу нелинейности такого критерия задача максимизации доходности портфеля решается уже не столь просто как для портфелей без комиссии (Подробнее об этом вопросов см. [5]). Более того, оптимальное решение, полученное с учетом комиссионных и налогов, может существенным образом отличаться от оптимального решения, полученного без учета этих факторов. Примеры такой ситуации приведены в [5].

Перейдем к краткому изложению основных результатов. В теореме 1 получено полное решение известной задачи о нахождении явных формул для ожидаемой доходности и риска портфелей с комиссией, зависящей от актива, типа позиций и от того, открывается или закрывается данная позиция. Согласно этой теореме, эти функции являются в общем случае негладкими функциями от весов портфеля. В теореме 2 доказывается, что функции ожидаемой доходности и вариация портфелей с комиссией являются ограниченными функциями. Этот неожиданный результат не имеет аналога для портфелей без комиссии.

Обозначения и предположения

Пусть рынок состоит из n активов A_1, A_2, \dots, A_n . Портфель будем обозначать вектором весов $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ (вектор-столбец), где x_k – вес актива A_k . Заметим, что для любого портфеля \mathbf{x} выполняется бюджетное ограничение $x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$. В дальнейшем мы рассматриваем только это ограничение на веса (это так называемая модель Блека).

Всюду дальше мы рассматриваем однопериодные портфельные сделки с конечным и фиксированным инвестиционным горизонтом. Кроме того, все портфели предполагаются инвестиционными (т.е. портфели, для которых выручка от коротких продаж не покрывает расходы на открытие длинных позиций портфеля). Для простоты изложения будем предполагать, что дивиденды отдельно не выплачиваются.

Пусть R_k – случайная величина ценовой доходности актива A_k , $r_k = E(R_k)$ – ожидаемая доходность актива A_k , $R(\mathbf{x})$ – доходность портфеля \mathbf{x} без учета

транзакционных издержек, $r(\mathbf{x})$ – ожидаемая доходность портфеля \mathbf{x} . В этом случае (см. [5-7])

$$R(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^n x_k R_k = \mathbf{x}^T \mathbf{R} = (\mathbf{x}, \mathbf{R}), \quad r(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^n x_k r_k = \mathbf{x}^T \mathbf{r} = (\mathbf{x}, \mathbf{r}),$$

а риск (вариация) доходности портфеля равен

$$V(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \mathbf{C} \mathbf{x} = (\mathbf{C} \mathbf{x}, \mathbf{x}),$$

где $\mathbf{R} = (R_1, \dots, R_n)^T$, $\mathbf{r} = (r_1, \dots, r_n)^T$, (\cdot, \cdot) – стандартное скалярное произведение в \mathbb{R}^n , $\mathbf{C} = (c_{ij})_{i,j=1}^n$ – ковариационная матрица доходностей активов: $c_{ij} = \text{cov}(R_i, R_j)$.

Будем предполагать, что комиссия зависит от типа позиции (короткой или длинной) данного актива и от того, открывается или закрывается данная позиция. Введем следующие обозначения

$\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon = (\alpha_1^{\varepsilon_1}, \alpha_2^{\varepsilon_2}, \dots, \alpha_n^{\varepsilon_n})$ (соотв. $\boldsymbol{\beta}^\varepsilon = (\beta_1^{\varepsilon_1}, \beta_2^{\varepsilon_2}, \dots, \beta_n^{\varepsilon_n})$ вектор начальных (соотв. конечных) комиссий, где $\alpha_k^{\varepsilon_k}$ (соотв. $\beta_k^{\varepsilon_k}$) – комиссия при открытии (соотв. закрытии) позиции по активу A_k , $\varepsilon_k = \pm$, причем $\varepsilon_k = +$, если открывается (соотв. закрывается) длинная позиция, а $\varepsilon_k = -$ если открывается (соотв. закрывается) короткая позиция;

$$\mathbf{x}_+ = (|x_k|, |x_k|, \dots, |x_k|), \quad \mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n), \quad \mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_n),$$

где $a_k = 1 + R_k$ – случайная величина коэффициента роста актива A_k , $b_k = 1 + r_k$ – ожидаемый коэффициент роста актива A_k ;

$$\mathbf{x}_+^{\mathbf{a}} = (a_1|x_1|, a_2|x_2|, \dots, a_n|x_n|)^T, \quad \mathbf{x}_+^{\mathbf{b}} = (b_1|x_1|, b_2|x_2|, \dots, b_n|x_n|)^T;$$

$$\mathbf{x}_+^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon} = (\beta_1^{\varepsilon_1}|x_1|, \beta_2^{\varepsilon_2}|x_2|, \dots, \beta_n^{\varepsilon_n}|x_n|)^T; \quad \bar{\mathbf{x}}^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_+^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon}; \quad \boldsymbol{\gamma}^\varepsilon = \boldsymbol{\alpha}^\varepsilon + \boldsymbol{\beta}^\varepsilon.$$

Основные результаты

Теорема 1. Для доходности $R_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x})$ и ожидаемой доходности портфеля $r_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x})$ с учетом комиссий $\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon$ справедливы следующие соотношения

$$R_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x}) = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{R}) - (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+) - (\boldsymbol{\beta}^\varepsilon, \mathbf{x}_+^{\mathbf{a}})}{1 + (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)} = \frac{(\bar{\mathbf{x}}^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon}, \mathbf{R}) - (\boldsymbol{\gamma}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)}{1 + (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)},$$

$$r_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x}) = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{r}) - (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+) - (\boldsymbol{\beta}^\varepsilon, \mathbf{x}_+^{\mathbf{b}})}{1 + (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)} = \frac{(\bar{\mathbf{x}}^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon}, \mathbf{r}) - (\boldsymbol{\gamma}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)}{1 + (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)}.$$

В частности, риск (вариация) доходности портфеля определяется по формулу

$$V_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x}) = \frac{(\mathbf{C} \bar{\mathbf{x}}^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon}, \bar{\mathbf{x}}^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon})}{[1 + (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)]^2} = \frac{(\mathbf{C} \mathbf{x}, \mathbf{x}) - 2(\mathbf{C} \mathbf{x}, \mathbf{x}_+^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon}) + (\mathbf{C} \mathbf{x}_+^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon}, \mathbf{x}_+^{\boldsymbol{\beta}^\varepsilon})}{[1 + (\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \mathbf{x}_+)]^2}.$$

Заметим, что $R_{0,0}(\mathbf{x}) = R(\mathbf{x})$, $r_{0,0}(\mathbf{x}) = r(\mathbf{x})$ и $V_{0,0}(\mathbf{x}) = V(\mathbf{x})$.

Для $\mathbf{z} = (z_1, \dots, z_n) \in \mathbb{R}^n$ положим $\|\mathbf{z}\| = \sum_{k=1}^n |z_k|$ (норма вектора \mathbf{z}). Положим также, $\alpha_{\min} = \min(\alpha_1^{\varepsilon_1}, \alpha_2^{\varepsilon_2}, \dots, \alpha_n^{\varepsilon_n})$, $\beta_{\max} = \max(\beta_1^{\varepsilon_1}, \beta_2^{\varepsilon_2}, \dots, \beta_n^{\varepsilon_n})$, $\gamma_{\max} = \max(\gamma_1^{\varepsilon_1}, \gamma_2^{\varepsilon_2}, \dots, \gamma_n^{\varepsilon_n})$. Напомним, что для модели Блека предполагается только бюджетное ограничение $\sum_{k=1}^n x_k = 1$. Хорошо известно [5-7], что в модели Блека функция $r(\mathbf{x})$ неограничена, а $V(\mathbf{x})$ неограничена сверху. Поэтому содержание следующей теоремы является неожиданным и показывает феномен комиссии.

Теорема 2. Фиксируем векторы комиссий $\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon$, среди которых хотя бы один ненулевой вектор. Тогда в модели Блека функции $r_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x})$ и $V_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x})$ ограничены:

$$|r_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x})| < \frac{n(1 + \beta_{\max})\|\mathbf{r}\| + \gamma_{\max}}{\alpha_{\min}},$$

$$0 \leq V_{\boldsymbol{\alpha}^\varepsilon, \boldsymbol{\beta}^\varepsilon}(\mathbf{x}) < n \left(\frac{1 + \beta_{\max}}{\alpha_{\min}} \right)^2 \max_{1 \leq i, j \leq n} |c_{ij}|.$$

Замечание. В [2] (см. также [1, 3]) рассмотрены три важных с точки зрения практики частных случая

Частный случай 1. Комиссия не зависит от типа позиции, т.е. $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ – вектор начальных комиссий, $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ – вектор конечных комиссий.

Частный случай 2. Комиссия зависит только от актива, т.е. $\alpha = \beta = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ – вектор начальных и конечных комиссий.

Частный случай 3. Комиссия постоянна, т.е. $\alpha = \beta = (\alpha, \alpha, \dots, \alpha)$ – вектор начальных и конечных комиссий.

Выводы

Согласно полученным результатам, учет комиссии, как это бывает на реальном рынке, приводит к стабилизации рынка, связанной с ограниченностью функций ожидаемой доходности и риска портфеля. Из-за негладкости этих функций задача выбора оптимального портфеля становится негладкой. Помимо этого, оптимальное решение, полученное с учетом комиссионных и налогов, может существенным образом отличаться от оптимального решения, полученного без учета этих факторов [5].

Кроме того, полная стоимость комиссии является нелинейной (дробно рациональной) функцией позиций, это приводит к тому, что в случае комиссионных нет простой линейной связи между доходностями активов и доходностью сделки. Как показано в [5] учет налогов еще больше усложняет картину, особенно если ставки по текущему и ценовому доходу различны. Даже если ставки по обоим видам доходов равны, все равно в формуле чистого дохода появляется нелинейный член.

Отметить, что возникающие сложности носят исключительно аналитический, а не вычислительный характер.

Литература

1. Al-Nator M.C., Al-Nator S.V., Kasimov Yu. F. Portfolio analysis with transaction costs under uncertainty // XXXII International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models. – June, Trondheim, Norway. – Moscow, IPI RAN. – 2014. – Pp. 14–16.
2. Al-Nator M.C., Al-Nator S.V., Kasimov Yu. F. Portfolio analysis with transaction costs under uncertainty // Journal of Mathematical Sciences, Springer Science+Business Media New York (в печати).
3. Kasimov Yu. F., Al-Nator M. S., Al-Nator S.V. Choice of optimal portfolio with transaction costs for one-period deterministic model // Materials XXXI International Seminar on Stability Problems for Stochastic Models. – Moscow, IPI RAN. – 2013. – Pp. 90–93.
4. Lobo M. S., Fazel M., Boyd S. B. Portfolio optimization with linear and fixed transaction costs // Ann. of Operations Res. – 152. – No. 1. – 2007. – Pp 341–365, Springer Netherlands.
5. Аль-Натор М.С., Касимов Ю.Ф., Колесников А.Н. Основы финансовых вычислений. Часть 2. Учебное пособие. Финансовый университет. 2013.
6. Аль-Натор М.С., Касимов Ю.Ф., Колесников А.Н. Основы финансовых вычислений. Часть 3. Учебное пособие. Финансовый университет. 2014.
7. Luenberger D.G. Investment science. Oxford University Press, New York. 2013.

ONE-PERIOD PORTFOLIO TRANSACTIONS WITH COMMISSION UNDER UNCERTAINTY

Al-Nator M.S.¹, Al-Nator S.V.²

^{1,2}Financial University under the Government of Russian Federation,

¹malnator@yandex.ru, ²salnator@yandex.ru

The well-known problem of finding explicit formulas for the expected return and risk of the portfolio with commission is completely solved. It is assumed that the commission depends on the asset and the asset position, and whether the given position is opened or closed. It is shown that the expected portfolio return and portfolio variance for portfolios with commission are in the general case unsmooth rational functions of the absolute value of portfolio weights. We prove that the function of expected portfolio return and portfolio variance function with commission are bounded.

Key words: portfolio, expected portfolio return, portfolio risk, optimal portfolios, long position, short position, real net return.

ПОСТРОЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ПО ПОРТФЕЛЮ ОДНОРОДНЫХ ССУД КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

¹Аль-Натор С.В., ²Мальцева Т.А.

^{1,2}Финансовый Университет при Правительстве РФ,²ОАО «Сбербанк России»,
¹salnator@yandex.ru, ²tatiana.malts@gmail.com

Данная работа посвящена построению универсальной модели как для прогнозирования финальных потерь по портфелю однородных ссуд коммерческого банка, так и для построения его эволюции в разрезе уровней просрочки на всем сроке жизни. На практике для решения такого рода задач, как правило, используются разные модели. Вследствие этого имеет место значительная погрешность в расчетах в связи с различными применяемыми методами. Данный подход устраняет вышеуказанную ошибку и увеличивает точность прогноза за счет учета фактической формы кривой финальных потерь без использования общепринятых шаблонов.

Ключевые слова: дефолт, портфель однородных ссуд, финальные потери (NCL), PD, LGD, кредитный риск, матрица миграций, модель Марковских цепей.

Введение

Классический вид кривой потерь по портфелю однородных ссуд (ПОС) имеет логарифмический вид. Однако на практике данная кривая имеет множество вариаций, которые зависят как от внутренних правил, направленных на минимизацию риска и мотивацию клиентов банка на погашение долга, так и от внешних макроэкономических течений.

Целью данной работы является построение универсальной модели прогнозирования финальных потерь по ПОС для ниже описанных ситуаций.

1. От общего к частному. В случаях, когда необходимо контрольное значение потерь для долгосрочных задач, например, при определении будущей ставки по продукту, форма кривой потерь неважна, требуется только контрольная цифра на последнем месяце жизни портфеля кредитов.

2. От частного к общему. Для анализа динамики портфеля необходимо видеть движение доли просроченных денежных средств банка, а потому требуется подробное прогнозирование потерь на каждый отчетный период.

Результаты, приведенные в данной работе, получены на основе анализа данных одного из топ-30 банков России. Название банка не приводится в целях соблюдения политики конфиденциальности.

Построение модели

I. Частный вид модели

В качестве основы модели взята формула расчета ожидаемых потерь по портфелю $EL(expectedloss)$ из Базеля II:

$$EL = PD * LGD, \quad (1)$$

где PD (*probability of default*) – вероятность наступления дефолта по пулу контрактов; LGD (*loss given default*) – объем средств, которые теряет банк при дефолте заемщика. В качестве дефолта принимается переход кредита на просрочку свыше 90 дней.

Проводится корректировка данной формулы на выбывающие в процессе жизни портфеля контракты. В некоторых научных разработках учитывается доля задолженности, которую в случае дефолта заемщика удастся вернуть путем исполнения

гарантий и реализации залога. Но в данном случае дефолт не принимается во внимание, так как банк должен возвращать ссуженные средства не за счет реализации залога, а за счет качественного анализа рисков. Поэтому формула Базеля II корректируется на показатели *RecRate* (*Recovery Rate*) – коэффициент возврата из дефолта и K_s – коэффициент списания безнадежных к взысканию кредитов:

$$RecRate^{90+} = \frac{\sum_{t=1}^T r(t)}{\sum_{t=1}^T N_t^{90+}}, \quad (2)$$

где N_t^{90+} – объем кредитов, находящихся в просрочке свыше 90 дней на момент времени t ; $r(t)$ – объем кредитов, по которым полностью погашена просроченная задолженность на момент времени $t + 1$.

$$K_s = \frac{\sum_{t=1}^T k_s(t)}{\sum_{t=1}^T N_t^{90+}}, \quad (3)$$

где K_s – объем кредитов, которые были списаны на момент времени t . Тогда формула (1) принимает вид:

$$EL = PD * LGD * (1 - RecRate - K_s) \quad (4)$$

Показатели *RecRate* и K_s вместе представляют собой коэффициент выбытия договоров для этой модели:

$$Outflow = RecRate + K_s \quad (5)$$

$$EL = PD * LGD * (1 - Outflow) \quad (6)$$

В некоторых источниках PD оценивается по пулу заемщиков. Однако, с точки зрения автора, это не совсем корректно. Так как основным оцениваемым объектом является портфель, то наиболее достоверную оценку вероятности дефолта можно получить из анализа движения денежных средств внутри него в разрезе ступеней просрочки.

II. Анализ матрицы миграции

Наиболее емко и объективно эволюцию портфеля описывает матрица миграций кредитов. Данный метод анализа движения просрочки в рамках одного портфеля называют также моделью Марковских цепей.

Как показывает практика, оптимальным горизонтом является 6 месяцев, так как на этом уровне относительная ошибка исчисляется десятками долями процента (при исключении выбросов).

В процессе работы с матрицами миграции была оценена динамика вероятностей переходов договоров между интервалами просрочки.

Условно все интервалы были разделены на две группы: от 0 до 6 и от 7 до 13 (номера интервалов просрочки). Например, 0, если по кредитному договору нет просроченной задолженности, и 1, если по кредитному договору текущий срок задолженности от 1 до 30 дней, 13 – свыше 330 дней и т.д.

В первой группе максимальный срок просрочки – 180 дней. Во второй группе срок просрочки может быть больше 330 дней. Принимается, что i – начальный интервал движения кредита на момент его рассмотрения, t, j – интервал на момент времени $t + 1$, в который перешел кредит. Тогда справедливы следующие утверждения: $i > j$ (производится погашение долга), $i = j$ (производится частичное погашение долга), $i < j$ (погашение долга не производится).

Главный вывод проведенного исследования - динамика вероятностей переходов не зависит от того, в каком интервале просрочки находится договор.

III. Общий вид модели

Для случая поточечного прогнозирования кривой финальных потерь формула (6) преобразуется в следующую:

$$EL_t = PD_{t-1}^{(61-90)} * LGD_{t-1}^{(61-90)} * (1 - RecRate^{(61-90)}) + PD_{t-1}^{90+} * LGD_{t-1}^{90+} * (1 - RecRate^{90+} - K_s), \quad (7)$$

где $PD_{t-1}^{(61-90)}$ (PD_{t-1}^{90+}) – вероятность перехода кредитов с просрочкой от 61 до 90 дней в пул кредитов с просрочкой свыше 90 дней (остаться с просрочкой свыше 90 дней); LGD_{t-1}^{60+} (LGD_{t-1}^{90+}) – объем средств, которые теряет банк при дефолте заемщика со сроком просрочки от 61 до 90 дней (свыше 90 дней); $RecRate^{60+}$ ($RecRate^{90+}$) – коэффициент перехода кредитов из пула просрочки от 61 до 90 дней в пул с меньшей просрочкой (коэффициент возврата из дефолта).

Для пула договоров с просрочкой от 61 до 90 дней не принимается в расчет коэффициент K_S , так как контракт может быть списан только при просрочке свыше 90 дней.

Выводы

1. Динамика вероятностей переходов не зависит от того, в каком интервале просрочки находится договор. Другими словами, это означает, что динамика вероятностей частичного, полного погашения или его отсутствия изменяется с увеличением возраста контракта, но не зависит от возраста просрочки, то есть они одинаковы для договоров на просрочке 30 и 330 дней.

2. Построенная в данной работе модель может быть использована как для нахождения финальных потерь по портфелю, так и для построения прогнозной формы кривой.

3. Модель не требует рассмотрения отдельных характеристик заемщиков и контрактов. Данное обстоятельство увеличивает точность модели, так как совокупные риски по портфелю отличаются от рисков отдельно рассмотренных контрактов.

4. Проведенная корректировка учитывает выбывающие из портфеля контракты вследствие их миграции в меньшие бакееты просрочки и списания.

5. Следующим этапом в развитии модели может стать включение в нее неожиданных потерь UL (unexpected loss) и модификация в модель Value-at-risk.

Литература

1. Anolli M., Beccalli E., Giordani T. Retail Credit Risk Management// Palgrave macmillan studies in banking and financial institutions – 2013.
2. Basel Committee on Banking Supervision. An explanatory Note on the Basel II IRB Risk Weight Functions – July 2005.
3. Carol A. Value-at-Risk Models. Market Risk Analysis. Volume IV// John Wiley&Sons, Ltd – 2008.
4. Gregorip G.N. The VaR implementation handbook. Financial risk and applications in asset management, measurement, and modeling// McGRAW-HILL FINANCE&INVESTING – 2009.

DEVELOPING THE MULTIPURPOSE MODEL OF PHL'S NET CREDIT LOSS FORECASTING OF THE COMMERCIAL BANK

¹Al-Nator S.V., ²Maltseva T.A.

^{1,2}Financial University under the Government of The Russian Federation, ²«Sberbank of Russia»,
¹salnator@yandex.ru, ²tatiana.malts@gmail.com

This article presents a developing of the multipurpose model for two goals. The first is to forecast PHL's credit loss of the commercial bank, the second is to analyze its bucket evolution throughout all the periods of life. In practice, these problems are usually solved by two different ways. As a result, significant error appears in the calculations due to the different methods used. Author's approach reduces the error mentioned before and increases forecast accuracy by taking into account shape of NCL curve without using common templates.

Keywords: default, portfolio of homogeneous loans (PHL), net credit loss (NCL), PD, LGD, credit risk, migration matrix, Markov chain model.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОЖИДАЕМОЙ ПОЛЕЗНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ

¹Аль-Натор М.С., ²Павлюк О.И.

^{1,2}Финансовый университет при Правительстве РФ,

¹malnator@yandex.ru, ²pavlyuk.olesya@yahoo.com

В работе описаны алгоритмы оптимизации ожидаемой полезности портфеля, в частности метод свопов и метод обратной оптимизации.

Ключевые слова: распределение активов, оптимизация портфеля, анализ среднего-дисперсии, функция ожидаемой полезности, предельная полезность, своп.

Введение

Большая часть современной инвестиционной теории и практики построена на предположении Марковица о том, что инвестор заинтересован исключительно в оценке среднего и риска доходности его портфеля за определенный период (инвестиционный горизонт) в будущем [1-5]. Однако эта теория базируется на некоторых допущениях, например, о нормальности распределения доходностей активов и портфеля, о квадратичности функции полезности портфеля инвестора. Тогда как эти допущения являются лишь частным случаем рассматриваемой задачи оптимизации.

В данной работе будут описаны методы прямой и обратной оптимизации ожидаемой полезности, которые представляют собой более общий подход к решению задачи нахождения оптимального портфеля, так как позволяют исходить из других распределений доходности и вводить разнообразные (в том числе неквадратичные) функции полезности, описывающие предпочтения инвестора.

Постановка задачи и метод свопов

Основная цель состоит в максимизации полезности eu портфеля p , которая представляет собой математическое ожидание полезностей $u(R_{ps})$ при наступлении различных сценариев в будущем

$$eu = \sum_s \pi_s u(R_{ps}), \quad (1)$$

где π_s – вероятность наступления сценария s .

Соответственно, первая производная выражения (1) представляет собой предельную полезность портфеля. Сравнивая предельные полезности различных классов активов, составляющих портфель, нетрудно сделать простой вывод о том, можно ли улучшить портфель, совершив своп путем продажи единицы актива с наименьшей полезностью и покупки актива с наибольшей. Оптимальный портфель будет найден в случае, если дальнейшие улучшения уже невозможны, то есть когда предельные полезности различных классов активов равны или их веса достигли своих верхних (нижних) допустимых границ.

При этом в качестве функции полезности доходности может выступать не только квадратичная функция

$$u(R) = R - \frac{k}{2} R^2 \quad (2)$$

с предельной полезностью, соответственно,

$$m(R) = 1 - kR \quad (3)$$

но и иные, более сложные, например, функция HARA (с гиперболической абсолютной несклонностью к риску):

$$u(R) = \frac{(R-b)^{1-c}}{1-c}, \quad (4)$$

где b – минимальный установленный инвестором уровень доходности. Здесь значения $b > 0$ ($b < 0$) характеризуют инвесторов с убывающей (возрастающей) относительной несклонностью к риску. Тогда как при $b = 0$ говорят, что инвестор имеет постоянную

относительную несклонность к риску – довольно важный частный случай гиперболической функции полезности.

Отличающиеся результаты оптимизации разных функций свидетельствуют о том, что оптимальный портфель, полученный классическим методом оценки среднего и дисперсии, не будет таковым для инвестора с неквадратичной функцией полезности.

Обратная оптимизация

Независимо от того, какой подход используется для оптимального распределения активов в портфеле, адекватность результата оптимизации зависит от качества принятых входных данных. Как минимум, эти данные должны учитывать исторические доходности, текущую рыночную стоимость рассматриваемых активов и наиболее вероятные предположения о взаимосвязи с доходностями других активов на рынке. Для оценки требуемых ожидаемых доходностей с учетом перечисленных условий активно используется популярная модель CAPM.

Таким образом, задача обратной оптимизации состоит в получении будущих ожидаемых доходностей $E(R_i)$:

$$E(R_i) = E(R_i^o) + d_i, \quad (5)$$

где R_i^o – исторические доходности i -ого актива, d_i – разница-константа, которую необходимо найти.

Исходя из условия оптимальности рыночного портфеля

$$\sum_s R_{ms} \pi_s m(R_{ms}) = R_f \sum_s \pi_s m(R_{ms}), \quad (6)$$

где R_{ms} – доходность рыночного портфеля для сценария s , $m(R_{ms})$ – её предельная полезность, R_f – доходность безрискового актива (одинакова для всех сценариев), нетрудно найти параметры функции полезности и искомые константы d_i .

Для функции (2) подставив (3) в уравнение (6), после некоторых элементарных преобразований получим выражение для квадратичного параметра k

$$k = \frac{E(R_m) - R_f}{E(R_m^2) - R_f E(R_m)}. \quad (7)$$

Тем самым получим уровень насыщения доходности $\frac{1}{k}$.

Наконец, подставив выражение требуемой ожидаемой доходности i -ого класса активов для сценария s

$$R_{is} = R_{is}^o + d_i \quad (8)$$

в уравнение (6), найдём искомую разницу

$$d_i = \frac{R_f \sum_s \pi_s m(R_{ms}) - \sum_s R_{is}^o \pi_s m(R_{ms})}{\sum_s \pi_s m(R_{ms})}. \quad (9)$$

Выводы

Описанные подходы оптимизации порождают множество довольно разнообразных решений, так как позволяют учитывать предпочтения инвесторов с неквадратичной функцией полезности, а также произвольные предположения инвестора о будущих сценариях, которые могут быть заданы абсолютно любым способом, к примеру, некоторым более сложным распределением, чем нормальным.

Если прогнозы инвестора относительно будущего поведения рынка окажутся достаточно достоверными, выигрыш от оптимизации будет весьма значительным.

Включение в задачу оптимизации нескольких классов активов также возможно, и даёт неплохие результаты.

Литература

1. *William F. Sharpe*. Expected Utility Asset Allocation. September, 2006.
2. *William F. Sharpe*. Investors and Markets: Portfolio Choices, Asset Prices and Investment Advice, Princeton: Princeton University Press, 2007.

3. Аль-Натор М.С., Касимов Ю.Ф., Колесников А.Н. Основы финансовых вычислений. Часть 2. Учебное пособие. Финансовый университет. 2013.
4. Аль-Натор М.С., Касимов Ю.Ф., Колесников А.Н. Основы финансовых вычислений. Часть 3. Учебное пособие. Финансовый университет. 2014.
5. Luenberger D.G. Investment science. Oxford University Press, New York. 2013.

EXPECTED UTILITY PORTFOLIO OPTIMIZATION PROCEDURES

¹Al-Nator M.S., ²Pavlyuk O.I.

^{1,2}Financial University under the Government of the Russian Federation,

¹malnator@yandex.ru, ²pavlyuk.olesya@yahoo.com

The focus of this paper is on the describing of expected utility portfolio optimization approaches, particularly swap method and expected utility reverse optimization.

Key words: asset allocation, portfolio optimization, mean-variance analysis, expected utility function, marginal utility, swap.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ В ДВУХБАРЬЕРНОЙ ОТКРЫТОЙ ЯМЕ

Амирханов И.В., Саркар Н.Р., Сархадов И., Тухлиев З.К., Шарипов З.А.

Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, sarker@jinr.ru

В работе проведено исследование решений квазистационарных состояний в рамках квазипотенциального уравнения с кусочно-постоянными потенциалами при различных значениях параметра ε , входящего в уравнение и параметров потенциалов. Проведен сравнительный анализ решений квазипотенциального уравнения при различных значениях ε с решениями уравнения Шредингера.

Ключевые слова: квазистационарные состояния, квазипотенциальное уравнение, оператор сдвига, кусочно-постоянные потенциалы.

Введение

Современные экспериментальные возможности создания многослойных наногетеросистем позволяют получать и исследовать как закрытые, так и открытые квантовые точки [1]. Важной особенностью открытых систем по сравнению с закрытыми является возможность управления дополнительным каналом релаксации энергии квазичастиц из-за их ухода из квантовой точки в открытое пространство внешней среды.

Открытые наносистемы представляют несомненный интерес и с теоретической точки зрения, так и как при определенных условиях в них возникают квазистационарные состояния с мало излученными или совсем не излученными свойствами. Такая ситуация имеет место в наносистемах с низкими и узкими потенциальными барьерами, из-за чего квазичастицы в них слабо локализованы.

В открытых наносистемах из-за малой эффективной массы электронов и малой энергии потенциальных барьеров характер квазистационарных состояний оказывается весьма чувствительным к толщине слоя барьера. Поэтому возникает необходимость детально исследовать спектральные характеристики

В данной работе мы исследуем квазистационарные состояния в рамках квазипотенциального уравнения [2] и уравнения Шредингера с различными кусочно-постоянными потенциалами, и проведем сравнительный анализ полученных решений. Исследуем решения квазистационарных состояний для следующего уравнения

$$[E_\varepsilon - H_\varepsilon - V(r)]\psi(r) = 0, \quad (1)$$

где $E_\varepsilon = \frac{2q^2}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 q^2} + 1}$, $H_\varepsilon = \frac{2}{\varepsilon^2} \left[ch\left(i\varepsilon \frac{d}{dr}\right) - 1 \right]$, ε - безразмерный параметр,

$V(r)$ - потенциал взаимодействия. Если оператор $ch\left(i\varepsilon \frac{d}{dr}\right)$ разложить в ряд, то уравнение (1) можно свести к дифференциальному уравнению бесконечного порядка.

При $\varepsilon \rightarrow 0$, $E_\varepsilon \rightarrow q^2$, $H_\varepsilon \rightarrow -\frac{d^2}{dr^2}$, уравнение (1) переходит в нерелятивистское уравнение Шредингера

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} - V(r) + q^2 \right] \psi(r) = 0. \quad (2).$$

Поэтому особую актуальность приобретает методы поиска таких решений квазистационарных состояний для уравнения (1), которые при $\varepsilon \rightarrow 0$ стремятся к

решениям аналогичных квазистационарных состояний для уравнения Шредингера (2). Тогда отличие этих решений при $\varepsilon \neq 0$ можно интерпретировать как релятивистский эффект.

Как и в предыдущей нашей работе [3], исследуем решений квазистационарных состояний для уравнения (1) с использованием оператора сдвига $e\partial r \left(\pm i\varepsilon \frac{d}{dr} \right) f(r) = f(r \pm i\varepsilon)$. Проведен сравнительный анализ решений квазипотенциального уравнения (1) с решениями уравнения Шредингера (2) для прямоугольной потенциальной ямы, которая показана на рис.1.

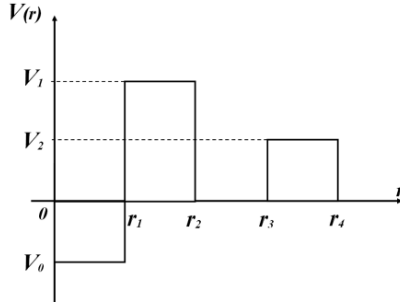


Рис.1 Тип потенциала

Постановка задачи

Для нахождения квазистационарных состояний уравнения (1) и (2) решаем со следующими граничными условиями:

$$\psi(r)|_{r=0} = 0 \text{ и } \psi(r)|_{r \rightarrow \infty} \sim \exp(ikr) .$$

С учетом этих граничных условий решения уравнений (1) и (2) для прямоугольной ямы (рис.1) ищем в виде

$$\begin{aligned} \psi_1(r) &= A_1 \sin(k_1 r), & 0 \leq r \leq r_1 \\ \psi_2(r) &= \begin{cases} A_{21} \exp(-k_2 r) + A_{22} \exp(k_2 r), & V_1 > E \\ A_{21} \cos(k_2 r) + A_{22} \sin(k_2 r), & V_1 < E \end{cases}, & r_1 \leq r \leq r_2 \\ \psi_3(r) &= A_{31} \cos(kr) + A_{32} \sin(kr), & r_2 \leq r \leq r_3 \\ \psi_4(r) &= \begin{cases} A_{41} \exp(-k_4 r) + A_{42} \exp(k_4 r), & V_2 > E \\ A_{41} \cos(k_4 r) + A_{42} \sin(k_4 r), & V_2 < E \end{cases}, & r_3 \leq r \leq r_4 \\ \psi_5(r) &= A_5 \exp(ikr), & r_4 \leq r < \infty \end{aligned} \quad (3)$$

Поставляя решения (3) в уравнение (2), находим

$$k_1 = \sqrt{V_0 + E}; \quad k_2 = \begin{cases} \sqrt{V_1 - E}, & V_1 > E, \\ \sqrt{E - V_1}, & V_1 < E, \end{cases}; \quad k = \sqrt{E}; \quad k_4 = \begin{cases} \sqrt{V_2 - E}, & V_2 > E, \\ \sqrt{E - V_2}, & V_2 < E, \end{cases} \text{ и подставляя (3)}$$

в уравнение (1), находим

$$k_1 = \frac{1}{\varepsilon} \operatorname{arccch} \left[1 + \frac{\varepsilon^2}{2} (V_0 + E) \right]; \quad k_2 = \begin{cases} \frac{1}{\varepsilon} \arccos \left[1 - \frac{\varepsilon^2}{2} (V_1 - E) \right], & V_1 > E; \\ \frac{1}{\varepsilon} \operatorname{arccch} \left[1 + \frac{\varepsilon^2}{2} (E - V_1) \right], & V_1 < E; \end{cases};$$

$$k = \frac{1}{\varepsilon} \operatorname{arccch} \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{2} E \right); \quad k_4 = \begin{cases} \frac{1}{\varepsilon} \arccos \left[1 - \frac{\varepsilon^2}{2} (V_2 - E) \right], & V_2 > E, \\ \frac{1}{\varepsilon} \operatorname{arccch} \left[1 + \frac{\varepsilon^2}{2} (E - V_2) \right]; & V_2 < E, \end{cases}.$$

Из условий непрерывности функции $\psi(r)$ и её первой производной в точках r_1, r_2, r_3, r_4 для нахождения E_1, E_2 , для уравнения (2), получаем выражения $f_1(E_1, E_2) = 0$, а для уравнения (1) модифицирую условия сшивания (в тех же точках), а именно производной функции $L\psi(r)$, где $L = \frac{1}{\varepsilon} \left(e^{\frac{d}{dr}} - 1 \right)$, $L \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{d}{dr}$ получаем

выражение $f_2(E_1, E_2, \varepsilon) = 0$. При $\varepsilon \rightarrow 0$ выражение f_2 стремится к выражению f_1 , что означает решения уравнения (1) стремятся к решениям уравнения (2).

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, № 13-01-00595а, 14-01-00628а.

Литература

1. Ткач Н.В., Сети Ю.А. Спектр и свойства сечения рассеяния электронов в открытых сферических квантовых точках. Физика и техника полупроводников. -2009. -том 43. - вып. 3. -С.357-363.
2. Кадышевский В.Г., Мур-Касимов Р.М., Скачков Н.Б. ЭЧАЯ, -1971.-Т. 2. -№3. -С.637-690.
3. Амирханов И.В., Саркар Н.Р., Сархадов И., Тухлиев З.К., Шарипов З.А.. Исследование решений квазистационарных состояний в рамках квазипотенциального уравнения. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, РУДН, 22-25 апреля 2014 года. –С. 185-187.

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF QUASISTATIONARY STATES IN DOUBLE-BARRIER OPEN WELL

Amirkhanov I.V., Sarker N.R., Sarhadov I., Tukhliev Z.K., Sharipov Z.A.

Laboratory of information technologies, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, sarker@jinr.ru

Investigation of the quasi-stationary states is carried out for the quasi-potential equation with piecewise-constant potentials at various values of the parameter of the equation ε and the potential parameters. A comparative analysis of solutions of the quasi-potential equation for the different values of ε with the solutions of the Schrodinger equation is performed.

Key words: quasistationary states, the quasipotential equation, the shift operator, piecewise constant potentials.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МАТЕРИАЛАХ, ОПИСЫВАЕМЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМИ УРАВНЕНИЯМИ

Амирханов И.В., Саркар Н.Р., Сархадов И., Тухлиев З.К., Шарипов З.А.

Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований,
Дубна, zafar@jinr.ru

В данной работе проведено численное исследование решений параболических и гиперболических уравнений теплопроводности при одинаковых физических параметрах и проведен сравнительный анализ полученных результатов. Представлена математическая постановка задачи, приведены численные результаты.

Ключевые слова: параболические и гиперболические уравнения, законы Фурье и Фика, теплопроводность.

Введение

При исследовании процессов переноса нельзя пройти мимо одного общего парадокса качества, присущего параболическим уравнениям в частных производных, уравнению теплопроводности и уравнению диффузии. Это качество – бесконечно большая скорость распространения теплового (концентрационного) возмущения. С другой стороны, ясно, что бесконечно большой скоростью распространения сигнала быть не может. Вывод уравнения переноса содержала два основных элемента. Первое, уравнение баланса (закон сохранения тепла).

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{C} \operatorname{div} \vec{q} = \frac{1}{C} A, \quad (1)$$

где T - температура, C - коэффициент теплоемкости (на единицу объема), A - плотность мощности источника. Второе, линейное соотношение между полями и потоками (закон Фурье)

$$\vec{q} = -\lambda \operatorname{grad} T, \quad (2)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, \vec{q} - плотность потока тепла. Из (1) и (2) получаем уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\lambda}{C} \Delta T = \frac{1}{C} A, \quad (3)$$

где Δ - лапласиан.

Отсюда проистекают попытки усовершенствовать законы Фурье и Фика, вводя в них дополнительные члены, учитывающие ещё и скорость процесса (производную от потока по времени). Тогда получается гиперболическое уравнение теплопроводности, содержащее параметр релаксации τ [1-2].

$$\vec{q} = -\lambda \operatorname{grad} T - \tau \frac{\partial \vec{q}}{\partial t}, \quad (4)$$

где τ - время релаксации теплового потока, связанное со скоростью распространения теплоты v_T соотношением $v_T = \sqrt{\lambda/C\tau}$. Тогда вместо уравнения (3) получаем

$$\tau \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C} \Delta T + \left(A + \tau \frac{\partial A}{\partial t} \right) / C. \quad (5)$$

Уравнение (5) отличается от (3) двумя новыми слагаемыми. Первое, $\tau \partial^2 T / \partial t^2$ отражает тот факт, что процесс молекулярного переноса в действительности носит не параболический, а гиперболический характер. Решение такого уравнения имеет фронт волны, перемещающейся с постоянной конечной скоростью $v = \sqrt{\lambda / C \tau}$, если $v \rightarrow \infty$ (то есть $\tau \rightarrow 0$), то мы получаем уравнение (1). Второе слагаемое, $\tau \frac{\partial A}{\partial t} / C$, показывает что, на температуру T оказывает влияние не только мощность ее источников, но и изменение этой мощности во времени.

Гиперболическая модель теплопроводности широко применяется на практике [3-5]. Для металлов [3] $\tau = 10^{-11} \text{ с}$, для стали $v_T = 1800 \text{ м/с}$, для алюминия $v_T = 2830 \text{ м/с}$, для аморфных тел типа стекло и полимеров, имеющих сложную структуру, время релаксации достигает значений ($10^{-7} - 10^{-5}$).

В настоящей работе проводится сравнительный анализ решений уравнений (3) и (5) на одномерных модельных задачах с различными начальными и граничными условиями.

При численном моделировании уравнениями (3) и (5) переходим к безразмерным величинам и переменным:

$$\bar{T} = T / \Delta T, \quad \bar{x} = x / \Delta x, \quad \bar{t} = t / \Delta t, \quad \bar{\tau} = \tau / \Delta t, \quad \text{где } \Delta T = 300 \text{ К}, \quad \Delta x = 10^{-5} \text{ м}, \quad \Delta t = 10^{-7} \text{ с}.$$

Так как $10^{-11} \text{ с} \leq \tau \leq 10^{-5} \text{ с}$, то $10^{-4} \leq \bar{\tau} \leq 100$.

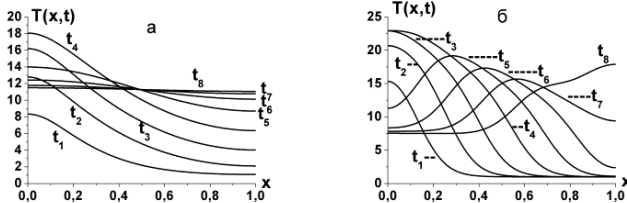
Используя трехслойную явную схему [6], решаем уравнение (6) со следующими начальными и граничными условиями

$$\bar{T}(\bar{x}, 0) = 1, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{t}} \Big|_{\bar{t}=0} = 0, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = 0, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=1} = 0 \quad \text{для источника}$$

$$\bar{A}(\bar{x}, \bar{t}) = \bar{A}_0 f_1(\bar{x}) f_2(\bar{t}), \quad f_1(\bar{x}) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha_1(\bar{x} - \bar{x}_0))}, \quad f_2(\bar{t}) = \frac{1 - \exp(-\alpha_2 \bar{t})}{1 + \exp(\alpha_2(\bar{t} - \bar{t}_0))},$$

где $\bar{x}_0 = 0.1$, $\alpha_1 = 20$, $\alpha_2 = 30$, $\bar{A}_0 = 100$, $\bar{t}_0 = 1$.

На рис.1. приведены динамика профилей температур для разных \bar{t} и разных α_2 (α_2 - определяет временную зависимость мощности источника).



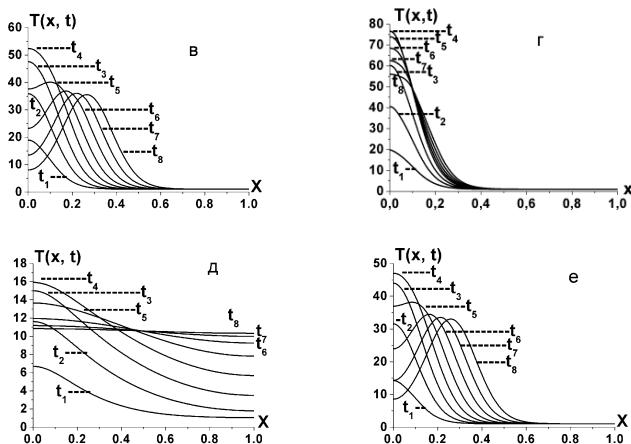


Рис.1. Динамики профилей температур для уравнений (3) ($\bar{\tau} = 0$) и (5) ($\bar{\tau} = 0, 1, 10, 100$) уравнений теплопроводности при временах $t_i = 0.25 \cdot i$ ($i=1, 2, \dots, 8$). Рис. а, б, в, з при

$\alpha_2 = 30$, а рис. д, е при $\alpha_2 = 10$, $\bar{\tau} = 10$.

Численные результаты подтверждают выше перечисленные выводы.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, №. 13-01-0595а, 14-01-00628а.

Литература

1. Лыков В., Теплообмен: 2-ое изд., М. Энергия, 1978, 480с.
2. Vernott P. Computes Rendus. 1958. Vol.246, N 22, P.3154, 3155.
3. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твёрдых тел. 2001. Москва, высш. Шк.480 с.
4. Кудинов В.А., Кудинов И.В. Исследование теплопроводности с учетом конечной скорости распространения теплоты. Теплофизика высоких температур. №.4, 2012.
5. Шашков А.Г., Бубнов В.А., Яновский С.Ю. Волновые явления теплопроводности: Системно-структурный подход. М.:Едиториал, УРСС, 2004, 296с.
6. Самарский А.А. Введение в численные методы. М.: Наука, 1982, 272с

INVESTIGATION OF THE THERMAL PROSESSES IN MATRIALS DESCRIBED BY A PARABOLIC AND HYPERBOLIC EQUATIONS

Amirhanov I.V., Sarker N.R., Sarhadov I., Tukhliev Z.K, Sharipov Z.A.

Laboratory of information technologies, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia, zafar@jinr.ru

In this paper, a numerical study of solutions of parabolic and hyperbolic equations of heat conduction with the same physical characteristics and comparative analysis of the results are performed. The mathematical formulation of the problem is presented, the numerical results are conducted.

Keywords: parabolic and hyperbolic equations, Fourier and Fick's laws, the thermal conductivity

СХЕМА РАНЖИРОВАНИЯ ЯДЕРНО - И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ЧИСЕЛ

Бочкарев В.В.¹, Краев А.В.², Устинова Ю.Г.^{1,2}, Ханбикова Д.Т.^{1,2}

¹Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

В настоящем докладе представлена схема ранжирования ядерно - и радиационно опасных объектов на основе нечетких чисел с целью определения приоритетов при принятии управленческих решений, связанных с обеспечением ядерной и радиационной безопасностью.

Ключевые слова: Ядерно - и радиационно опасные объекты (ЯРОО), частные показатели потенциальной опасности, сводный показатель потенциальной опасности, экспертные оценки, нечеткие числа.

Среди планируемых в рамках Федеральной целевой программы «Ядерная и радиационная безопасность России на период 2008-2015 гг.» мероприятий по обеспечению ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) особую важность имеет задача разработки системных оценок финансового и материального обеспечения ЯРБ ЯРОО [1-3].

Информационно-математическая модель и реализующая её компьютерная программа поддержки принятия решений при управлении ЯРБ ЯРОО будут одной из важных дополняющих частей информационной системы ЯРБ.

Экономически эффективное финансовое и материальное обеспечение ЯРБ требует разработки научно обоснованных принципов и численных критериев ЯРБ для различных типов ЯРОО и расчета финансовых и материальных затрат для достижения необходимого уровня ЯРБ и уровней неопределенности [3].

ЯРБ характеризуется необходимостью реализации целого комплекса взаимосвязанных мероприятий организационного, технического, технологического и экономического характера.

Планируемые величины целевых показателей реализации мероприятий характеризуются значительной степенью неопределенности, обусловленной влиянием на них различного рода факторов внешнего и внутреннего характера (отсутствие необходимых управленческих компетенций, технологий, инфраструктуры, волатильностью стоимости выполнения тех или иных работ и др.).

Таким образом, для методического обеспечения ЯРБ необходимо создать математические модели для оценки потенциальной опасности и решить следующие задачи:

1. Определить частные показатели ядерной, радиационной и других опасностей ЯРОО.
2. Рассчитать частные показатели ядерной, радиационной и других опасностей для ЯРОО различных типов.
3. Провести классификацию (ранжирование) ЯРОО по степени их потенциальной опасности с помощью предложенной схемы, использующей нечеткие числа, и объединить частные показатели в один сводный комплексный критерий.

Для каждого ЯРОО выделяется несколько групп частных показателей, характеризующих различные аспекты их потенциальной опасности для населения и окружающей среды. В каждой из этих групп производится свертывание частных показателей в один комплексный показатель этой группы. На втором этапе схемы ранжирования ЯРОО производится сворачивание комплексных групповых показателей в

один сводный критерий, значение которого для каждого ЯРОО и устанавливает их ранжирование по степени потенциальной опасности [4].

Рассматривается n объектов, каждый из которых оценивается совокупностью m показателей.

Обозначим через K_{ij} значение j -го показателя для i -го объекта.

Ставится задача ранжирования объектов по значениям сводного комплексного критерия, объединяющего все частные показатели. Такого рода задача ставится, в частности, при оценках ЯБ ЯРОО. Не умаляя общности, предполагается, что все показатели характеризуют рассматриваемый объект в одном направлении, т.е. чем больше значение показателя, тем более значительный по ранжированию будет объект.

Все учитываемые частные показатели ЯРОО агрегируются в один комплексный критерий.

Сводный комплексный критерий K_i i -го объекта подсчитывается по следующей схеме

$$K_i = \sum_{j=1}^m \frac{K_{ij}}{\sum_{i=1}^n K_{ij}} \cdot \omega_j, \quad (1)$$

где $\omega_j, j=1, \dots, m, \omega_j > 0, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1, \omega_j$ – коэффициенты приоритета показателей.

Для нахождения коэффициентов приоритета показателей $\omega_j, j=1, \dots, m$ можно использовать схему, объединяющую экспертные оценки приоритетов показателей.

Схема основана на использовании нечетких чисел [5].

Каждый k -й эксперт, $k=1, \dots, N$ указывает возможные значения коэффициентов приоритета в виде нечетких чисел с функциями принадлежности

$$\varphi_{kj}(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a_{kj}, b_{kj}] \\ 0, & x \notin [a_{kj}, b_{kj}] \end{cases} \quad (2)$$

Производится усреднение минимальных и максимальных значений интервалов (2), указанных экспертами:

$$a_j = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N a_{kj}, \quad b_j = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N b_{kj}. \quad (3)$$

Искомые значения коэффициентов приоритета подсчитываются согласно формулам:

$$\omega_j = \frac{(a_j + b_j)}{\sum_{j=1}^m (a_j + b_j)}, \quad j = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Выводы

Предложенная схема объединения частных показателей в комплексный критерий позволяет производить ранжирование ЯРОО не только относительно показателей ядерной и радиационной безопасности, но и с учетом показателей, отражающих другие характеристики таких объектов, например, экологические, социальные, экономические.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Ядерная и радиационная безопасность России на период 2008-2015 гг.».
2. «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу».
3. Федеральное агентство Российской Федерации по атомной энергии. Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения. 2006.

4. *Крянев А.В., Бочкарев В.В., Ханбекова Д.Т., Устинова Ю.Г.* Ранжирование ядерно – и радиационно опасных объектов на основе экспертных оценок. М.: Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015, Аннотация докладов, т.3, с. 170.
5. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление. —М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.

**SCHEME RANKING NUCLEAR – AND RADIATION HAZARDOUS FACILITIES
USING FUZZY NUMBERS**

Bochkarev V.V.¹, Kryanev A.V.², Ustinova Y.G.^{1,2}, Hanbikova D.T.^{1,2}

¹*Scientific and technical centre of nuclear and radiating safety*

²*National research nuclear university "MEPhI"*

This report presents the ranking scheme nuclear - and radiation hazardous objects on the basis of fuzzy numbers to define priorities in management decisions related to nuclear and radiation safety.

Keywords: Nuclear and radiating dangerous objects (NRDO), particular indicators of potential danger, summary indicator of potential danger, expert estimations, fuzzy numbers.

СИММЕТРИИ УРАВНЕНИЙ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

Будочкина С.А.

Российский университет дружбы народов, sbudotchkina@yandex.ru

Установлена связь между симметриями операторного уравнения и алгебрами Ли.

Ключевые слова: генераторы симметрий, коммутаторы, алгебры Ли.

Введение

Значение алгебраических структур в исследованиях состояния систем различной физической природы известно с давних пор. Так, в квантовой механике наблюдаемые являются самосопряженными операторами в некотором гильбертовом пространстве над полем комплексных чисел. Они образуют линейное пространство, в котором может быть определен коммутатор

$$[A, B] = \frac{2\pi i}{h} (AB - BA),$$

где h - постоянная Планка.

Относительно этой операции множество наблюдаемых образует структуру алгебры Ли.

Следует отметить, что в работе [1], в частности, установлена взаимосвязь между алгебрами Ли, элементами которых являются вектор-функции, и скобками Пуассона вида

$$\{F_1, F_2\}[u] = \int_{\Omega} \frac{\delta F_1}{\delta u^i} \cdot G_u^{ij} \frac{\delta F_2}{\delta u^j} dx,$$

где $G_u^{ij} = A_k^{ij\alpha\beta} u_{\alpha}^k \cdot D_{\beta}$, $A_k^{ij\alpha\beta}$ ($i, j, k = \overline{1, n}$; $|\alpha|, |\beta| = \overline{0, s}$) - постоянные.

Основной целью работы является выявление связи между алгебрами Ли и симметриями заданного операторного уравнения.

Основные результаты

Пусть дано операторное уравнение

$$N(u) = 0, \quad u \in D(N), \quad (1)$$

где $N: D(N) \subset U \rightarrow V$ - дифференцируемый по Гато оператор, U, V - линейные нормированные пространства над полем действительных чисел R , $D(N)$ - область определения оператора N .

Будем следовать обозначениям и терминологии [1-3].

Рассмотрим на $D(N)$ бесконечно малое преобразование, определяемое формулой

$$\bar{u} = u + \varepsilon S(u), \quad (2)$$

где $S: D(N) \rightarrow D(N'_u)$ - генератор преобразования, N'_u - производная Гато оператора N в точке $u \in D(N)$.

Определение 1. Преобразование (2) называется симметрией уравнения (1), если для любого достаточно малого ε и любого решения u этого уравнения функция \bar{u} вида (2) также является решением этого уравнения.

В этом случае оператор S называется также генератором симметрии уравнения (1).

Теорема 1. Если S_1, S_2 - генераторы симметрий уравнения (1), то их коммутатор

$$[S_1, S_2](u) = S_{1u}' S_2(u) - S_{2u}' S_1(u) \quad (3)$$

также является генератором симметрии уравнения (1).

Определение 2 (см. [1, стр. 84]). Алгеброй A называется линейное пространство над полем K , наделенное билинейным произведением $*$, удовлетворяющим для произвольных $a, b, c \in A$ и любым $\lambda \in K$ следующим условиям:

$$\begin{aligned} a * (b + c) &= a * b + a * c, \\ (a + b) * c &= a * c + b * c, \\ (\lambda a) * b &= a * (\lambda b) = \lambda(a * b). \end{aligned}$$

Определение 3 (см. [1, стр. 85]). Алгебра Ли – это алгебра A над полем K , для которой выполняются условия

$$\begin{aligned} a * b + b * a &= 0, \\ a * (b * c) + b * (c * a) + c * (a * b) &= 0 \quad \forall a, b, c \in A. \end{aligned}$$

Теорема 2. Генераторы симметрий уравнения (1) образуют алгебру Ли относительно коммутатора (3).

Выводы

В работе установлено, что генераторы симметрий заданного операторного уравнения образуют алгебру Ли относительно коммутатора двух генераторов, что позволяет находить новые генераторы симметрий из полученных ранее. Однако следует отметить, что коммутатор двух генераторов может быть нулевым оператором или совпадать с одним из них.

Литература

1. Савчин В.М. Математические методы механики бесконечномерных непотенциальных систем. М.: Изд-во УДН, 1991. – 237 с.
2. Савчин В.М., Будочкина С.А. Симметрии и первые интегралы в механике бесконечномерных систем // Доклады Академии наук, 2009, том 425, №2, стр. 169-171.
3. Будочкина С.А., Савчин В.М. Вариационные симметрии эйлеровых и неэйлеровых функционалов // Дифференциальные уравнения, 2011, том 47, №6, стр. 811-818.

SYMMETRIES OF EQUATIONS AND ASSOCIATED ALGEBRAIC STRUCTURES

Budochkina S.A.

Peoples' Friendship University of Russia, sbudochkina@yandex.ru

Connection between symmetries of an operator equation and Lie algebras is established.

Key words: generators of symmetries, commutators, Lie algebras.

ПОСТРОЕНИЕ ДЕЛЬТА- И ГАММА-НЕЙТРАЛЬНЫХ ПОРТФЕЛЕЙ ОПЦИОНОВ

Буурулдай А.Э., Шорохов С.Г.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, aivo4ka@mail.ru

В работе представлена модель, обеспечивающая гамма- и дельта-нейтральность портфеля, состоящего из европейских опционов колл с разными сроками исполнения.

Ключевые слова: гамма-нейтральность, дельта-нейтральность, европейский опцион колл, время исполнения.

Введение

Для того, чтобы избежать больших убытков при торговле на бирже, инвесторы могли бы удерживать коэффициенты дельта, гамма, вега и другие на нулевом уровне. Однако, на практике это невозможно. Если портфель зависит только от одного вида актива, то инвестор, как правило, сводит коэффициент дельта к нулю как минимум один раз в день, заключая соответствующую сделку. К сожалению, свести к нулю коэффициенты гамма, вега и дельта не так просто, поскольку трудно найти опционы и другие нелинейные активы, пригодные для заключения достаточно крупных сделок по конкурентной цене. В работе анализируется один из альтернативных подходов к решению этой проблемы, т.е. построение не только дельта-нейтральных, но одновременно и гамма-нейтральных позиций.

Построение стратегии для управления свойств $\Delta=0$ и $\gamma=0$

Стоимость портфеля, состоящего из базового актива и из других европейских опционов колл с разными сроками исполнения, определяется следующим образом:

$$P(S, t, x_1, x_2, x_3) = x_1 \cdot S + x_2 \cdot c_A(S, t) + x_3 \cdot c_B(S, t). \quad (1)$$

Условия дельта-нейтральности и гамма-нейтральности

$$\begin{cases} w_1(S, t, x_1, x_2, x_3) = \frac{\partial P}{\partial S} = x_1 + x_2 \frac{\partial c_A}{\partial S} + x_3 \frac{\partial c_B}{\partial S} = 0 \\ w_2(S, t, x_1, x_2, x_3) = \frac{\partial^2 P}{\partial S^2} = x_2 \frac{\partial^2 c_A}{\partial S^2} + x_3 \frac{\partial^2 c_B}{\partial S^2} = 0 \end{cases}. \quad (2)$$

Пусть $M_1 = \frac{\partial^2 c_A}{\partial S^2}$, $M_2 = \frac{\partial^2 c_B}{\partial S^2}$.

Динамическая стратегия управления портфелем определяется стохастическим дифференциальным уравнениями вида:

$$\begin{cases} dx_1 = f_1(t, S, x_1, x_2, x_3) dt \\ dx_2 = f_2(t, S, x_1, x_2, x_3) dt \\ dx_3 = f_3(t, S, x_1, x_2, x_3) dt \end{cases} \quad (3)$$

Также поставим задачу построения правых частей системы (4), при которых система (3) является ожидаемым свойством рассматриваемого портфеля, а именно

$$E[w(S(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t), t) | w(S_0(t), x_{1,0}(t), x_{2,0}(t), x_{3,0}(t), t_0)] = 0. \quad (4)$$

Основные результаты

Для решения данной задачи используется метод построения систем дифференциальных уравнений по заданному интегральному многообразию, предложенный Н.П. Еругины[1] и лемма Ито[2].

Таким образом, построение динамической стратегии портфеля, состоящего из двух опционов с разными сроками исполнения и базового актива, обеспечивающей гамма-нейтральность и дельта-нейтральность портфеля P,

$$P(S, t, x_1, x_2, x_3) = x_1 \cdot S + x_2 \cdot c_A(S, t) + x_3 \cdot c_B(S, t). \quad (5)$$

Может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} dx_1 = (N(d_1(A)) \cdot M_2 - N(d_1(B)) \cdot M_1 + p_1)dt \\ dx_2 = (-M_2 - p_2)dt \\ dx_3 = (M_1 + p_3)dt \end{cases}. \quad (7)$$

И является ожидаемым свойством рассматриваемого портфеля, а именно:

$$E[w(S(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t), t) | w(S_0(t), x_{1,0}(t), x_{2,0}(t), x_{3,0}(t), t_0) = 0, \quad (8)$$

где

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz, d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + (r + \frac{\sigma^2}{2})(T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}}, d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T-t}. \quad (9)$$

Выводы

Полученные результаты были проверены на примере портфеля состоящего из двух европейских опционов колл с разными сроками исполнения на базовый актив, моделируемый при помощи геометрического броуновского движения.

Литература

1. Еругин Н.П. Построение всего множества дифференциальных уравнений, имеющих заданную интегральную кривую // ПММ. 1952. Т.14. Вып. 6.
2. Халл, Джон К. Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты, 6-е издание: Пер. с англ.-М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007
3. Cox, Ross, Rubinstein. «Option pricing», 1979
4. Буренин А.Н. Форварды, фьючерсы, опционы, экзотические и погодные производные. 2008
5. Black, Fisher, Scholes, Myron. «The Pricing of Options and Corporate Liabilities». Journal of Political Economy 81(3), 637-654

CONSTRUCTION GAMMA- AND DELTA-NEUTRAL PORTFOLIO OPTIONS

Buurulday A.E., Shorohov S.G.

Peoples' Friendship University of Russia, aivo4ka@mail.com

This work considers a model, which provides gamma and delta- neutral portfolio of European call options with different deadlines.

Key words: gamma - neutrality, delta - neutrality, European call option, execution time.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ AQM В NS-3

Вальда Васкес Л.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов», v.v.ludwig@ya.ru

В этой работе описаны особенности реализации алгоритмов AQM в системе сетевых симуляций NS-3.

Ключевые слова: управления очередью, NS-3, AQM, RED, C++, сетевые технологии.

Введение

Управление очередью пакетов данных — важная задача в мире сетевых технологий. Эффективный контроль пакетов позволяет заранее уведомить алгоритм управления окном TCP о возможной перегрузке и необходимости снижения размера окна.

Для эффективной реализации таких алгоритмов, удобно сначала протестировать их в идеально смоделированных условиях. Тестирование проводится в системах симуляции сетей, позволяющих отследить поведение алгоритма в заданных условиях.

Для симуляции была выбрана библиотека NS-3, как одна из наиболее перспективных и легко расширяемых среди альтернатив.

AQM

AQM расшифровывается как Active Queue Management. Под этим названием собраны различные алгоритмы активного управления очередью. Под активным управлением понимается предпринятие попытки предсказать поведение очереди и принять соответствующие меры для минимизации количества отброшенных пакетов.

Среди AQM широко известно семейство алгоритмов RED[1] (Random Early Detection). Он предлагает статистический подход к вычислению необходимости отбрасывания пакета, что позволяет заранее предупредить алгоритм управления окном перегрузки о необходимости снижения размера окна.

NS-3

Система симуляции сетей NS-3[2] является дискретно-событийной системой, что значит события происходят во времени дискретно, а не непрерывно. Преимуществом такого подхода является высокая производительность, т. к. можно сразу проскакивать во времени между событиями, простота в реализации и повторяемость симуляций.

Система NS-3 была разработана как попытка исправить архитектурные недостатки NS-2, сделав легко развиваемую и расширяемую систему. Написана она на языке C++, код лицензирован как GPLv2[3], что означает свободную модификацию и распространение. ПО развивается сообществом под руководством Вашингтонского университета и французского государственного института исследований в информатике и автоматике (INRIA).

Библиотека разделена на множество независимых модулей, реализующих ту или иную часть системы. Основой является подсистема ns3/core. В ней определены базовые компоненты, здесь же реализован сам симулятор, а также классы, определяющие понятия события и времени. Практически любой модуль взаимодействует с модулем core или отдельными его компонентами.

В модуле network находятся компоненты непосредственно описывающие сеть. Здесь можно найти описание узлов (ns3::Node), связывающих их между собой каналов (ns3::Channel), устройств, на которых узлы располагаются (ns3::NetDevice), приложений (ns3::Application), которые передают пакеты (ns3::Packet) от одного узла к другому. В подмодуле utils модуля network находятся дополнительные классы, помогающие реализовать конкретные сети. Здесь есть описание различных видов пакетов, адресов (IPv4, IPv6) и очередей.

Управление очередью в NS-3

Библиотека NS-3 поставляется с большим числом готовых модулей, реализующих множество сетевых протоколов. При этом система позволяет легко и удобно расширять её новыми реализациями, дополняя набор протоколов или алгоритмов управления. Мы поговорим о реализации алгоритма управления очередью в сетях NS-3.

Изначально, в NS-3 небольшой выбор алгоритмов управления очередью, реализован простейший DropTail и RED. Я дополнил этот перечень несколькими вариациями RED, такими как ARED[4], ERED[5] и BLUE[6]. Из полученного опыта ниже будет описана краткая инструкция по реализации собственного класса для AQM.

Управление очередью производится с устройства (`ns3::NetDevice`) через интерфейс `ns3::Queue`. Этот класс представляет собой абстрактный интерфейс для взаимодействия с очередью, предлагая к реализации наследниками методы `DoEnqueue`, `DoDequeue` и `DoPeek`. Эти методы чисто-виртуальны, потому создать объект класса `ns3::Queue` невозможно.

Метод `DoEnqueue` имеет следующую сигнатуру:

```
virtual bool DoEnqueue (Ptr<Packet> p) = 0;
```

Он вызывается методом `Enqueue` при получении пакета устройством. Именно в этом методе необходимо провести поправки к средневзвешенной длине очереди и вычислить вероятность необходимости отброса пакета. В случае, если пакет не удастся добавить в очередь, метод должен вернуть ложь и вызвать метод `ns3::Queue::Drop`. В случае же успешного попадания пакета в очередь, необходимо вернуть истину.

Следующий метод, `DoDequeue`, определён как

```
virtual Ptr<Packet> DoDequeue (void) = 0;
```

Этот метод будет вызван из метода `Dequeue` класса `ns3::Queue` и должен извлечь пакет из очереди и вернуть его вызывающему методу. Здесь же нужно вновь провести поправки к средневзвешенной длине очереди, уменьшив её на соответствующее значение и также уменьшить вероятность отбрасывания пакета при следующей попытке добавления в очередь.

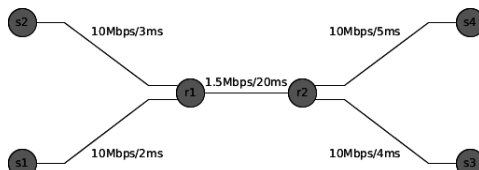
В методе `DoPeek`, в отличие от двух остальных, не стоит применять каких-либо поправок к параметрам очереди, т.к. он не изменяет состояние очереди и возвращает лишь неизменяемую копию пакета. Его сигнатура следующая:

```
virtual Ptr<const Packet> DoPeek (void) = 0;
```

Таким образом, для реализации алгоритма управления очередью, необходимо создать класс, отнаследованный от `ns3::Queue` и реализующий эти три метода описанным образом.

Результат симуляции

Покажем симуляцию алгоритмов RED и ERED на примере следующей топологии (Рис. 1).



При использовании данной модели сети с размером очереди 25 и верхним пороговым значением 15, а нижним 5, алгоритмы RED и ERED в связке с Tcp Westwood ведут себя следующим образом (Рис. 2)

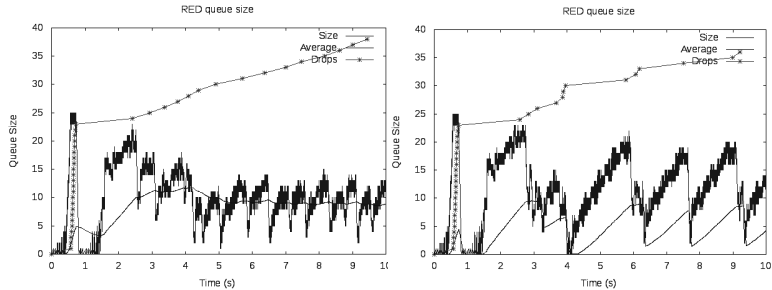


Рис. 2. Результат симуляции. Слева RED, справа ERED.

На рисунке изображено поведение длины очереди, средневзвешенной очереди и количество отброшенных пакетов. Как видно, использования ERED приводит к меньшему количеству потерянных пакетов, хотя и средневзвешенная очередь менее стабильна.

Выводы

Мы рассмотрели базовые принципы реализации алгоритмов AQM в системе NS-3. Как видно, разработчики старались максимально упростить задачу расширения системы, что позволяет очень легко и быстро реализовывать новые идеи и проверять их целесообразность в симуляции.

Следует отметить, что подобным образом спроектированы все компоненты NS-3. Простота расширения гарантирует большое будущее для этой системы, а свободный исходный код даёт каждому возможность поучаствовать в эволюции NS-3.

В результате симуляции мы, используя встроенный функционал NS-3, смогли собрать информацию о поведении встроенного в систему модуля (RED) и внешнего расширения (ERED). Результат представлен в виде графиков, используя всё ту же инфраструктуру NS-3.

Литература

1. *S. Floyd and V. Jacobson*, "Random Early Detection gateways for congestion avoidance", IEEE/ACM Transactions of Networking vol. 1, no. 4, pp. 397-413, August 1993.
2. <https://www.nsnam.org/>
3. GNU General Public Licence (GPL) – <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>.
4. *S. Floyd, R. Gummadi, and S. Shenker* «Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management». AT&T Center for Internet Research at ICSI, August 1, 2001
5. *Dashun Que, Zhixiang Chen, Bi Chen*, School of Information Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, P. R. China «An Improvement Algorithm Based on RED and Its Performance Analysis»
6. *W. Feng, K. Shin, D. Kandlur, D. Saha*, «The BLUE Active Queue Management Algorithms»

IMPLEMENTATION OF AQM ALGORITHMS IN NS-3

Valda Vaskes L.

People's friendship university of Russia, v.v.ludwig@ya.ru

In this paper described an implementation details of AQM algorithms in NS-3 network simulation system.

Key words: queue management, NS-3, AQM, RED, C++, network technologies.

ПОСТРОЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ БЕСКОНЕЧНЫХ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ И НЕОДНОРОДНЫЕ СЧЕТНЫЕ ЦЕПИ МАРКОВА

Васильев С.А., Болотова Г.О., Урусова Д.А.

Российский университет дружбы народов, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

В данной работе предложен алгоритм построения асимптотических решений бесконечных систем нелинейных дифференциальных уравнений с малым параметром для анализа неоднородных счетных цепей Маркова.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения бесконечного порядка, сингулярно возмущенные дифференциальные уравнения, малый параметр, цепи Маркова.

В работе исследуются системы нелинейных дифференциальных уравнений бесконечного порядка с малым параметром тихоновского типа [1]. Для таких систем предложен алгоритм построения асимптотических решений с использованием методов сингулярных возмущений [2]. Получены достаточные признаки асимптотической устойчивости при исследовании интенсивностей переходов некоторой счетной цепи Маркова. Результаты исследований применены к двум бесконечным системам, возникшим из современной теории массового обслуживания [3]. Проведенный анализ показывает эффективность предложенного подхода.

Литература

1. Тихонов А.Н. О системах дифференциальных уравнений, содержащих параметры. Матем. сб., том 22 (64), № 2, стр. 193–204, 1948.
2. Васильева А.Б. Построение равномерного приближения для решений систем дифференциальных уравнений с малым параметром при старшей производной. Матем. сб., том 50(92), № 1, стр. 43–58, 1960.
3. Оселедец В. И., Хмельев Д. В. Глобальная устойчивость бесконечных систем нелинейных дифференциальных уравнений и неоднородные счетные цепи Маркова. Пробл. передачи информ., том 36, выпуск 1, стр. 60–76, 2000.

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF INFINITE ORDER DIFFERENTIAL EQUATION SYSTEMS WITH SMALL PARAMETER AND NONHOMOGENEOUS COUNTABLE MARKOV CHAINS

Vasilyev S.A., Bolotova G.O., Urusova D.A.

Peoples' Friendship University of Russia, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

Infinite order differential equation systems with small parameter and nonhomogeneous countable Markov chains was analyzed using asymptotic analysis methods.

Key words: infinite order differential equations, singular perturbed differential equations, small parameter, Markov chains.

ПОСТРОЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ БЕСКОНЕЧНОГО ПОРЯДКА

Васильев С.А., Канзитдинов С.К., Коршоков Е.О.

Российский университет дружбы народов, svasiljev@sci.pfu.edu.ru

В данной работе предлагается алгоритм построения асимптотических решений сингулярно возмущенных стохастических дифференциальных уравнений бесконечного порядка и рассматриваются вопросы о возможности прогнозирования динамики сложных систем в условиях неопределенности.

Ключевые слова: стохастические дифференциальные уравнения, дифференциальные уравнения бесконечного порядка, сингулярно возмущенные дифференциальные уравнения.

Проникновение телекоммуникационных услуг во все сферы жизни современного общества обусловило возникновение рынка телекоммуникаций. Как показал опыт, экономические структуры, порождаемые рынком телекоммуникаций, требуют особых подходов к анализу субъектов этого рынка.

На практике проблема динамики сложных систем, включая и экономические, зависит в основном от нескольких параметров модели, которые не заданы фиксированным количеством на стадии планирования. Согласно некоторым видам стохастической неопределенности эти параметры должны быть смоделированы случайными величинами, имеющие конкретные распределения вероятности. Как правило, определенные моменты этого распределения известны.

Применение при моделировании динамики сложных систем стохастических дифференциальных уравнений представляет подход, позволяющий решить многие задачи: технические, экономические и др. В большинстве существующих подходов применяются методы, позволяющие получить решение-траекторию путем сведения задач большой размерности к серии задач меньшей размерности [1]-[3].

В данной работе предложены алгоритмы построения асимптотических решений сингулярно возмущенных стохастических дифференциальных уравнений бесконечного порядка [4]-[6] и рассматриваются вопросы о возможности прогнозирования динамики сложных систем в условиях неопределенности. В качестве примера предложены методы анализа динамики прибыли и финансовой устойчивости в телекоммуникационных компаниях в условиях неопределенности. Проведенный анализ показывает эффективность предложенного подхода.

Литература

1. *Marti K.* Stochastic optimization methods. – Springer Berlin Heidelberg, 2005.
2. *Carroll C., Tokuoka K., Wu W.* The Method of Moderation for Solving Dynamic Stochastic Optimization Problems // Paper provided by Society for Economic Dynamics in its series 2012 Meeting Papers with number 1102.
3. *Stein, Jerome L.* Stochastic Optimal Control, International Finance, and Debt Crises. – Oxford University Press, 2006.
4. *Кабанов Ю.М., Пергаменциков С.М.* Сингулярные возмущения стохастических дифференциальных уравнений. Матем. сб., том 181, № 9, стр. 1170–1182, 1990.
5. *Тихонов А.Н.* О системах дифференциальных уравнений, содержащих параметры. Матем. сб., том 22 (64), № 2, стр. 193–204, 1948.

6. Васильева А.Б. Построение равномерного приближения для решений систем дифференциальных уравнений с малым параметром при старшей производной. Матем. сб., том 50(92), № 1, стр. 43–58, 1960.

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF INFINITE ORDER SINGULAR PERTURBATED STOCHASTICS DIFFERENTIAL EQUATIONS

Vasilyev S.A., Kanzitdinov S.K., Korshok E.O.

Peoples' Friendship University of Russia, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

Asymptotic analysis of infinite order singular perturbed stochastics differential equations was studied using singular perturbing method approachs .

Key words: stochastics differential equations, infinite order differential equations, singular perturbed differential equations.

ПОСТРОЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ КАДЫШЕВСКОГО С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ КРАЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ

Васильев С.А., Полежаева И.С.

Российский университет дружбы народов, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

В данной работе предложен алгоритм построения асимптотических решений краевой задачи для уравнения Кадышевского с периодическими краевыми условиями.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения бесконечного порядка, сингулярно возмущенные дифференциальные уравнения, малый параметр.

Предложен метод построения асимптотических решений краевой задачи для уравнения Кадышевского (сингулярно возмущенное дифференциальное уравнение бесконечного порядка) [1]-[3] с периодическими краевыми условиями.

В рамках данной работы для этого уравнения были сформулированы краевые задачи на собственные функции и собственные значения на отрезке с периодическими краевыми условиями. С помощью методов теории сингулярных возмущений дифференциальных уравнений [4]-[5] были получены асимптотические решения в виде регулярной и пограничной частей, и исследован вопрос об асимптотическом поведении решений при устремлении малого параметра к нулю. Также для уравнения Кадышевского была осуществлена процедура усечения – произведен переход от уравнения бесконечного порядка к уравнению конечного порядка $2m$. Для этого уравнения также были сформулированы краевые задачи для нахождения собственных функций и собственных значений на отрезке с периодическими краевыми условиями, построены асимптотические решения этих задач и исследовано их поведение при $2m \rightarrow \infty$ усеченного уравнения Кадышевского.

Литература

1. Logunov A.A., Tavkhelidze A.N. Nuovo Cimento. V.29, N.2, p.380-399, 1963.
2. Kadyshevsky V.G. Nucl.Phys., B6, p. 125, 1968.
3. Kadyshevsky V.G., Mateev M. Nuovo Cimento, 55A, p. 275, 1967.
4. Тихонов А.Н. О системах дифференциальных уравнений, содержащих параметры. Матем. сб., том 22 (64), № 2, стр. 193–204, 1948.
5. Васильева А.Б. Построение равномерного приближения для решений систем дифференциальных уравнений с малым параметром при старшей производной. Матем. сб., том 50(92), № 1, стр. 43–58, 1960.

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF PERIODIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS SOLUTIONS FOR KADYSHEVSKY EQUATION

Vasilyev S.A., Polezhaeva I.S.

Peoples' Friendship University of Russia, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

Asymptotic analysis of solutions for the periodic boundary value problem of Kadyshevsky equation was build using singular perturbing methods.

Key words: infinite order differential equations, singular perturbed differential equations, small parameter.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО МОДУЛЯ МАРШРУТИЗАТОРА ТИПА RED НА GNS3

Велиева Т.Р.

Российский университет дружбы народов, trvelieva@gmail.com

В данной работе рассматривается первый этап верификации стохастической модели управляющего модуля маршрутизатора типа RED - построение на основе GNS3 экспериментального стенда для проведения натурального имитационного эксперимента.

Ключевые слова: сетевые технологии, имитационное моделирование, GNS3, RED.
Работа поддержана грантом РФФИ № 15-07-08795.

Введение

В работах [1-5] на базе метода стохастизации одношаговых процессов была построена стохастическая модель управляющего модуля маршрутизатора типа RED. Для верификации данной модели необходимо построить экспериментальный стенд для проведения натурального имитационного эксперимента. Экспериментальный стенд планируется собрать на основе графического интерфейса виртуальных машин - GNS3.

Последний релиз - GNS3 v.1.2.3, состоящий из GNS3 GUI и GNS3 Server. Для работы с данным графическим симулятором сети необходимы пакеты python3 и DynaMips версии >=0.2.14. При построении стенда используем образ маршрутизатора Cisco c7200 и виртуальной машины Tiny Core Linux.

Построение экспериментального стенда

Строим экспериментальный стенд, который состоит из маршрутизатора Cisco, генератора трафика и получателя (см. рис.1). Подробное описание построения и конфигурирования экспериментального стенда представлено в работе [3].

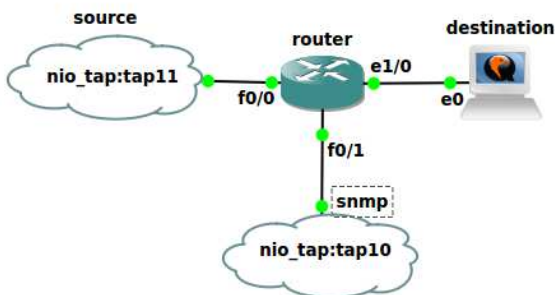


Рис. 1. Топология сети

Для генерации трафика используем генератор трафика D-ITG.

D-ITG позволяет получить оценки основных показателей качества обслуживания (средняя задержка передачи пакетов, вариация задержки (джиттер), коэффициент потерь пакетов, производительность) с высокой степенью достоверности.

После того как экспериментальный стенд был построен и сконфигурирован, был проведен эксперимент. На основе полученных данных построены графики интенсивности поступающего потока и задержки получения пакетов (см. рис.2 и рис.3).

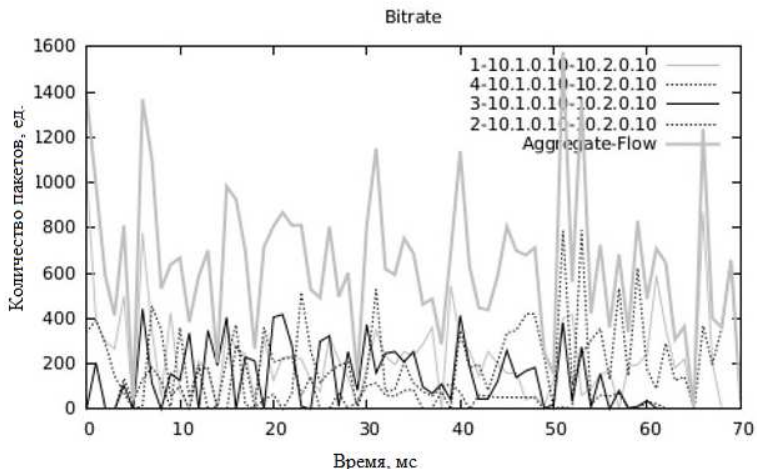


Рис. 2. Интенсивность поступающего потока

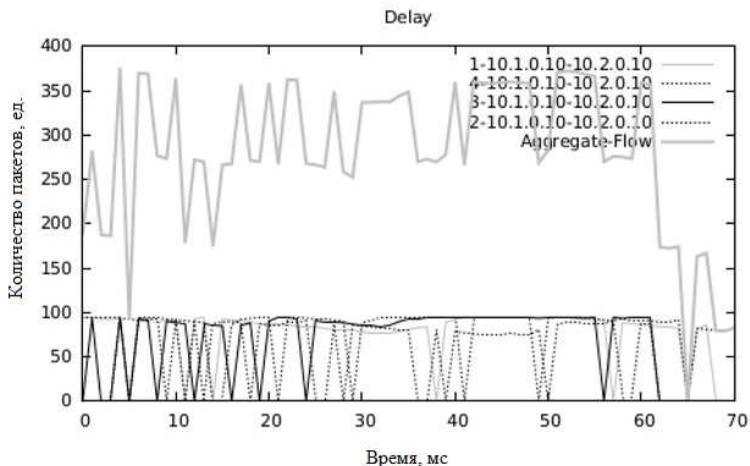


Рис. 3. Задержка получения пакетов

Из рис.2 и рис.3 можно видеть как изменяется размер окна перегрузки. Сначала размер окна перегрузки увеличивается при каждом подтверждении о доставке пакета, что соответствует фазе медленного старта протокола TCP. После того, как было достигнуто пороговое значение, TCP входит в фазу предотвращения перегрузки. В данной фазе размер окна перегрузки увеличивается на один сегмент для каждого RTT, т.е. медленнее, чем в фазе медленного старта. Далее видно, что размер окна перегрузки уменьшился. Размер окна перегрузки уменьшается, если происходит потеря пакета. Существует два варианта потери пакетов: тройное дублирование подтверждения (Triple

Duplicate ACK, TD) и по тайм-ауту (Timeout, TO). В первом случае размер окна уменьшается в 2 раза, а во втором, возвращается к первоначальному размеру.

Выводы

Таким образом, для верификации математической модели управляющего модуля RED построен экспериментальный стенд на основе фронтенда GNS3 и образа маршрутизатора Cisco. Поскольку фактически производится запуск реального маршрутизатора, можно говорить о высокой степени достоверности проведённого натурального эксперимента.

Литература

1. *Misra V., Gong W.-B., Towsley D. Stochastic Differential Equation Modeling and Analysis of TCP-window size Behavior // Proceedings of IFIP WG 7.3 Performance. — 1999. — Vol. 99. — URL: [paperfile/24/Misra99-TCP-Stochastic.pdf](#).*
2. *Королькова А. В., Кулябов Д. С. Математическая модель динамики поведения параметров систем типа RED // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2010. — No 1. — С. 68–76.*
3. *Велиева Т. Р. Построение стохастической модели управляющего модуля маршрутизатора // Двадцать первая международная конференция "Математика. Компьютер. Образование". — М.: Дубна, №21. — 2014. — С. 92.*
4. *Велиева Т. Р., Королькова А. В., Кулябов Д. С., Сантуш Б. А. Модель управления очередями на маршрутизаторах // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2014. — Т. 2. — С. 81–92.*
5. *Велиева Т. Р., Королькова А. В., Кулябов Д. С. Расширенная стохастическая модель управляющего модуля маршрутизатора типа RED // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. Аннотации докладов. В 3 томах. — 2014. — Т. 2. — С. 235.*
6. *Velieva T.R., Korolkova A.V., Kulyabov D.S. Designing installations for verification of the model of active queue management discipline RED in the GNS3 // The 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. –October. — 2014. — P. 670-677.*
7. *Cisco Feature Navigator. — URL: [www.cisco.com/go/cfn](#) (online; accessed: 2014-07-29).*
8. *Welsh C. GNS3 network simulation guide. — PACKET Publisher, 2013. — P. 154. — ISBN: 1782160809. — URL: [http://cbs.cem.ch/record/1633716](#).*

SIMULATION OF THE CONTROL MODULE ROUTER TYPE RED ON GNS3

Velieva T.R.

Peoples' Friendship University of Russia, tvelieva@gmail.com

In the article deals with the first stage of the verification of the model of active queue management discipline RED - built on GNS3 experimental stand for the full-scale simulation experiment.

Key words: network technology, simulation, GNS3, RED.

The work is supported by RFBR grant No15-07-08795

О ВЫБОРЕ И ВНЕДРЕНИИ DLP-СИСТЕМЫ.

Вельможный Д.Э.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов», ya-simos@yandex.ru*

В данной статье рассматривается выбор и процесс внедрения DLP-системы.

Ключевые слова: DLP- система, информация, предотвращение утечек информации.

Введение

В связи с огромным количеством информации циркулирующей в различных организациях, а также её нежелательной утечки, стал расширяться рынок DLP-систем, способных предотвратить утечку конфиденциальной информации. Поэтому проблемы выбора, а также внедрения системы стали играть важную роль для многих организаций.

Выбор DLP-системы

После тестирования некоторых DLP-систем разных категорий различных компаний, а также анализа их возможностей, удалось выделить следующие основные пункты, на которые должна опираться организация при выборе системы для защиты периметра от утечки конфиденциальной информации:

1. Размер организации.

Для начала нужно определить, какого размера организация. Если она составляет ~от 500 человек, то можно сказать, что потребуется полноценная, «мощная» DLP-система. Если же она ~30-100 человек, то, возможно, «мощная» система и не понадобится и следует задуматься нужна ли она вообще, а после переходить к следующему пункту

2. Какие задачи должна выполнять DLP-система.

Кроме задачи обнаружения и блокировки конфиденциальной информации DLP может решать и другие задачи, например, вести архив всей корпоративной почты, выявление инсайдеров (нежелательных сотрудников) и др. Поэтому правильное определение приоритетной задачи является неотъемлемой частью при выборе DLP-системы.

3. Объём данных.

Существует 3 сценария работы DLP-систем: активный, пассивный и смешанный. Активный – блокирует утечку конфиденциальной информации в режиме реального времени. В зависимости от настроенных политик системы может работать как в режиме блокирования, так и мониторинга. Пассивный – в этом сценарии система не может блокировать утечку информации, но способна предоставить исчерпывающую информацию об источнике и каналах системы. Смешанный – к этому сценарию стремится большинство производителей DLP-систем, т.к. включают в себя активный и пассивный сценария, но требуют очень тонкой настройки политик безопасности. Каждый тип сценария имеет свою «нагрузку», поэтому можно сказать, что объем данных влияет на выбор типа DLP и сценария работы.

4. Каналы утечки информации.

Нужно определить по каким каналам чаще всего будет передвигаться конфиденциальная информация: сеть, внешние устройства или печать документов. От этого зависит стоит ли использовать классическую DLP-систему или же иную.

5. Тип системы.

Есть 2 типа систем: хостовые и сетевые. В хостовых - система устанавливается на конечные устройства сети, в сетевых – система устанавливается в единую точку.

6. Бюджет.

Ценовой разброс на рынке DLP-систем достаточно широкий, поэтому бюджет тоже влияет на выбор системы.

Внедрение DLP-системы

Существует 2 подхода по внедрению DLP-системы:

1. Классический.

При таком подходе учитывается, что организация уже определила критичную информацию, а DLP-системе нужно только контролировать выполнение требований.

2. Аналитический.

При этом есть только представление о том, какую информацию нужно защитить от утечки, однако, не определены действия над потоками информации.

Для проведения эксперимента был выбран аналитический подход, т.к. только сформировавшиеся компании редко, когда готовы начать сразу с классического подхода. Для внедрения DLP-системы, был создан полигон для «закрытой» компании из 3-х рабочих станций. Для примера выбрана неклассическая DLP-система («Стахановец») сетевого типа с облегченными агентами для рабочих станций и приоритетной задачей в пассивном режиме следить за действиями сотрудников в рабочее время на рабочих станциях.

На первом этапе производится установка системы. На главной рабочей станции был установлен Microsoft SQL Server 2008 Express SP3, программа «администратор» и основной сервер DLP-системы, а также установлены начальные настройки. Была установлена клиентская часть на оставшиеся рабочие станции для осуществления соединения с сервером и контроля над USB-портами, поисковыми запросами, комплектующими рабочих станций и пр.

На втором этапе – запуск системы в режиме мониторинга, внесение новых пользователей в базу данных и настройка прав доступа для них, настройка минимальных параметров: теневое копирование передаваемых файлов, уведомления при введении «запретных» выражений в поисковые запросы, при подключении USB-устройств, запрет некоторых ресурсов и др.

На третьем этапе - тестирование системы в течении нескольких дней, чтобы настроить более детально политики безопасности, внести правки в процедуру управления инцидентами, детально настроить глобальные параметры, проанализировать итоги опытной эксплуатации системы.

Последний этап – довести систему до промышленной эксплуатации и совершенствовать политику настройки DLP в процессе функционирования.

Основные проблемы внедрения DLP-системы

Установка системы на рабочие станции не занимает много времени и с ней может справиться любой IT-специалист, однако, детальная настройка системы при её внедрении может вызвать осложнения, с некоторыми из них пришлось столкнуться при проведении эксперимента, на которые хотелось бы обратить внимание:

1. Не определена заранее критичность информации.

Если не определить заранее какую информацию считать конфиденциальной и какие каналы утечки защищать, то процесс может сильно затянуться.

2. *Установка политик безопасности без согласования.*

При включении всех политик безопасности в системе для достижения наилучшей защиты конфиденциальной информации без детального согласования можно навредить компании, останавливая важные бизнес-процессы.

3. *Слишком быстрое внедрение системы.*

Если разом внедрять систему в компанию, то правка политик безопасности при отсутствии квалифицированного персонала может продлиться намного дольше, чем при умеренном внедрении.

4. *Выделено мало ресурсов для достижения цели.*

Отсутствие квалифицированного персонала для правильного развертывания системы

5. *Негативное отношение сотрудников.*

Негативное отношение после внедрения системы будет обусловлена тем, что многие сотрудники в связи с новыми ограничениями, например, не смогут унести данные и доделать работу дома.

Выводы

Вышеуказанное исследование акцентирует внимание над процессом внедрения, а также тщательным подбором системы для защиты конфиденциальной информации и достижения наилучшего эффекта.

Литература

1. Сравнение систем защиты от утечек. http://www.anti-malware.ru/comparisons/data_leak_protection_2014_part1
2. Рынок DLP. <http://www.itsec.ru/articles2/dlp/rynok-dlp-mnenie-ekspertov>
3. DLP «Стахановец». <http://stakhanovets.ru/dlp/>

ABOUT THE SELECTION AND IMPLEMENTATION OF DLP-SYSTEMS.

Velmozhny D.E.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia», ya-simos@yandex.ru

This article discusses the selection and implementation process DLP system.

Key words: DLP- system, information, prevention of information leaks.

ОБЗОР СТОХАСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РУНГЕ-КУТТЫ

Геворкян М.Н.¹, Кулябов Д. С.^{1,2}, Севастьянов Л. А.^{1,3}, Егоров А. Д.⁴

¹Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей Российский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, д.6, Москва, 117198, Россия, mgegovorkyan@sci.pfu.edu.ru, ds@sci.pfu.edu.ru

²Лаборатория информационных технологий, Объединённый институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980.

³Лаборатория теоретической физики, Объединённый институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980.

⁴Институт математики НАН Беларуси, Белоруссия, 220072, г. Минск, ул. Сурганова, 11. po@mail.ru

В докладе дан обзор стохастических численных методов Рунге-Кутты. Наиболее эффективные численные схемы реализованы программно на основе математического пакета Sage и с помощью языка программирования Julia.

Ключевые слова: стохастические дифференциальные уравнения, численные методы, методы Рунге-Кутты.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 14-01-00628, 15-07-08795, договором с БРФФИ № Ф14Д-002.

Введение

Стохастические математические модели используются в широком спектре прикладных областей науки: химическая кинетика, популяционная динамика, экономика, финансовая математика, страхование, фильтрация сигналов и т.д. Стохастические модели позволяют адекватнее отразить моделируемый процесс, как качественно, так и количественно. Математическим аппаратом этих моделей являются стохастические дифференциальные уравнения (СДУ). Точное аналитическое решение в конечном виде известно буквально для нескольких простейших случаев. Исходя из этого, значение численных методов для решения СДУ существенно возрастает.

Данная работа носит обзорный характер и основной ее целью является подробное введение в практическое использование стохастических численных схем типа Рунге-Кутты.

Стохастические численные методы

Численные методы для решения обыкновенных дифференциальных уравнений начали разрабатываться несколько веков тому назад, а в течении двадцатого века были разработаны крайне мощные методы [1], позволяющие получать численные решения с любой необходимой для практических целей точность.

Стохастические численные методы развиты хуже, чем детерминированные [2]. Основные причины — это сравнительная новизна данной темы и более сложный математический аппарат. Направления поиска новых стохастических численных методов в целом совпадает со случаем классическим. Наглядное представление об этих направлениях дает схема, предложенная Бутчером (см. рис. 1).

Стохастические методы Рунге-Кутты

Среди детерминированных методов наиболее эффективными и простыми в реализации являются явные многостадийные методы типа Рунге-Кутты. Естественно, что их попытались обобщить на случай СДУ. Такие схемы получили названия *стохастических численных методов Рунге-Кутты*. Росслер в своих работах [3] ввел в рассмотрение *обобщенную таблицу Бутчера*, которая, как и обычная таблица Бутчера [1], используется для краткой записи массива коэффициентов метода. Также он записал формулы в аналогичном классическим схемам виде.

Запись общей схемы стохастического метода Рунге-Кутты громоздка и включает в себя многомерные массивы коэффициентов [3]. В зависимости от того, какая форма СДУ рассматривается (Ито или Стратоновича), а также какая сходимости требуется (сильная или слабая), численная схема модифицируется тем или иным способом, хотя по-прежнему остается далеко не такой простой, как детерминированная схема.

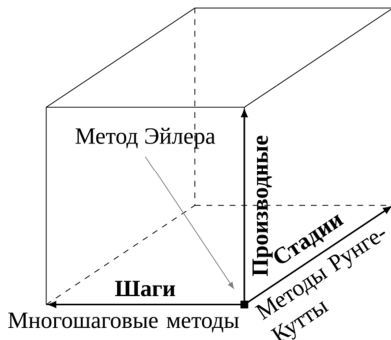


Рис. 1 Куб Бутчера

Конкретные реализации стохастических численных методов типа Рунге-Кутты для СДУ с многомерным винеровским процессом получены лишь для сильного порядка не больше 1,0 и слабого порядка сходимости не больше 3,0. Схемы более высокого порядка найдены лишь для одномерного винеровского процесса.

Построение численных схем стохастического Рунге-Кутты высоких порядков наталкивается на две ключевые трудности: сложность решения уравнений порядка и необходимость аппроксимации кратных интегралов Ито или Стратоновича.

Условия порядка стохастических методов Рунге-Кутты

Условиями порядка называются нелинейные алгебраические уравнения, связывающие коэффициенты метода между собой. Даже для детерминированной схемы число этих уравнений быстро увеличивается с ростом стадийности, которая связана с порядком точности. Для получения этих уравнений используется формула Тейлора и аппарат помеченных деревьев, который позволяет получать условия порядка из наглядных графических построений [1]. Аппарат помеченных деревьев был распространен на случай стохастических методов Рунге-Кутты в работах [3-8].

Число условий порядка для стохастической численной схемы существенно больше детерминированного случая. Так, нахождение коэффициентов метода для СДУ с многомерным винеровским процессом и порядком сильной сходимости $p = 1.0$ требует решения 6 условий порядка. Для СДУ со скалярным винеровским процессом и сильным порядком $p = 1.5$ число условий равно 25. Для многомерного винеровского процесса и сильного порядка $p = 2.0$ количество условий возрастает до 59 [3].

Аппроксимация кратных стохастических интегралов

Вторая трудность специфична лишь для стохастического случая. Она касается проблемы вычисления кратных интегралов Ито/Стратоновича [9]. Точную формулу для таких интегралов можно получить лишь в некоторых частных случаях, поэтому возникает задача их аппроксимации. Для аппроксимации двукратных интегралов в схеме с сильным порядком 1,0 необходимо суммировать большое число членов бесконечного ряда [2,10]. Для схем более высокого порядка приходится иметь дело уже с интегралами

большей кратности: третьей, четвертой и т.д., эффективных способов аппроксимации которых по-видимому не существует.

Описание программной реализации

Для наиболее эффективных стохастических схем Рунге-Кутты была создана программная реализация на языках Julia [11] и Sage [12] (python). Язык Julia это высокоуровневый компилируемый язык, созданный специально для научных вычислений. Язык находится на стадии активной разработки, но уже обладает большими возможностями и хорошим набором стандартных библиотек. Были проведены численные эксперименты по сравнению схем между собой и с известными точными решениями.

Выводы

В работе дан обзор основных публикаций по стохастическим численным методам типа Рунге-Кутты. Изложены основные теоретические сведения, касающиеся численного решения СДУ с помощью стохастических многостадийных методов. Основной упор в изложении сделан на практическое использование данных схем. В отличие от детерминированного случая, стохастические численные схемы намного менее интуитивно понятны для неподготовленного читателя.

Литература

1. Э. Хайпер, С. Нёрсентт, Г. Ваннер. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи / Под ред. С. С. Филиппова. — 1 изд.— Москва: Мир, 1990. — 512 с.— ISBN: 5-03-001179-X.
2. Kloeden P. E., Platen E. Numerical Solution of Stochastic Differential Equations.— 2 edition.— Berlin Heidelberg New York: Springer, 1995.— 632 p.— ISBN: 3-540-54062-8.
3. Rößler A. Strong and Weak Approximation Methods for Stochastic Differential Equations – Some Recent Developments / Department Mathematik. Schwerpunkt Mathematische Statistik und Stochastische Prozesse. — 2010.
4. Burrage K., Burrage P. M. High strong order explicit Runge-Kutta methods for stochastic ordinary differential equations // Appl. Numer. Math.— 1996.— no. 22.— P. 81–101.
5. Burrage K., Burrage P.M., Belward J.A. A bound on the maximum strong order of stochastic Runge-Kutta methods for stochastic ordinary differential equations. // BIT.— 1997.— no. 37. — P. 771–780.
6. Burrage K., Burrage P.M. General order conditions for stochastic Runge-Kutta methods for both commuting and non-commuting stochastic ordinary differential equation systems //Appl. Numer. Math.— 1998. — no. 28. — P. 161–177.
7. Burrage K., Burrage P. M. Order conditions of stochastic Runge-Kutta methods by B-series // SIAM J. Numer. Anal. — 2000. — no. 38.— P. 1626–1646.
8. Ерешко А. Ф. Филатова Д. В. Анализ явных численных методов решения стохастических дифференциальных уравнений // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. — 2008.— Т. 32, № 2. — С. 164–173.
9. Оксендаль Б. Стохастические дифференциальные уравнения. Введение в теорию и приложения. — 5edition. — Москва: Мир, АСТ,2003. — 385p.— ISBN: 5-03-003477-3
10. Wiktorsson M. Joint characteristic function and simultaneous simulation of iterated Itô integrals for multiple independent Brownian motions//The Annals of Applied Probability.— 2001.— Vol. 11, no. 2. — P. 470–487
11. Jeff Bezanson, Stefan Karpinski, Viral B. Shah, Alan Edelman. Julia: A Fast Dynamic Language for Technical Computing, 2012, arXiv: 1209.5145
12. W. A. Stein et al. Sage Mathematics Software (Version x.y.z), The Sage Development Team, YYYY, <http://www.sagemath.org>.

REVIEW OF STOCHASTIC RUNGE-KUTTA SCHEMAS

Gevorkyan M.N.¹, Kuliabov D.S.^{1,2}, Sevastianov L.A.^{1,3}, Egorov A.D.⁴

¹*Department of Applied Probability and Informatics, Peoples' Friendship University of Russia, Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, 117198, Russia, mngevorkyan@sci.pfu.edu.ru, ds@sci.pfu.edu.ru*

²*Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow region, Russia.*

³*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow region, Russia.*

⁴*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarus, 220072, Minsk, Surganov str., 11.*

The report provides an overview of stochastic numerical Runge-Kutta methods. The most efficient numerical schemes are implemented in software based on mathematical package Sage and programming language Julia.

Key words: stochastic differential equations, numerical methods, Runge-Kutta methods.

The work is partially supported by RFBR grants No's 14-01-00628 and 15-07-08795, agreement with BRFFR No F14D-002.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛОВ ДИФФИ-ХЕЛЛМАНА И ЭЛЬ-ГАМАЛЯ В ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИПТОГРАФИИ

Герасимов А.А., Пиунова А.П.

Российский университет дружбы народов, gera46@list.ru, piunova.ann@gmail.com

Сравнение реализации алгоритмов Диффи-Хеллмана и Эль-Гамалья в традиционной криптографии и на эллиптических кривых.

Ключевые слова: компьютерные науки, информационные технологии, проведение конференции.

Введение

Впервые использование эллиптических кривых в шифровании было предложено Нилом Коблицом и Виктором Миллером в 1985 году, после чего началось бурное развитие новой ветви в шифровании. Тем не менее революции в мире криптографии не произошло. Несмотря на основное преимущество криптографии на эллиптических кривых – высокую криптостойкость, основанную на проблеме дискретного логарифма в группе точек эллиптической кривой, имеющую экспоненциальную сложность, новый метод и до сегодняшнего дня не получил столь широкого распространения.

Особенности эллиптической криптографии

Наиболее быстрые методы решения дискретного логарифма на эллиптической кривой имеют сложность $O(\sqrt{q})$. Примерами таких алгоритмов являются алгоритм Полига-Хеллмана и алгоритм Шенкса. Более того, криптографический алгоритм, основанный на эллиптических кривых, достигает той же криптостойкости при меньшей длине ключа. Данное преимущество, а также более близкая для компьютера структура бинарного конечного поля эллиптической кривой обеспечивают значительно более быструю работу алгоритма, по сравнению с реализацией его на некотором конечном поле по модулю простого числа. Однако, такая эффективность имеет и свои подводные камни. При выборе эллиптической кривой для шифрования, необходимо придерживаться важных правил: не рекомендуется использовать сингулярные и суперсингулярные кривые. Они резко снижают уровень криптостойкости алгоритма, поскольку особые свойства таких кривых позволяют свести задачу дискретного логарифма на эллиптической кривой к задаче дискретного логарифма в конечном поле, сложность которой является субэкспоненциальной. На сегодняшний день, при существовании RSA, DSA и других алгоритмов шифрования, чья надежность и эффективность удовлетворяет нынешним потребностям пользователей, нет острой необходимости перехода на эллиптические кривые. Тем не менее с быстрым развитием вычислительной техники, скорости ее работы и производительности, существование альтернативы в виде эллиптической криптографии является обнадеживающим фактором.

В работах рассматриваются два алгоритма шифрования: алгоритм Диффи-Хеллмана и один из вариантов его дальнейшего развития, реализованный в алгоритме Эль-Гамалья.

Алгоритм Диффи-Хеллмана

Алгоритм Диффи-Хеллмана – один из первых алгоритмов асимметричного шифрования, разработанный в 1976 году Уитфилдом Диффи и Мартином Хеллманом. Основная идея алгоритма – это использование двух ключей: один для шифрования, другой для расшифровывания. В настоящее время он активно используется для обмена ключами между двумя сторонами и электронно-цифровой подписи (ЭЦП). Прежде всего обе стороны договариваются об использовании некоторого конечного поля $F(q)$ и определяют порождающий элемент $g \in F(q)$. Далее выбирается некоторое большое простое число r . Числа P и q являются общими исходными данными для двух сторон. Для

создания секретного ключа шифрования, обе стороны генерируют большое случайное число. Сторона А генерирует число a , а сторона В – число b . Далее обеим сторонам необходимо провести вычисление чисел А и В

$$A = g^a \text{ mod } p, \quad (1)$$

$$B = g^b \text{ mod } p. \quad (2)$$

Полученные значения стороны пересылают друг другу и полученные значения еще раз возводят в степень собственного сгенерированного числа

$$B^a \text{ mod } p = g^{ab} \text{ mod } p, \quad (3)$$

$$A^b \text{ mod } p = g^{ab} \text{ mod } p. \quad (4)$$

В итоге обе стороны получают одно и то же число, что является гарантом подлинности собеседника.

Алгоритм Эль-Гамалия

Алгоритм Эль-Гамалия был предложен в 1985, считается, что он попадает под патент алгоритма Диффи-Хеллмана. Усовершенствовав алгоритм Диффи-Хеллмана, Эль-Гамаль получил два алгоритма: один для шифрования и другой для обеспечения аутентификации (используется также в ЭЦП). Шифрование происходит следующим образом:

1. Первый пользователь выбирает случайное число k , взаимно простое с $P-1$, и вычисляет числа

$$r = A^k \text{ mod } P, \quad (5)$$

$$e = m * Y_2^k \text{ mod } P, \quad (6)$$

где Y_2 – открытый ключ пользователя 2. Число k держится в секрете.

2. Пара чисел (r, e) , являющаяся шифротекстом, передается второму пользователю.

3. Второй пользователь, получив (r, e) , для расшифровывания сообщения вычисляет

$$m = e * r^{P-1-X_2} \text{ mod } P, \quad (7)$$

где X_2 – закрытый ключ пользователя 2. В результате он получает исходное сообщение m .

Если злоумышленник узнает или перехватит P, A, Y_2, r, e , то он не сможет по ним раскрыть m . Это связано с тем, что противник не знает параметр k , выбранный первым пользователем.

Программная реализация алгоритмов и анализ

Целью работы была поставлена программная реализация обоих алгоритмов в двух вариантах: на некотором конечном поле по модулю простого числа p и на эллиптических кривых бинарного поля Галуа, - а затем анализ скорости работы алгоритмов при разных длинах ключей. Основными трудностями в работе стали выбор эллиптической кривой, которая по условию не должна являться сингулярной или суперсингулярной, а также реализация для конечного поля всех необходимых для шифрования арифметических операций, таких как сложение (по принципу сложения полиномов), возведение в степень, умножение и другие операции. Для реализации был выбран объектно-ориентированный язык программирования C++.

Выводы

В результате были получены четыре программы, по две для каждого из алгоритмов, реализующие их на эллиптических кривых и на конечном поле по модулю простого числа. Для тестирования скорости работы программ в качестве входных данных подавали ключи длиной 128, 256 и 512 бит. В качестве конечного результата были взяты усредненные значения показателя времени выполнения алгоритма, взятые из 30 экспериментов.

Результаты для ключа длиной 128 бит

| | Конечное поле по модулю простого числа | Эллиптические кривые |
|----------------|--|----------------------|
| Diffie-Hellman | 0,11 | 0,08 |
| El-Gamal | 0,09 | 0,05 |

Результаты для ключа длиной 256 бит

| | Конечное поле по модулю простого числа | Эллиптические кривые |
|----------------|--|----------------------|
| Diffie-Hellman | 0,28 | 0,19 |
| El-Gamal | 0,21 | 0,17 |

Результаты для ключа длиной 512 бит

| | Конечное поле по модулю простого числа | Эллиптические кривые |
|----------------|--|----------------------|
| Diffie-Hellman | 0,56 | 0,41 |
| El-Gamal | 0,33 | 0,23 |

На основании проделанной работы можно заключить, что шифрование на эллиптических кривых, показанное на примерах алгоритмов Диффи-Хеллмана и Эль-Гамала, является перспективной ветвью развития криптографии в силу своей надежности и скорости работы.

Литература

1. Колесников Д. Г. Стандарт шифрования данных Data Encryption Standard - <http://protect.htmlweb.ru/des.htm>
2. Гончаров Н. О. Симметричное шифрование (гаммирование) // Наука и Образование – 2011 - ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл. № ФС 77 - 48211. ISSN 1994-0408 - <http://technomag.bmstu.ru/doc/187185.html>
3. <http://intsystem.org/1120/asymmetric-encryption-how-it-work/> -
4. Симметричные шифры - МКЗТ© - 2009 - <http://kriptografea.narod.ru/sim.html>
5. Криптография и шифрование - © Телекоммуникационное право – 2009 -2014 - http://www.telecomlaw.ru/history/hi_crypto.html#.VG4qLdTKdho -
6. *Don Johnson, Alfred Menezes, Scott Vanstone* The Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
7. *А. Болотов, С. Гацков, А. Фролов, А. Часовских* Элементарное введение в эллиптическую криптографию
8. *Lawrence Washington* Elliptic curves, Number theory and Cryptography
9. Эллиптическая криптография: теория – 2013 - <http://habrahabr.ru/post/188958/>
10. Основные методы криптографии / Шифрование, Асимметричные коды - <http://www.williamsublishing.com/PDF/5-8459-0847-7/part.pdf>

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFIE-HELLMAN AND EL-GAMAL PROTOCOLS IN ELLIPTIC CURVE CRYPTOGRAPHY

Gerasimov A. A., Piunova A. P.

Peoples' Friendship University of Russia, gera46@list.ru, piunova.ann@gmail.com

Comparison between the implementation of the Diffie-Hellman and El -Gamal algorithms in traditional cryptography and with a usage of elliptic curves.

Key words: computer science, information technologies, conference proceedings.

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОМПЬЮТЕРНОГО СИНТЕЗА ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ОБОБЩЕННОЙ ВОЛНОВОДНОЙ ЛИНЗЫ ЛЮНЕБЕРГА

Дашицыренов Г.Д.

Российский университет дружбы народов, Москва, genin_d@mail.ru

В работе поставлена и решена задача компьютерного синтеза тонкопленочной обобщенной волноводной линзы Люнеберга методом адиабатических волноводных мод в нормированных переменных.

Ключевые слова: адиабатические волноводные моды, нормированные переменные.

Введение

В работах [1-4] была предложена модель адиабатических волноводных мод описания волноводного распространения, поляризованного монохроматического электромагнитного излучения в плавно-нерегулярных интегрально-оптических волноводах. В рамках предложенной модели адиабатические волноводные моды многослойного волновода описываются решениями уравнений Максвелла вида:

$$\begin{cases} \vec{E}(x, y, z, t) \\ \vec{H}(x, y, z, t) \end{cases} = \begin{cases} \vec{E}(x; y, z) \\ \vec{H}(x; y, z) \end{cases} \frac{\exp\{i(\omega t - i\Phi(y, z))\}}{\sqrt{\beta(y, z)}}, \quad (1)$$

где $\beta_y(y, z) = \frac{1}{k_0} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)$, $\beta_z(y, z) = \frac{1}{k_0} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)$ и $\beta(y, z) = \sqrt{\beta_y(y, z)^2 + \beta_z(y, z)^2}$. При этом вертикальные распределения (по быстрой переменной) компонент электромагнитного поля адиабатической волноводной моды удовлетворяет системе уравнений:

$$\frac{d^2 E_z}{dx^2} + \chi^2 E_z = \frac{\partial(\ln \chi^2)}{\partial y} \left[p_y E_z + \frac{p_z}{ik_0 \varepsilon} \frac{dH_z}{dx} \right] \quad (2)$$

$$\frac{d^2 H_z}{dx^2} + \chi^2 H_z = \frac{\partial(\ln \chi^2)}{\partial y} \left[p_y H_z - \frac{p_z}{ik_0 \mu} \frac{dE_z}{dx} \right] \quad (3)$$

а выражения для оставшихся четырех компонент электромагнитного поля имеют вид:

$$\begin{aligned} \chi_x^2 H_x &= p_x \frac{dH_z}{dx} + ik_0 \varepsilon p_y E_z, & \chi_x^2 H_y &= \left(p_z p_y + \frac{\partial p_y}{\partial z} \right) H_z - ik_0 \varepsilon \frac{dE_z}{dx} \\ \chi_x^2 E_x &= p_x \frac{dE_z}{dx} - ik_0 \mu p_y H_z, & \chi_x^2 E_y &= \left(p_z p_y + \frac{\partial p_y}{\partial z} \right) E_z + ik_0 \mu \frac{dH_z}{dx} \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь использованы обозначения $\chi_z^2 = k_0^2 \varepsilon \mu + p_z^2 + \frac{\partial p_z}{\partial z}$, $\chi^2 = \chi_x^2 + p_y^2 + \frac{\partial p_y}{\partial y}$, где $p_z = -i \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{1}{2\beta} \frac{\partial \beta}{\partial z}$ и $p_y = -i \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \frac{1}{2\beta} \frac{\partial \beta}{\partial y}$.

Постановка задачи

В настоящей работе предлагается описывать адиабатические волноводные моды в нормированных координатах: $\tilde{x} = k_0 x$, $\tilde{y} = k_0 y$, $\tilde{z} = k_0 z$, $\tilde{t} = \omega t$, где $k_0 = \omega/c$, ω - круговая частота монохроматического излучения, c - скорость света в вакууме, так что $\tilde{k}_0 = 1$, $\tilde{\omega} = 1$, $\tilde{c} = 1$. Тогда адиабатические волноводные моды, являющиеся решениями уравнений Максвелла в нормированных координатах, ищем в виде:

$$\begin{cases} \vec{E}(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}, \tilde{t}) \\ \vec{H}(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}, \tilde{t}) \end{cases} = \begin{cases} \vec{E}(\tilde{x}; \tilde{y}, \tilde{z}) \\ \vec{H}(\tilde{x}; \tilde{y}, \tilde{z}) \end{cases} \frac{\exp\{i\tilde{t} - i\tilde{\Phi}(\tilde{y}, \tilde{z})\}}{\sqrt{\tilde{\beta}(\tilde{y}, \tilde{z})}}. \quad (5)$$

Где $\tilde{\beta}_y(\tilde{y}, \tilde{z}) = \left(\frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial \tilde{y}} \right)$, $\tilde{\beta}_z(\tilde{y}, \tilde{z}) = \left(\frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial \tilde{z}} \right)$ и $\tilde{\beta}(\tilde{y}, \tilde{z}) = \sqrt{\tilde{\beta}_y(\tilde{y}, \tilde{z})^2 + \tilde{\beta}_z(\tilde{y}, \tilde{z})^2}$. При этом вертикальные распределения (по быстрой нормированной переменной) компонент электромагнитного поля адиабатической волноводной моды удовлетворяют системе уравнений:

$$\frac{d^2 \tilde{E}_z}{d\tilde{x}^2} + \tilde{\chi}^2 \tilde{E}_z = \frac{\partial(\ln \tilde{\chi}^2)}{\partial \tilde{y}} \left[\tilde{p}_y \tilde{E}_z + \frac{\tilde{p}_z}{i\tilde{\varepsilon}} \frac{d\tilde{H}_z}{d\tilde{x}} \right] \quad (6)$$

$$\frac{d^2 \tilde{H}_z}{dx^2} + \tilde{\chi}^2 \tilde{H}_z = \frac{\partial(\ln \tilde{\chi}^2)}{\partial y} \left[\tilde{p}_y \tilde{H}_z - \frac{\tilde{p}_z}{i\mu} \frac{d\tilde{E}_z}{dx} \right] \quad (7)$$

$$\tilde{\chi}_z^2 \tilde{H}_x = \tilde{p}_z \frac{d\tilde{H}_z}{dx} + i\epsilon \tilde{p}_y \tilde{E}_z, \quad \tilde{\chi}_z^2 \tilde{H}_y = \left(\tilde{p}_z \tilde{p}_y + \frac{\partial \tilde{p}_y}{\partial z} \right) \tilde{H}_z - i\epsilon \frac{d\tilde{E}_z}{dx} \quad (8)$$

$$\tilde{\chi}_z^2 \tilde{E}_x = \tilde{p}_z \frac{d\tilde{E}_z}{dx} - i\mu \tilde{p}_y \tilde{H}_z, \quad \tilde{\chi}_z^2 \tilde{E}_y = \left(\tilde{p}_z \tilde{p}_y + \frac{\partial \tilde{p}_y}{\partial z} \right) \tilde{E}_z + i\mu \frac{d\tilde{H}_z}{dx}$$

Здесь использованы обозначения $\tilde{\chi}_z^2 = \epsilon\mu + \tilde{p}_z^2 + \frac{\partial \tilde{p}_z}{\partial z}$, $\tilde{\chi}^2 = \tilde{\chi}_z^2 + \tilde{p}_y^2 + \frac{\partial \tilde{p}_y}{\partial y}$, где $\tilde{p}_z = -i \frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial z} - \frac{1}{2\beta} \frac{\partial \tilde{\beta}}{\partial z}$ и $\tilde{p}_y = -i \frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial y} - \frac{1}{2\beta} \frac{\partial \tilde{\beta}}{\partial y}$.

Решение задачи

Система уравнений (6)-(8) применяется для компьютерного синтеза тонкопленочной обобщенной волноводной линзы Люнеберга. по аналогии с работами [4-6] в данной работе осуществляется вычисление профиля переменной толщины дополнительного волноводного слоя минимизацией функционала невязки в нормированных переменных методом Нелдера-Мида. Результат компьютерного синтеза представлен на графике.

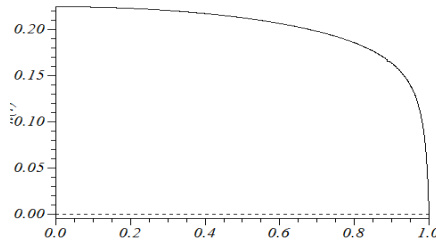


Рис. 1. На графике представлен синтезированный профиль толщины волноводного слоя тонкопленочной обобщенной волноводной линзы Люнеберга с фокусным расстоянием 0.5 и с характеристиками: $d=1,0665$, λ , $ns=1,47$, $nf=1,565$, $nl=2,1$, $nc=1,0$.

Литература

1. *Севастьянов Л.А., Егоров А.А.* Теоретический анализ волноводного распространения электромагнитных волн в диэлектрических плавно-нерегулярных интегральных структурах // *Оптика и спектроскопия*, 2008, Т. 105, № 4, С. 632-640.
2. *Егоров А.А., Севастьянов Л.А.* Структура мод плавно-нерегулярного интегрально-оптического четырехслойного трехмерного волновода // *Квантовая Электроника*. – 2009. – Т. 39. – № 6. – С. 566-574.
3. *Егоров А.А., Севастьянов А.Л., Айрян Э.А., Ловецкий К.П., Севастьянов Л.А.* Адиабатические моды плавно-нерегулярного оптического волновода: нулевое приближение векторной теории // *Математическое моделирование*, 2010, Т. 22, № 8, С. 42-54.
4. *Егоров А.А., Ловецкий К.П., Севастьянов А.Л., Севастьянов Л.А.* Моделирование направляемых (собственных) мод и синтез тонкопленочной обобщенной волноводной линзы Люнеберга в нулевом векторном приближении // *Квантовая Электроника*, 2010, Т. 40, № 9, С. 830-836.
5. *Севастьянов А.Л.* Компьютерное моделирование полей направляемых мод тонкопленочной волноводной линзы Люнеберга / Дисс. канд. физ.-мат. наук. – М.: РУДН, 2010.
6. *Севастьянов А.Л., Дашицыренов Г.Д.* Исследование методов оптимизации нулевого порядка для решения задачи построения дисперсионной зависимости планарных волноводов // Тезисы докладов международной молодёжной конференции-школы "Современные проблемы прикладной математики и информатики". 22–27 августа 2012 г. Дубна: ОИЯИ, С. 184-187

**FORMULATING AND SOLVING THE COMPUTER SYNTHESIS
PROBLEM OF THIN-FILM GENERALIZED WAVEGUIDE
LUNEBURG LENS**

Dashitsyrenov G.D.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. genin_d@mail.ru

The paper sets up and solves the problem of computer synthesis of thin-film generalized waveguide Luneburg lens by the method of adiabatic waveguide modes in normalized variables.

Key words: adiabatic waveguide modes, normalized variables.

ПОСТРОЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИЙ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ КОНКУРЕНЦИЮ И МИГРАЦИЮ ВИДОВ

Демидова А.В.¹, Дружинина О.В.², Масина О.Н.³

¹Российский университет дружбы народов, avdemidova@sci.pfu.edu.ru

²Вычислительный центр им. А.А.Дородницына РАН, ovdruzjh@mail.ru

³Елецкий государственный университет им. И.А.Бунина, olga121@inbox.ru

Проведено качественное исследование решений в модели динамики популяций, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Построена стохастическая модель, учитывающая конкуренцию и миграцию видов. Синтез осуществлен на основе применения метода построения стохастических самосогласованных моделей.

Ключевые слова: стохастическое моделирование, одношаговые процессы, популяционная динамика, устойчивость.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №15-0708795).

Введение

В работе рассмотрена модель динамики популяций, учитывающая конкуренцию миграцию видов и являющаяся обобщением моделей, изученных в [1, 2]. Проведено качественное исследование решений в модели, описываемой системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. Получены условия существования неотрицательных состояний равновесия, исследована устойчивость в смысле Ляпунова и построены локальные фазовые портреты.

Детерминистическое описание не всегда дает адекватное представление о системе, поскольку в этом описании не учитываются вероятностные факторы, влияющие на поведение системы. Как известно [3, 4], самым распространенным методом введения стохастики в модель является аддитивное добавление стохастического члена, который описывает лишь внешнее воздействие на и не связан со структурой самой системы.

В настоящей работе на основе метода построения самосогласованных стохастических моделей, разработанного в [5–7], осуществлено построение стохастической модели, учитывающей конкуренцию и миграцию видов. Для указанной стохастической модели описана ее структура, выписано уравнение Фоккера–Планка, сформулировано правило перехода к стохастическому дифференциальному уравнению в форме Ланжевена и показано, что уравнение в моментах для него полностью совпадает с системой дифференциальных уравнений, соответствующих детерминистическому случаю.

Проведено сравнение детерминистической и стохастической моделей, учитывающих конкуренцию и миграцию видов. Для сравнительного анализа использован метод функций Ляпунова и теория стохастического исчисления.

Детерминистическое описание

Нелинейная модель с линейной диффузией описывается системой трех обыкновенных дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_1(1 - x_1 - qy_1) + \beta x_2 - \gamma x_1, \\ \dot{x}_2 &= x_2(1 - x_2) + \gamma x_1 - \beta x_2, \\ \dot{y}_1 &= y_1(1 - r x_1 - y_1),\end{aligned}\tag{1}$$

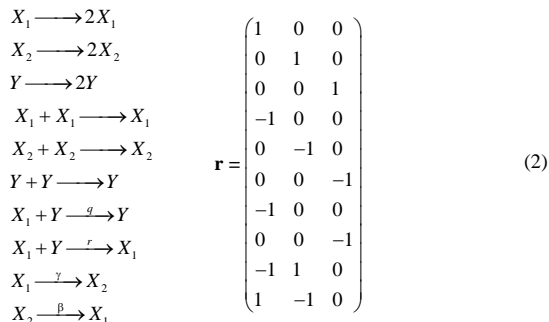
где использованы обозначения: x_1 и y_1 – численность конкурирующих видов x и y в ареале вида x_1 (ареале 1), x_2 – численность вида x в ареале вида x_2 (ареале 2), $q > 0$ и $r > 0$ – коэффициенты конкуренции видов в ареале 1, β и γ – коэффициенты диффузии видов x и y между двумя ареалами, при этом ареал 2 является убежищем и $\beta \neq \gamma$. Модель (1)

является обобщением модели, рассмотренной в [2], на случай, когда скорости диффузии различны.

Первое уравнение системы (1) описывает изменение численности вида x в ареале 1. Первое слагаемое в его правой части дает скорость естественного прироста вида x , второе слагаемое характеризует скорость естественной убыли (смертности) вида x , третье слагаемое дает скорость убыли вида x в результате межвидовой конкуренции с видом y , четвертое слагаемое описывает скорость роста вида x за счет диффузии его в ареал 1, пятое слагаемое характеризует скорость убыли вида x за счет диффузии его в ареал 2. Второе уравнение системы (1) описывает изменение численности вида x в ареале 2. Третье уравнение описывает изменение численности вида y в ареале 1. Требования, накладываемые на величины, входящие в систему (1) и необходимые для качественного анализа, будут сформулированы в дальнейшем.

Построение стохастической модели

Рассмотрим построение стохастической модели, соответствующей системе (1), схему взаимодействия элементов и оператор изменения состояния системы \mathbf{r} представим в виде [5, 7]:



Первые три строки схемы взаимодействия соответствуют естественному размножению видов при отсутствии других факторов, строки 4–6 и 7–8 символизируют внутривидовую и межвидовую конкуренцию соответственно, а последние две строки описывают миграцию видов X_1 и X_2 между 1 и 2 ареалами.

Состояние системы можно описывать с помощью вектора $x=(x_1, x_2, y)$. Интенсивности переходов из состояния \mathbf{x} в состояние $\mathbf{x} \pm \mathbf{r}^A$ в единицу времени определяются соотношениями:

$$\begin{array}{lll}
 s_1^+(x_1, x_2, y) = x_1, & s_2^+(x_1, x_2, y) = x_2, & s_3^+(x_1, x_2, y) = y, \\
 s_4^+(x_1, x_2, y) = x_1^2, & s_5^+(x_1, x_2, y) = x_2^2, & s_6^+(x_1, x_2, y) = y^2, \\
 s_7^+(x_1, x_2, y) = qx_1y, & s_8^+(x_1, x_2, y) = rx_1y, & \\
 s_9^+(x_1, x_2, y) = \gamma x_1, & s_{10}^+(x_1, x_2, y) = \beta x_2. &
 \end{array}
 \quad (3)$$

Соответствующее модели уравнение Фоккера–Планка имеет вид:

$$\partial_t P(\mathbf{x}, t) = -\sum_a \partial_a [A_a(\mathbf{x})P(\mathbf{x}, t)] + \frac{1}{2} \sum_{a,b} \partial_a \partial_b [B_{ab}(\mathbf{x})P(\mathbf{x}, t)], \quad (4)$$

где

$$A(\mathbf{x}) = \sum_{A=1,10} \mathbf{r}^A [s_A^+(\mathbf{x}) - s_A^-(\mathbf{x})] = \begin{pmatrix} x_1(1 - x_1 - qy) - \gamma x_1 + \beta x_2 \\ x_2(1 - x_2) + \gamma x_1 - \beta x_2 \\ y(1 - rx_1 - y) \end{pmatrix},$$

$$B_{ab}(\mathbf{x}) = \sum_{A=1,10} \mathbf{r}_a^A \mathbf{r}_b^A \left[s_A^+(\mathbf{x}) + s_A^-(\mathbf{x}) \right] = \begin{pmatrix} x_1 + x_1^2 + qx_1y + \gamma x_1 + \beta x_2 & -\gamma x_1 - \beta x_2 & 0 \\ -\gamma x_1 - \beta x_2 & x_2 + x_2^2 + \gamma x_1 + \beta x_2 & 0 \\ 0 & 0 & y + y^2 + rx_1y \end{pmatrix}.$$

Стохастическое дифференциальное уравнение в форме уравнения Ланжевена можно записать следующим образом:

$$d\mathbf{X} = a(\mathbf{X}, t)dt + b(\mathbf{X}, t)d\mathbf{W}, \tag{5}$$

где $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^N$ — функция состояния системы, а $\mathbf{W} \in \mathbb{R}^N$ — стандартное N -мерное броуновское движение, причем справедливо следующее соотношение для коэффициентов:

$$a(\mathbf{x}) = \mathbf{A}(\mathbf{x}), \\ b(\mathbf{x}) = \mathbf{B}(\mathbf{x})\mathbf{B}(\mathbf{x})^T.$$

Получено, что уравнение в моментах для стохастического дифференциального уравнения в форме Ланжевена полностью совпадает с системой (1) и может служить для исследования детерминистического поведения.

Исследование детерминистического и стохастического поведения

В результате решения соответствующих алгебраических уравнений для системы (1) получены четыре состояния равновесия: $O(0, 0, 0)$, $A_1(0, 0, 1)$, $A_2(\bar{x}_1, \bar{x}_2, 0)$ и $A_3(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{y}_1)$. Координаты $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{y}_1$ найдены с помощью системы символьных, графических и численных вычислений «Mathematica 4.1». В частности, получено, что $\bar{x}_1 = \frac{1}{6}(4 - 4\gamma + b)$, $\bar{x}_2 = \frac{1}{36\beta}(4 - 4\gamma + b)(2\gamma - 2 + b)$, где b представлено в виде

$$\text{зависимости от } \gamma \text{ и } \beta. \text{ Аналогично получено, что } \hat{x}_1 = \frac{1}{l} \left(2c - \frac{2^{1/3}h}{k} + \frac{k}{2^{1/3}} \right),$$

$$\hat{x}_2 = \frac{1}{\beta} (\hat{x}_1(q + \gamma - 1 + \hat{x}_1 - qr\hat{x}_1)), \quad y_1 = 1 - r\hat{x}_1, \text{ где } c, h, k \text{ зависят от } \gamma, \beta, q, r.$$

Рассмотрены условия существования неотрицательных состояний равновесия A_2 и A_3 . А именно, показано, что если выполнено одно из условий: (C₁) $0 < \beta < 1, \gamma > 1 - \beta$, (C₂) $\beta > 1, \gamma > 0$, то система (1) имеет единственное неотрицательное состояние равновесия A_2 . Установлено, что система (1) имеет единственное положительное состояние равновесия A_3 , если выполняется одно из условий:

- (P₁) $0 < r < 1, 0 < q < 1, 0 < \beta < 1, \gamma > (\beta - 1)(q - 1)$,
- (P₂) $0 < r < 1, 0 < q < 1, \beta > 1, 0 < \gamma < q(\beta - 1)(1 - r)$,
- (P₃) $0 < r \leq 1/q, q \geq 1, \beta > 1, \gamma > (\beta - 1)(q - 1), (q - 1)^2 + (r - 1)^2 \neq 0$.

Типы состояний равновесия системы (1) указаны в табл. 1.

Таблица 1. Типы состояний равновесия

| Условия | $O(0, 0, 0)$ | $A_1(0, 0, 1)$ | $A_2(\bar{x}_1, \bar{x}_2, 0)$ | $A_3(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{y}_1)$ |
|-------------------|--------------|----------------|--------------------------------|--|
| (P ₁) | Седло | Седло | Седло | Устойчивый фокус |
| (P ₂) | Седло | Не существует | Седло | Устойчивый фокус |
| (P ₃) | Седло | Седло | Седло | Устойчивый узел |

Оценка модельных параметров и построение локальных фазовых портретов в зависимости от условий (P₁)–(P₃) выполнены с помощью системы «Mathematica 4.1».

Проведен качественный и численный анализ синтезированной стохастической модели. Для анализа стохастического поведения использована вспомогательная функция вида [1]:

$$V = \sum_{i=1}^2 k_i (x_i - \hat{x}_i - \hat{x}_i \ln(x_i / \hat{x}_i)) + k_3 (y_1 - \hat{y}_1 - \hat{y}_1 \ln(y_1 / \hat{y}_1)),$$

где k_i , $i = 1, 2, 3$, – положительные постоянные.

Выводы

Рассмотренный в работе подход, базирующийся на качественном исследовании детерминистических моделей и на использовании метода построения стохастических самосогласованных моделей, может быть использован для анализа поведения популяционных систем. Указанный подход позволил изучить и сравнить свойства моделей, учитывающих конкуренцию и миграцию видов, в детерминистическом и стохастическом случаях.

Литература

1. Дружинина О.В., Масина О.Н. Методы исследования устойчивости и управляемости нечетких и стохастических динамических систем. М.: ВЦРАН, 2009. 180 с.
2. Zhang Xin-an, Chen L. The linear and nonlinear diffusion of the competitive Lotka–Volterra model // *Nonlinear Analysis*. 2007. V. 66. P. 2767–2776.
3. Oksendal B. K. *Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications*. — Berlin : Springer, 2003. — 360 p.
4. Павлоцкий И. П., Суслин В. М. Стохастическая модель эволюции популяции в пространстве // *Математическое моделирование*. — 1994. — Т. 6, № 3. — С. 9–24.
5. Кулябов Д. С., Демидова А. В. Введение согласованного стохастического члена в уравнение модели роста популяций // *Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика»*. — 2012. — № 3. — С. 69–78.
6. Демидова А. В. Уравнения динамики популяций в форме стохастических дифференциальных уравнений // *Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика»*. — 2013. — № 1. — С. 67–76.
7. Геворкян М. Н., Демидова А. В., Егоров А. Д. и др. Влияние стохастизации на одношаговые модели // *Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика»*. — 2014. — № 1. — С. 71–85.

CONSTRUCTION OF STOCHASTIC MODEL FOR POPULATION DYNAMICS THAT TAKES INTO ACCOUNT COMPETITION AND MIGRATION OF SPECIES

Demidova A.V.¹, Druzhinina O.V.², Masina O.N.³

¹People's Friendship University of Russia, avdemidova@sci.pfu.edu.ru

²Dorodnitsyn Computing Centre, ovdruch@mail.ru

³Elets State University after I.A.Bunin, olga121@inbox.ru

In this report, we made the qualitative study of solutions of population dynamics model described by a system of ordinary differential equations. The stochastic model taking into account competition and migration between species has been constructed. The synthesis bases on the method of construction of the self-consistent stochastic models.

Key words: stochastic modeling, one-step processes, population dynamics, stability.

Work supported by the Russian Foundation for Basic Research (project №15-0708795).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ НАЗНАЧЕНИЯ СТРАХОВЫХ ПРЕМИЙ В ОБЛАСТИ КРАТКОСРОЧНОГО СТРАХОВАНИЯ ЖИЗНИ

Денисович А.П., Матюшенко С.И.

*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
anastasiadenisovich@gmail.com, matushenko@list.ru*

Аннотация – Рассматриваются два основных принципа распределения страховой надбавки между договорами краткосрочного страхования жизни, и проводится их сравнительный анализ на основе статистических данных о смертности в Российской Федерации в период с 2011 по 2014 годы.

Ключевые слова: краткосрочное страхование жизни, принцип пропорциональности среднему убытку, принцип пропорциональности дисперсии убытка.

Введение

Целью данной работы является исследование двух основных принципов распределения страховой надбавки, применяемых страховыми компаниями при краткосрочном страховании жизни. Речь идет о принципе пропорциональности среднему убытку и о принципе пропорциональности дисперсии убытка. На основе статистических данных о смертности проводится сравнительный анализ этих принципов.

1. Вероятность разорения страховой компании и принципы назначения страховых премий

Рассмотрим базовую модель краткосрочного страхования жизни. Страхователь платит страховой компании премию в размере p рублей. Страховая компания в свою очередь принимает на себя обязательства выплатить наследникам страхователя страховую сумму b рублей ($b \gg p$) в том случае, если он умрет в течение года по причинам, указанным в договоре страхования. Теоретические основы расчета страховых премий для данной модели подробно изложены в главе 6 работы [1]. Мы в своем исследовании будем опираться на результаты этой работы, и с целью последовательного изложения материала перечислим некоторые из них.

Итак, индивидуальный убыток является случайной величиной (с.в.), которую мы обозначим через ξ . В данной модели убыток равняется нулю, если человек не умер за год действия договора, иначе убыток равняется b руб. Следовательно, закон распределения с.в. ξ определяется по формуле:

$$\pi_i = P(\xi = i) = \begin{cases} p_x, & \text{если } i = 0 \\ q_x, & \text{если } i = b \end{cases} \quad (1)$$

где x – возраст застрахованного лица, q_x – вероятность того, что человек в возрасте x умрет в течение года по причине, указанной в страховом договоре, $p_x = 1 - q_x$. Очевидно, что $E\xi = b \cdot q_x$.

Потери страховой компании по конкретному договору обозначим через L . Между L и ξ существует очевидная связь:

$$L = \xi - p = \begin{cases} -p, & \text{с вероятностью } p_x \\ b - p, & \text{с вероятностью } q_x \end{cases} \quad (2)$$

При этом математическое ожидание с.в. L принимает вид $EL = b \cdot q_x - p$. Для успешной работы страховой компании средние потери должны быть неотрицательны, что влечет выполнение условия $p \geq b \cdot q_x$.

Пусть S – общая сумма выплат по всем договорам, а u – активы компании. Тогда если $S > u$, то страховая компания разорится. В модели краткосрочного страхования сумма выплат по всем договорам равна сумме выплат по каждому отдельному договору, т.е. $S = \xi_1 + \dots + \xi_N$. Следовательно, для вероятности разорения получаем:

$$R = P(S > u) = P(\xi_1 + \dots + \xi_N > u) \quad (3)$$

При большом количестве договоров страхования вероятность неразорения страховой компании $P(S \leq u)$ зачастую имеет некоторый предел, равный приближенному значению этой вероятности. Предположим, что ξ_1, \dots, ξ_N независимые одинаково распределенные случайные величины, и пусть $E\xi_i = a$, $\text{Var}\xi_i = \sigma^2$. Тогда согласно центральной предельной теореме при больших значениях N получаем:

$$P(\xi_1 + \dots + \xi_N \leq u) = P\left(\frac{\xi_1 + \dots + \xi_N - ES}{\sqrt{\text{Var}S}} \leq \frac{u - ES}{\sqrt{\text{Var}S}}\right) \approx \Phi\left(\frac{u - ES}{\sqrt{\text{Var}S}}\right), \quad (4)$$

где $\Phi(x)$ – функция распределения стандартного нормального закона.

Для уменьшения вероятности разорения страховую премию по i -му договору определяют по формуле:

$$p_i = E\xi_i + l_i \quad (5)$$

Первое слагаемое в правой части (5) представляет собой, так называемую нетто-премию, которая соответствует нулевым потерям страховой компании, а второе слагаемое носит название страховой надбавки.

При таком подходе активы компании определяются следующим образом:

$$u = \sum_{i=1}^N (E\xi_i + l_i) = ES + l, \quad (6)$$

а вероятность разорения страховой компании:

$$R = P\left(\frac{S - ES}{\sqrt{\text{Var}S}} > \frac{l}{\sqrt{\text{Var}S}}\right) \approx 1 - \Phi\left(\frac{l}{\sqrt{\text{Var}S}}\right) \quad (7)$$

где $l = \sum_{i=1}^N l_i$ – общая страховая надбавка.

Страховая надбавка определяется, исходя из условия «R близко к нулю», что равносильно условию « α близко к единице», где:

$$\Phi\left(\frac{l}{\sqrt{\text{Var}S}}\right) = \alpha \quad (8)$$

Решая (8) относительно l , получим выражение для общей страховой надбавки:

$$l = x_\alpha \cdot \sqrt{\text{Var}S}, \quad (9)$$

где x_α – α -квантиль стандартного нормального распределения.

Для того, чтобы понять какова доля страховой надбавки по отношению к нетто-премии, вводят понятие относительной страховой надбавки:

$$\theta = l / E\xi \quad (10)$$

Рассмотрим два основных принципа разделения общей страховой надбавки между договорами.

1. Принцип пропорциональности среднему убытку

Пусть страховая надбавка l_i пропорциональна математическому ожиданию убытка ξ_i :

$$l_i = k \cdot E\xi_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (11)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Тогда выражению для страховой премии принимает следующий вид:

$$p_i = E\xi_i + l_i = E\xi_i \cdot (1 + k) = E\xi_i \cdot \left(1 + x_\alpha \cdot \frac{\sqrt{\text{Var}S}}{ES}\right) \quad (12)$$

2. Принцип пропорциональности дисперсии убытка:

Пусть страховая надбавка l_i пропорциональна дисперсии убытка ξ_i :

$$l_i = k \cdot \text{Var}\xi_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (13)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Тогда выражение для страховой премии принимает следующий вид:

$$p_i = E\xi_i + l_i = E\xi_i + \frac{x_\alpha}{\sqrt{\text{Var}S}} \cdot \text{Var}\xi_i \quad (14)$$

2. Сравнительный анализ основных принципов разделения страховой надбавки

Проведем сравнительный анализ рассмотренных выше принципов разделения страховой надбавки на конкретном примере. Поскольку реальные данные о результатах работы страховых компаний являются коммерческой тайной, мы проведем исследование на примере некой гипотетической компании. Однако это не повлияет на корректность выводов, т.к. сравнение будет проводится при одинаковых предположениях для обоих принципов разделения.

Итак, предположим, что некая страховая компания заключила 10000 договоров краткосрочного страхования жизни сроком на год. Каждый договор имеет следующие условия:

- в случае смерти застрахованного в течение года от несчастного случая (не включая самоубийство, отравление алкоголем) страховой компанией должна быть выплачена его наследникам сумма в один миллион рублей;
- в случае смерти застрахованного в течение года по естественным причинам выплачивается сумма в 500000 рублей;
- если застрахованный не умирает в течение года, либо совершает самоубийство или умирает по причине отравления алкоголем, то компания ничего не выплачивает.

При этом на основании данных Федеральной службы государственной статистики за 2011-2014 год [2] были получены следующие вероятности смерти для граждан Российской Федерации:

1. Вероятность смерти от несчастного случая не зависит от возраста и равна 0,000713.
2. Вероятность смерти по естественным причинам представлена в табл. 1.

Таблица 1. Вероятность смерти по естественным причинам

| Возраст (в годах) | Вероятность смерти P_i | Количество договоров в группе N_i | Возраст (в годах) | Вероятность смерти P_i | Количество договоров в группе N_i |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 0-4 | 0,001887 | 10 | 50-54 | 0,010834 | 850 |
| 5-9 | 0,000275 | 5 | 55-59 | 0,015431 | 800 |
| 10-14 | 0,000305 | 10 | 60-64 | 0,021796 | 600 |
| 15-19 | 0,000819 | 600 | 65-69 | 0,027939 | 400 |
| 20-24 | 0,001561 | 1000 | 70-74 | 0,040677 | 150 |
| 25-29 | 0,00266 | 1300 | 75-79 | 0,063206 | 40 |
| 30-34 | 0,00412 | 1300 | 80-84 | 0,098686 | 35 |
| 35-39 | 0,004923 | 1100 | 85-89 | 0,147203 | 25 |
| 40-44 | 0,005933 | 900 | 90-94 | 0,219201 | 20 |
| 45-49 | 0,007893 | 850 | 95-99 | 0,290719 | 5 |

Опираясь на результаты предыдущего раздела, вычислим такую величину страховой премии, при которой обязательства страховой компании будут выполнены с вероятностью 95%.

Результаты расчетов мы представлены в табл. 2.

Таблица 2. Страховые премии

| Возраст (в годах) | Принцип пропорциональности среднему убытку | | Принцип пропорциональности дисперсии убытка | |
|-------------------|--|----------------------------------|---|----------------------------------|
| | Сумма страховой премии (руб.) | Относительная страховая надбавка | Сумма страховой премии (руб.) | Относительные страховая надбавка |
| 0-4 | 1708,17 | 3,1% | 1665,47 | 0,54% |
| 5-9 | 876,98 | 3,1% | 854,36 | 0,45% |
| 10-14 | 892,65 | 3,1% | 869,64 | 0,45% |
| 15-19 | 1157,24 | 3,1% | 1127,62 | 0,47% |

| | | | | |
|-------|----------|------|----------|--------|
| 20-24 | 1539,89 | 3,1% | 1501,09 | 0,52% |
| 25-29 | 2106,60 | 3,1% | 2055,00 | 0,59% |
| 30-34 | 2859,53 | 3,1% | 2792,41 | 0,69% |
| 35-39 | 3273,42 | 3,1% | 3198,48 | 0,75% |
| 40-44 | 3793,83 | 3,1% | 3709,79 | 0,83% |
| 45-49 | 4804,75 | 3,1% | 4705,31 | 0,98% |
| 50-54 | 6320,92 | 3,1% | 6204,10 | 1,21% |
| 55-59 | 8691,08 | 3,1% | 8560,76 | 1,57% |
| 60-64 | 11972,64 | 3,1% | 11851,21 | 2,07% |
| 65-69 | 15139,65 | 3,1% | 15057,15 | 2,55% |
| 70-74 | 21706,7 | 3,1% | 21799,93 | 3,56% |
| 75-79 | 33322,06 | 3,1% | 34039,99 | 5,33% |
| 80-84 | 51614,39 | 3,1% | 54129,21 | 8,14% |
| 85-89 | 76627,82 | 3,1% | 83209,71 | 11,97% |
| 90-94 | 113747,5 | 3,1% | 129792,7 | 17,66% |
| 95-99 | 150619,5 | 3,1% | 180119,6 | 23,31% |

Выводы

Из полученных результатов можем сделать вывод, что использование принципа пропорциональности среднему убытку для расчета страховых премий более выгодно для лиц, старших 70-ти лет. Связано это с тем, что страховая надбавка при использовании данного принципа делится одинаково между всеми договорами страхования независимо от того, низка или высока вероятность смерти в данной возрастной группе. И, следовательно, страхователи из возрастных групп с низкими вероятностями смерти платят за риски, связанные с договорами, относящимися к возрастным группам с более высокими вероятностями смерти. Принцип пропорциональности дисперсии убытка более выгоден для лиц моложе 70-ти лет, т.к. чем ниже вероятность смерти в возрастной группе, тем ниже относительная страховая надбавка.

Литература

1. Фалин Г.И. Математические основы теории страхования жизни и пенсионных схем. М.: Анкил, 2002.
2. Федеральная служба государственной статистики – <http://www.gks.ru/>
3. Фалин Г.И. Актуарная математика в задачах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
4. Буэрс Н. Актуарная математика. М.: Янус-К6 2011.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PRINCIPLES OF INSURANCE PREMIUMS SETTLEMENT IN THE MODEL OF SHORT-TERM LIFE INSURANCE

Denisovich A.P., Matushenko S.I.

Peoples' Friendship University of Russia , Moscow, Russia
 anastasiadenisovich@gmail.com, matushenko@list.ru

Abstract – The article is about two main principles of premium loading distribution between short-term life insurance agreements and their comparative analysis is carried out on basis of statistical data of mortality in the Russian Federation from 2011 till 2014.

Key words: short-term life insurance, principle of proportionality to the average loss, principle of proportionality to the variance of the loss.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАНТОРОВИЧА К ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ВОЛНОВОДОВ

Диваков Д.В., Тютюнник А.А.

*Российский университет дружбы народов,
dmitriy.divakov@gmail.com, nastya.tyutyunnik@gmail.com*

В работе рассмотрен метод Канторовича применительно к решению уравнений Максвелла в случае волноводного распространения.

Ключевые слова: уравнения Максвелла, метод адиабатических волноводных мод, метод Канторовича.

Введение

Работа посвящена задаче редукции системы уравнений Максвелла к системе уравнений в частных производных относительно функций, являющихся коэффициентными функциями в разложении решения по методу Канторовича.

В рамках работы также поставлена задача введения скалярного произведения в гильбертовом пространстве $L_2(\mathbb{R}, \mathbb{R}^4)$.

Основная часть

Решение уравнений Максвелла будем искать в виде разложения Канторовича по базису адиабатических волноводных мод. В этом случае, решение уравнений Максвелла будем искать в следующем виде:

$$u(x, y, z, t) = \sum_j C_j(y, z) \bar{\Psi}_j(x, y, z, t) \tag{1}$$

где $\bar{\Psi}_j(x, y, z, t) = \left\{ \begin{matrix} \bar{E}_j(x; y, z) \\ \bar{H}_j(x; y, z) \end{matrix} \right\} \exp\{i\omega t - i\varphi(y, z)\} / \sqrt{\beta_j(y, z)}$.

Подставляя решение вида (1) в исходную систему уравнений Максвелла и проведя ряд преобразований, мы получаем систему соотношений относительно неизвестных коэффициентных функций следующего вида:

$$\sum_j \frac{\partial^2 C_j}{\partial z^2} E_{jy} - \frac{\partial^2 C_j}{\partial z \partial y} E_{jz} - \frac{\partial C_j}{\partial z} (p_{jy} E_{jz} - 2p_{jz} E_{jy}) - \frac{\partial C_j}{\partial y} p_{jz} E_{jz} = 0 \tag{2}$$

$$\sum_j \frac{\partial^2 C_j}{\partial y^2} E_{jz} - \frac{\partial^2 C_j}{\partial z \partial y} E_{jy} - \frac{\partial C_j}{\partial y} (p_{jz} E_{jy} - 2p_{jy} E_{jz}) - \frac{\partial C_j}{\partial z} p_{jy} E_{jy} = 0 \tag{3}$$

$$\sum_j \frac{\partial^2 C_j}{\partial z^2} H_{jy} - \frac{\partial^2 C_j}{\partial z \partial y} H_{jz} - \frac{\partial C_j}{\partial z} (p_{jy} H_{jz} - 2p_{jz} H_{jy}) - \frac{\partial C_j}{\partial y} p_{jz} H_{jz} = 0 \tag{4}$$

$$\sum_j \frac{\partial^2 C_j}{\partial y^2} H_{jz} - \frac{\partial^2 C_j}{\partial z \partial y} H_{jy} - \frac{\partial C_j}{\partial y} (p_{jz} H_{jy} - 2p_{jy} H_{jz}) - \frac{\partial C_j}{\partial z} p_{jy} H_{jy} = 0 \tag{5}$$

Здесь использованы обозначения $p_{jy} = -i \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \frac{1}{2\beta_j} \frac{\partial \beta_j}{\partial y}$, $p_{jz} = -i \frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{1}{2\beta_j} \frac{\partial \beta_j}{\partial z}$.

Систему соотношений можно представить в виде $\sum_j A_j \bar{\Phi}_j = \vec{0}$, где A_j – матрица, состоящая из производных коэффициентной функцией, а $\bar{\Phi}_j$ – вектор функция $(E_{jy}, E_{jz}, H_{jy}, H_{jz})^T$. Чтобы получить систему дифференциальных уравнений в частных производных относительно неизвестных коэффициентных функций, полученную систему соотношений необходимо скалярно умножить на соответствующие координатные функции: $\sum_j (A_j \bar{\Phi}_j, \bar{\Phi}_m) = \vec{0}$. Так как в системе стоят векторные функции, встала задача определения скалярного произведения в пространстве $L_2(\mathbb{R}, \mathbb{R}^4)$.

Выводы

В работе были получены системы соотношений (2)-(5), которые можно с помощью скалярного произведения с соответствующими координатными функциями привести к системе дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка для коэффициентных функций Канторовича $C_j(y, z)$. В свою очередь, для получения системы дифференциальных уравнений в частных производных необходимо ввести скалярное произведение в гильбертовом пространстве $L_2(\mathbb{R}, \mathbb{R}^4)$.

Литература

1. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. – Л.: Физматгиз, 1962.
2. Севастьянов Л.А., Егоров А.А. Теоретический анализ волноводного распространения электромагнитных волн в диэлектрических плавно-нерегулярных интегральных структурах // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 105. № 4. С. 632-640.
3. Егоров А.А., Ловецкий К.П., Севастьянов А.Л., Севастьянов Л.А. Моделирование направляемых (собственных) мод и синтез тонкопленочной обобщенной волноводной линзы Люнеберга в нулевом векторном приближении // Квантовая Электроника. 2010. Т. 40. № 9. С. 830-836.
4. Егоров А.А., Севастьянов А.Л., Айрян Э.А., Ловецкий К.П., Севастьянов Л.А. Адиабатические моды плавно-нерегулярного оптического волновода: нулевое приближение векторной теории // Математическое моделирование. 2010. Т. 22. № 8. С. 42-54.
5. L.A. Sevastyanov, A.L. Sevastyanov, A.A. Tyutyunnik. Analytical Calculations in Maple to Implement the Method of Adiabatic Modes for Modelling Smoothly Irregular Integrated Optical Waveguide Structures // LNCS 8660, pp. 421–433, 2014.

APPLICATION OF KANTOROVICH METHOD TO SIMULATION OF OPENED WAVEGUIDES

Divakov D.V., Tyutyunnik A.A.

Peoples' Friendship University of Russia, dmitriy.divakov@gmail.com, nastya.tyutyunnik@gmail.com

The work is dedicated to application of Kantorovich method to the solution of Maxwell's equations for the case of waveguide propagation.

Key words: Maxwell's equations, adiabatic waveguide modes, Kantorovich method.

ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ TS-МОДЕЛЕЙ

Дружинина О.В., Масина О.Н.

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, ovdruzjh@mail.ru
 Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, olga121@inbox.ru

Охарактеризован подход к исследованию систем интеллектуального управления. Рассмотрен вопрос об использовании моделей Такаги–Суджено (TS-моделей) для случая линейных и квадратичных функций принадлежности. Проведен сравнительный анализ и намечены направления исследования устойчивости указанных моделей.

Ключевые слова: TS-модель, интеллектуальное управление, устойчивость.

Введение

В ряде задач управления изучаемые нелинейные явления описываются с помощью TS-моделей [1]. Указанные модели интеллектуального управления базируются на правилах логического вывода и логических регуляторах. Они имеют многочисленные применения в промышленности, в естествознании, в инженерной практике [2–5].

Вопросам устойчивости TS-моделей посвящены многочисленные работы (см, например, [6–11]). Анализ устойчивости этих моделей может быть сведен к задачам, решаемым с помощью свойств линейных матричных неравенств, которые обеспечивают требуемые свойства функций Ляпунова [2, 3, 10, 11]. В настоящей работе проведен сравнительный анализ TS-моделей с конечным числом входов n и выходов m для случаев линейных и квадратичных полиномов, в виде которых представляются соответствующие функции принадлежности.

Простейшая TS-модель при $n=1, m=1$

При описании TS-модели с одним входом $z \in [-\alpha, \beta]$ и одним выходом S предполагается, что $\alpha + \beta \neq 0$. Обозначим через $N, P: [-\alpha, \beta] \rightarrow [0, 1]$ два нечетких множества, которые удовлетворяют условиям: 1) $N(z)$ – непрерывная, невозрастающая функция, 2) $N(-\alpha) = 1, N(\beta) = 0$, 3) $P(z) = 1 - N(z)$, 4) функция $P(z)$ является непрерывной, возрастающей функцией, удовлетворяющей граничным условиям: $P(\beta) = 1, P(-\alpha) = 0$. TS-модель определяется двумя нечеткими правилами вида:

P_1 : если z есть N , то $S=q_1$,

P_2 : если z есть P , то $S=q_2$.

Показано [5], что выходом TS-модели является непрерывная монотонная функция $f(z)$:

$[-\alpha, \beta] \rightarrow R$, если выполняются условия: 1) $q_1 = f(-\alpha), q_2 = f(\beta)$, 2) $N(z) = \frac{f(z) - f(\beta)}{f(-\alpha) - f(\beta)}$,

3) выход TS-модели имеет вид $S(z) = \frac{q_1 N(z) + q_2 P(z)}{N(z) + P(z)} = f(z)$, 4) функции

принадлежности нечетких множеств N и P являются монотонными. Рассматриваемая TS-модель с одним входом, одним выходом и двумя нечеткими множествами для входных переменных аппроксимирует любую нелинейную, непрерывную монотонную функцию от одной переменной.

TS-модель первого типа при $n>1, m=1$

Далее рассматривается TS-модель с входными переменными z_1, z_2, \dots, z_n и одним выходом S . Предполагается, что заключения нечетких правил не зависят от входных переменных. Для каждого входа $z_k \in [-\alpha_k, \beta_k]$ предполагается, что $\alpha_k + \beta_k \neq 0$ при

$k = 1, 2, \dots, n$, и для каждого z_k определим два нечетких множества с линейными функциями принадлежности $N_k(z_k)$ и $P_k(z_k)$ вида

$$N_k(z_k) = \frac{\beta_k - z_k}{\alpha_k + \beta_k}, \quad P_k(z_k) = 1 - N_k(z_k), \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Указанная выше TS-модель определяется 2^n правилами в виде импликаций

$$\text{ЕСЛИ } P_{(i_1, \dots, i_n)}, \quad \text{ТО } S = q_{(i_1, \dots, i_n)}, \quad (2)$$

где $(i_1, \dots, i_n) \in \{0, 1\}^n$, каждая посылка $P_{(i_1, \dots, i_n)}$ является предложением вида

$$P_{(i_1, \dots, i_n)} = \text{“} z_1 \text{ есть } A_{i_1} \text{ и } \dots \text{ и } z_n \text{ есть } A_{i_n} \text{”}, \quad (3)$$

$$A_{i_k} = \begin{cases} N_k, & \text{если } i_k = 0 \\ P_k, & \text{если } i_k = 1 \end{cases}, \quad k = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Модель на базе правил (2)–(4) назовем TS-моделью первого типа. Множество $D^n = [-\alpha_1, \beta_1] \times \dots \times [-\alpha_n, \beta_n]$ называется n -кубом. Доказано, что для каждой полилинейной функции $f_0: D^n \rightarrow R$ вида $f_0(z) = \sum_{(p_1, \dots, p_n) \in \{0, 1\}^n} \theta_{p_1, \dots, p_n} z_1^{p_1} \dots z_n^{p_n}$, где 2^n

коэффициентов $\theta_{00\dots 0}, \theta_{0\dots 0, 0}, \theta_{0\dots 0, 0}, \dots, \theta_{11\dots 1}$ являются действительными числами,

существует TS-модель с линейными функциями принадлежности такая, что $S(z) = f_0(z)$

для всех $z \in D^n$ и выполняются условия: а) входы модели являются компонентами вектора $z \in D^n$, выходом является S , б) каждой компоненте вектора Z соответствуют две линейные функции принадлежности, определенные с помощью соотношений (1), в) модель определяется 2^n нечеткими правилами вида (2)–(4), а все части следствий q_1, q_2, \dots, q_{2^n}

правил могут быть найдены в виде решения 2^n линейных уравнений. В дальнейшем будут получены условия асимптотической устойчивости и стабилизации полиномиальных TS-моделей с одним выходом на основе свойств моделей интеллектуального управления с сингтон-выходом [4, 6].

TS-модель первого типа при $n > 1, m > 1$

Рассматривается TS-модель с линейными функциями принадлежности для входов z_1, \dots, z_n и многими выходами S_1, \dots, S_m . Предполагается, что TS-модель, в которой для всех входов функции принадлежности нечетких множеств являются линейными, входы образуют вектор $[z_1, \dots, z_n]^T = z \in D^n$, а выходы S_1, \dots, S_m , определяется с помощью 2^n нечетких правил *если...то*. Получено, что вектор-строка четких выходов $S(z) = [S_1, \dots, S_m]$ может быть найдена по формуле $S(z) = g^T(z)(\Omega^T)^{-1} Q$, где $Q = \Omega^T \Theta$ – матрица следствий, $\Theta = [\theta_1, \dots, \theta_m] \in R^{2^n \times m}$. Установлено, что матрица Ω составлена из 2^n столбцов, являющихся значениями порождающего базового вектора в вершинах n -куба D^n , в котором каждая вершина соответствует подходящей посылке правила. Дано компактное матричное описание TS-модели первого типа при $n > 1, m > 1$.

TS-модель второго типа при $n=1, m=1$

Рассматривается TS-модель с одним входом $z \in [-\alpha, \beta]$ и одним выходом S . В интервале $[-\alpha, \beta]$ определим три функции принадлежности нечетких множеств $N(z)$, $Z(z)$ и $P(z)$, являющиеся многочленами второго порядка и удовлетворяющие следующим

условиям: а) $N : [-\alpha, \beta] \rightarrow [0, 1]$ – монотонная функция с отрицательным наклоном, т.е. $dN(z)/dz < 0$ при $z \in [-\alpha, \beta]$, удовлетворяющая граничным условиям: $N(-\alpha) = 1$, $N(\beta) = 0$; 2) $P : [-\alpha, \beta] \rightarrow [0, 1]$ – монотонная функция с положительным наклоном, т.е. $dP(z)/dz > 0$ при $z \in [-\alpha, \beta]$, симметричная функции N относительно центра отрезка $\sigma \in [-\alpha, \beta]$, $\sigma = (-\alpha + \beta)/2$; 3) $Z : [-\alpha, \beta] \rightarrow [0, 1]$ – функция, имеющая нулевой наклон в σ , т.е. $dZ(\sigma)/dz = 0$; 4) функции N , Z и P удовлетворяют условию нормированности, т.е. $N(z) + Z(z) + P(z) = 1 \quad \forall z \in [-\alpha, \beta]$. Модель Такаги–Суджено с квадратичными функциями принадлежности назовем TS-моделью второго типа. Показано, что трех квадратичных функций принадлежности достаточно для моделирования любой функции вида многочлена второго порядка. Установлено, что четкий выход рассматриваемой TS-модели является заключением правила, если входом являются $-\alpha$ или β .

TS-модель второго типа при $n > 1, m = 1$

Рассматривается TS-модель с квадратичными функциями принадлежности со входами z_1, \dots, z_n и одним выходом S . В каждом интервале $[-\alpha_k, \beta_k]$ определяется три функции принадлежности нечетких множеств $N_k(z_k)$, $Z_k(z_k)$ и $P_k(z_k)$ вида

$$N_k(z_k) = \frac{(\alpha_k + \beta_k - \lambda_k(z_k + \alpha_k))(\beta_k - z_k)}{(\alpha_k + \beta_k)^2}, \quad Z_k(z_k) = 2\lambda_k \frac{(\beta_k - z_k)(z_k + \alpha_k)}{(\alpha_k + \beta_k)^2},$$

$$P_k(z_k) = \frac{(\alpha_k + \beta_k + \lambda_k(z_k - \beta_k))(z_k + \alpha_k)}{(\alpha_k + \beta_k)^2}, \quad \text{где } \lambda_k \in (0, 1], \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad \text{причем для}$$

разных входов выбираются различные параметры. Четкий выход рассматриваемой TS-модели с квадратичными функциями принадлежности совпадает в вершинах n -куба D^n с некоторым подходящим заключением правила из базы правил.

Сравнительный анализ

Рассмотрены полиномиальные TS-модели первого и второго типа с конечным числом входов n и выходов m для случая линейных и квадратичных многочленов соответственно, причем изучены случаи: $n=1, m=1$; $n>1, m=1$; $n>1, m>1$. Установлено соотношение между TS-моделями первого типа и классом функций, которому они эквивалентны. В [5] показано, что при формулировке частей следствий нечетких правил TS-моделей первого типа единственной информацией, требующей экспертного описания, являются значения функции f в вершинах гиперкуба D^n , что позволяет получить однозначную запись TS-модели первого типа на базе правил в матричном виде и может использоваться для экономии компьютерной памяти, нужной для хранения экспертных знаний о процессе, описываемом TS-моделью. В отличие от TS-моделей первого типа, для TS-моделей второго типа в качестве функций принадлежности нечетких множеств для входов используются многочлены второго порядка. Для рассмотренных TS-моделей второго типа определено множество из трех хорошо интерпретируемых нормированных функций принадлежности в виде многочленов второго порядка, содержащих один вспомогательный параметр. TS-модель второго типа с n входами состоит из 3^n нечетких правил. Поэтому проблема размерности является гораздо более сложной для TS-моделей второго типа, чем для TS-моделей первого типа, в связи с чем необходимо совершенствовать рекурсивные процедуры для вычисления четкого выхода TS-модели второго типа.

Методы исследования качественных свойств, в частности, устойчивости, TS-моделей с неполиномиальными функциями принадлежности предполагается расширить и

обобщить для случая TS-моделей с линейными и квадратичными функциями принадлежности.

Выводы

В работе охарактеризован подход к исследованию систем интеллектуального управления на основе сравнительного анализа TS-моделей первого и второго типа с конечным числом входов n и выходов m . Проведенный анализ может быть использован для случая TS-моделей с функциями принадлежности в виде многочленов степени выше 2, а также для анализа качественных свойств управляемых технических систем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-08-00710).

Литература

1. *Takagi T., Sugeno M.* Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. Syst., Man and Cyber. 1985. V. 15. P. 116–132.
2. *Tanaka K., Wang H.O.* Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach. N.Y.: Wiley, 2001.
3. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
4. *Васильев С.Н.* К интеллектуальному управлению // Нелинейная теория управления и ее приложения. М.: Физматлит, 2000. С. 57–126.
5. *Kluska J.* Analytical methods in fuzzy modeling and control // Studies in fuzziness and soft computing. 2009. V. 241. P. 1–251.
6. *Sugeno M.* On stability of fuzzy systems expressed by fuzzy rules with singleton consequents // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 1999. V. 7. №. 2. P. 201–224.
7. *Шестаков А.А.* Обобщенный прямой метод Ляпунова для систем с распределенными параметрами. М.: УРСС, 2007.
8. *Дружинина О.В., Шестаков А.А.* Обобщенный прямой метод Ляпунова исследования устойчивости и притяжения в общих временных системах // Матем. сборник. 2002. Т. 193. № 10. С. 17–48.
9. *Bernal M., Guerra T. M., Kruszewski A.* A membership function-dependent approach for stability analysis and controller synthesis of Takagi-Sugeno models // Fuzzy sets and systems, 2009. V. 160(19). P. 2776–2795.
10. *Масина О.Н., Дружинина О.В.* Моделирование и анализ устойчивости некоторых классов систем управления. М.: ВЦ РАН, 2011.
11. *Дружинина О.В., Масина О.Н., Игонина Е.В.* Разработка алгоритмов стабилизации управляемых систем на основе свойств линейных матричных неравенств // Научные технологии, 2013. Т. 14. № 6. С. 4–8.

APPROACH TO RESEARCH OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS ON THE BASIS OF THE COMPARATIVE ANALYSIS OF POLYNOMIAL TS-MODELS

Druzhinina O.V., Masina O.N.

*Dorodnicyn Computing Center of RAS, ovdruzh@mail.ru
Yelets State University after I.A. Bunin, olga121@inbox.ru*

Approach to research of intelligent control systems is characterized. The question of using of polynomial Takagi-Sugeno models (TS-models) for a case of linear and quadratic membership functions is considered. The comparative analysis is carried out and directions of stability research are suggested for the specified models.

Key words: TS-model, intelligent control, stability.

ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД ДЛЯ ОДНОШАГОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Ефери́на Е. Г.¹, Коро́лькова А. В.¹, Куля́бов Д. С.^{1,2}, Малу́тин В. Б.³

¹Российский университет дружбы народов, *eg.eferina@gmail.com, akorolkova@sci.pfu.edu.ru, ds@sci.pfu.edu.ru*

²Лаборатория информационных технологий, Объединённый институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980

³Институт математики НАН Беларуси, Белоруссия, 220072, г. Минск, ул. Сурганова, 11, *no@mail.ru*

Адаптирован операторный метод решения стохастических дифференциальных уравнений для одношаговых процессов.

Ключевые слова: операторный метод, стохастические дифференциальные уравнения, модель «хищник-жертва», основное кинетическое уравнение.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 14-01-00628, 15-07-08795, договором с БРФФИ № Ф14Д-002.

Введение

При решении основного кинетического уравнения, которое описывает одношаговые процессы, возникают проблемы. Решение формально представляется в форме матричной экспоненты и расходится.

В работе описывается адаптированный операторный подход квантовой теории поля (КТП) для решения задач, связанных с одношаговыми процессами. Операторный метод состоит из следующих частей:

- запись основного кинетического уравнения в операторной форме и определение гамильтониана,
- разложение гамильтониана в ряд,
- применение оператора хронологического упорядочения Дайсона к решению основного кинетического уравнения,
- переход к хронологическому оператору Вика,
- получение точного решения с помощью диаграмм Фейнмана.

Метод стохастизации одношаговых процессов

Метод стохастизации одношаговых процессов позволяет нам на основе схем взаимодействия получить операторы изменения состояний и интенсивности переходов [1]. Используя их, можно получить основное кинетическое уравнение в следующем виде:

$$\dot{P}(t, n) = s^-(n+1)P(t, n+1) - s^+(n)P(t, n) + s^+(n-1)P(t, n-1) - s^-(n)P(t, n), \quad (1)$$

где s^+ и s^- – интенсивности переходов.

Операторный метод

Полученное с помощью метода стохастизации одношаговых процессов основное кинетическое уравнение представим в операторной форме, для этого воспользуемся формализмом Дирака [2]:

$$\dot{P}(t, n) = (a^\dagger - I)s^-(n)P(t, n) + (a - I)s^+(n)P(t, n), \quad (2)$$

где a^\dagger – оператор рождения, a – оператор гибели.

Определим действие операторов рождения и гибели следующим образом [2-3]:

$$a|0\rangle = 0, \quad a^\dagger|n\rangle = |n+1\rangle, \quad a|n\rangle = |n-1\rangle,$$

$$[a, a^\dagger] = aa^\dagger + a^\dagger = I, \quad \langle n|m\rangle = \delta_{nm}.$$

Здесь $|0\rangle$ – вакуумное состояние, $|n\rangle$ – вектор состояния, $\langle n|m\rangle$ – нормировка, I – единичный оператор.

Для того чтобы перейти к гамильтонову формализму, запишем основное кинетическое уравнение в каноническом виде:

$$\frac{d|P_t\rangle}{dt} = H|P_t\rangle, \quad (3)$$

где $|P_t\rangle = \sum_{n=0}^{\infty} P(t, n) |n\rangle$, H – гамильтониан.

Запишем уравнение (3), используя скобку Пуассона, чтобы применить теорию возмущений для нахождения решения

$$\varphi_n = \{\varphi_n, H(\varphi, t)\}, \quad n = \overline{1, \infty}. \quad (4)$$

Представим гамильтониан $H(\varphi, t)$ в виде $H = H_0 + h$, чтобы уравнения

$$\dot{\varphi}'_n = \{\varphi'_n, H_0(\varphi, t)\} \quad (5)$$

имели точное решение $\varphi_n = \varphi_n(\varphi', t)$. Координаты φ'_n удовлетворяют уравнениям:

$$\dot{\varphi}'_n = \{\varphi'_n, H'(\varphi', t)\} \quad (6)$$

с гамильтонианом $H'(z', t) = \hat{h}(\varphi(\varphi', t), t)$.

Решив уравнения (5) и (6) и обозначив $\tilde{\varphi}_n \equiv \varphi_n(\phi'_0, t)$, $\tilde{\varphi}_{n\alpha} \equiv \varphi_n(\varphi'_0, t_\alpha)$, можем записать решение уравнения (4) в виде ряда:

$$\varphi_n = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} dt_2 \cdots \int_{t_0}^{t_{k-1}} dt_k \hat{h}(t_k) \hat{h}(t_{k-1}) \cdots \hat{h}(t_1) \tilde{\varphi}_n,$$

где оператор $\hat{h}(t_\alpha)$ определяется по формуле:

$$\hat{h}(t_\alpha) = \omega_{\alpha\beta} \frac{\partial h(\tilde{\varphi}_\alpha, t_\alpha)}{\partial \varphi'_\beta} \frac{\partial}{\partial \varphi'_{\alpha 0}}, \quad \alpha, \beta = \overline{1, \infty}.$$

Область интегрирования ограничена условиями $t_0 \leq t_1 \leq t, t_\alpha \leq t_{\alpha-1}$. Это ограничение можно устранить введение хронологического оператора Дайсона P , который, действуя на произведение операторов, располагает их в хронологическом порядке. Тогда решение можно преобразовать к виду:

$$\varphi_n = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} dt_2 \cdots \int_{t_0}^{t_{k-1}} dt_k P \hat{h}(t_1) \hat{h}(t_2) \cdots \hat{h}(t_k) \tilde{\varphi}_n,$$

$$\varphi_n = \text{Exp} \left(\int_{t_0}^t dt \hat{h}(t) \right) \tilde{\varphi}_n.$$

Так как мы хотим учитывать статистику, то перейдем от оператора Дайсона к оператору Вика. Оператор Вика T располагает произведение операторов в порядке возрастания временных аргументов так, что операторы, соответствующие более поздним моментам времени стоят слева от тех, которые соответствуют более ранним моментам, а общий знак выражения определяется четностью перестановок фермиевских операторов. Оператор Вика имеет следующий вид:

$$T\{\varphi(t_1)\varphi(t_2)\} =: \varphi(t_1)\varphi(t_2): + \varphi(t_1) \text{[} \varphi(t_2) \text{]}.$$

Диаграммы Фейнмана

Диаграммы Фейнмана – наглядный и эффективный способ описания взаимодействий в КТП. Основными элементами диаграммы Фейнмана являются вершины, внутренние и внешние линии. Правила Фейнмана сопоставляют каждому элементу диаграммы определенные математические величины и операции.

Таким образом, ряд можно проиллюстрировать с помощью диаграмм Фейнмана и получить точное решение.

Получение гамильтониана для модели «хищник-жертва»

Рассмотрим модель системы «хищник-жертва», состоящую из особей двух видов, один из них охотится за другим, который обеспечен неисчерпаемыми пищевыми ресурсами. Обозначив X – жертва, Y – хищник, запишем схемы взаимодействия:

$$X + A \xrightarrow{k_1} 2X, \quad r_1 = (1, 0),$$

$$X + Y \xrightarrow{k_2} 2Y, \quad r_2 = (-1, 1),$$

$$Y \xrightarrow{k_3} B, \quad r_3 = (0, -1),$$

которые имеют следующую интерпретацию. Первое соотношение означает, что жертва, которая съедает единицу пищи, немедленно репродуцирует. Второе соотношение описывает поглощение жертвы хищником и мгновенное репродуцирование хищника. Последнее соотношение – естественная смерть хищника.

Все процессы необратимы, поэтому $s^- = 0$,

$$s_1^+(x, y) = k_1 \frac{x!}{(x-1)!} \frac{y!}{y!} = k_1 x, \quad s_2^+(x, y) = k_2 \frac{x!}{(x-1)!} \frac{y!}{(y-1)!} = k_2 xy,$$

$$s_3^+(x, y) = k_3 \frac{x!}{x!} \frac{y!}{(y-1)!} = k_3 y.$$

Основное кинетическое уравнение в операторной форме имеет следующий вид:

$$\frac{\partial P(n, t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^3 (a - I) s_i^+(n) P(n, t).$$

Таким образом, для модели «хищник-жертва» гамильтониан имеет вид:

$$H = \sum_{i=1}^3 (a - I) s_i^+(n).$$

Выводы

Получен адаптированный операторный метод для одношаговых процессов, описанных основным кинетическим уравнением. Метод позволяет корректно решать уравнения с матричной экспонентой и снимает проблему расходимости решения.

Применение метода проиллюстрировано на модели «хищник-жертва».

Литература

1. Eferina E.G. et al. One-Step Stochastic Processes Simulation Software Package // Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series «Mathematics. Information Sciences. Physics». 2014. № 3. P. 46-59.
2. Hnatič M., Honkonen J., Lučivjanský T. Field-theoretic technique for irreversible reaction processes // Physics of Particles and Nuclei. 2013. № 2. P. 316-348.
3. Doi M. Second quantization representation for classical many-particle system // Journal of Physics A: Mathematical and General. 1976. № 9. P. 1465-1477.

OPERATOR METHOD FOR ONE-STEP PROCESSES

Eferina E.G.¹, Korolkova A.V.¹, Kulyabov D.S.^{1,2}, Malutin V.B.³

¹Peoples' Friendship University of Russia, eg.eferina@gmail.com, akorolkova@sci.pfu.edu.ru, ds@sci.pfu.edu.ru

²Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research, Russia, 141980, Dubna, Moskovskaya obl., Joliot-Curie st., 6

³Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarus, 220072, Minsk, Surganov str., no@mail.ru

Operator method was adapted for solving stochastic differential equations for one-step processes.

Key words: operator method, stochastic differential equations, the "predator-prey" model, master equation.

The work is partially supported by RFBR grants No's 14-01-00628 and 15-07-08795, agreement with BRFFR No F14D-002.

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ КВАНТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Зорин А.В.

Российский университет дружбы народов, zorin@rudn.ru

Одной из важных проблем описания квантово-механических систем является описание результатов измерения характеристик, например, спектральных данных систем. Именно измерения в ходе экспериментов характеристики квантовых объектов следует сравнивать с результатами теоретических исследований.

Ключевые слова: квантовые измерения, компьютерное моделирование квантовых объектов.

Общие положения модели

Изолированный (классический) объект описывается конфигурационным пространством $Q = \mathbb{R}^n$, фазовым пространством $T^*Q = \mathbb{R}^n \oplus \mathbb{R}^n$, классической функцией гамильтона $H(q, p)$, еще $(n-1)$ интегралами движения, находящимися в инволюции с $H(q, p)$, и классом (вещественных) функций $\{A(q, p)\}$ классических наблюдаемых. Соответствующий квантовый объект описывается оснащенным гильбертовым пространством $S(Q) \subset L_2(Q) \subset S'(Q)$, алгеброй операторов состояний (матриц плотности) $\{\hat{\rho}\}$, алгеброй квантовых наблюдаемых $\{O(A)\}$, полученных из классических наблюдаемых $A(q, p)$ с помощью процедуры квантования [1]. Самосопряженный оператор $O(A)$ наблюдаемой A допускает ортонормированное разложение единицы $d\hat{\Lambda}(\lambda)$, согласованное со структурой оснащенного гильбертова пространства [2]. Средние значения наблюдаемой A в состояниях $\hat{\rho}$ задаются выражением: $\langle A \rangle_{\hat{\rho}} = Tr\{O(A)\hat{\rho}\}$ [3].

Квантовая функция распределения Вигнера [4] $\hat{\rho} \mapsto W_{\rho}(q, p)$ лежит в основе операциональной модели квантовых измерений [5], она соответствует правилу квантования Вейля [6] $A(q, p) \mapsto O_w(A)$ (подробно изученному в работах [7-8]).

Квантование Вейля [7-8] сопоставляет обобщенной функции $A \in S'(\mathbb{R}^{2n})$ ($S(\mathbb{R}^n)$ - пространство Шварца) линейный непрерывный оператор $O_w(A): S(\mathbb{R}^n) \rightarrow S'(\mathbb{R}^n)$, определяемый полуторалинейной формой на $\varphi, \psi \in S(\mathbb{R}^n)$: $(O_w(A)\varphi, \psi) = \langle A, \Psi \rangle$, $\Psi(u) = \frac{1}{(2\pi\hbar)^n} \int \exp\left\{\frac{i}{\hbar}(p, z)\right\} \varphi\left(q + \frac{z}{2}\right) \bar{\psi}\left(q + \frac{z}{2}\right) dz$, где $u = (p, q) \in \mathbb{R}^{2n}$, $p, q \in \mathbb{R}^n$, а $\langle A, \Psi \rangle$ - значение $A \in S'(\mathbb{R}^{2n})$ на $\Psi \in S(\mathbb{R}^{2n})$.

Постулат Борна и его обобщение

Кроме математической модели квантово-механического объекта имеется еще постулат интерпретации Борна, задающий вероятности ожиданий значений спектрального параметра в заданном квантово-механическом состоянии (чистом или смешанном). Имеются также экспериментально измеренные значения спектрального

параметра, полученные в ходе некоторого измерительного эксперимента. Величины измеренных значений зависят от некоторых параметров измерительного устройства (например, угла пространственной ориентации детектора), чего не предусматривает постулат Борна.

В модели квантовых измерений Холево постулат Борна обобщен, обобщено также описание квантового объекта до составной квантовой системы «измеряемый объект+измерительный аппарат» в пространстве $S \oplus S \subset L_2(Q) \oplus L_2(Q) \subset S' \oplus S'$ с помощью операторов «измеренных» наблюдаемых $O_w(A) \otimes \hat{I}$, а ее состояния до процедуры измерения задаются операторами $\hat{\rho}_1 \otimes \hat{\rho}_2$. Среднее значение измеренной наблюдаемой равно [3] $\langle A \rangle_{\rho_1 \otimes \rho_2} = Tr \left\{ (O_w(A) \otimes \hat{I}) (\hat{\rho}_1 \otimes \hat{\rho}_2) \right\} = Tr_1 \left\{ O_{\rho_2}(A) \hat{\rho}_1 \right\}$,

где Tr_1 - частичный след по пространству $L_2(Q_1)$ и $O_{\rho_2}(A) = Tr_2 \left\{ (O_w(A) \otimes \hat{I}) (\hat{\rho}_1 \otimes \hat{\rho}_2) \right\}$ - частичный след по пространству $L_2(Q_2)$.

В модели Курышкина-Вудкевича среднее значение измеренной наблюдаемой равно [5, 9] $\langle A \rangle_{\rho_1 \otimes \rho_2} = \int A(q, p) (W_{\rho_1} * W_{\rho_2})(q, p) dq dp$,

т.е. $\langle A \rangle_{\rho} = \int A(q, p) \int W_{\rho_1}(q - \tilde{q}, p - \tilde{p}) W_{\rho_2}(\tilde{q}, \tilde{p})(q, p) d\tilde{q} d\tilde{p} dq dp$. Нами доказана [10]

Теорема. Правило квантования Курышкина-Вудкевича сопоставляет обобщенной функции $A \in S'(T^*Q)$ линейный непрерывный оператор вида $O_{\rho_2}(A) = O_w(A * W_{\rho_2}): S(Q) \rightarrow S'(Q)$.

Приложение модели к водородоподобным атомам

Рассмотрим в качестве примера квантово-механической системы атом водорода (водородоподобный атом). Его модель имеет два уровня описания: классический и квантовый, - связанные между собой однозначно.

Координатное пространство Q - это многообразие состояний задачи Кеплера, фазовое пространство - это кокасательное расслоение Q , т.е. T^*Q . Классическое описание - это наблюдаемые величины, зависящие от фазовых переменных, т.е. функции $\{f: T^*Q \rightarrow \mathbb{C}\}$. Среди них полный набор наблюдаемых $H(q, p)$, $\vec{M}(q, p)$, $M_z(q, p)$ - первых интегралов движения, находящиеся в инволюции генераторы алгебры Ли.

Квантовое описание - это оснащенное гильбертово пространство $S \subset L_2(Q) \subset S'$, где S - пространство Шварца быстро убывающих бесконечно дифференцируемых функций, S' - пространство непрерывных функционалов на S - медленно растущих распределений. В этом пространстве заданы самосопряженные в существенном операторы \hat{H} , \hat{M} , \hat{M}_z , находящиеся в квантовой инволюции, т.е. обладающие совместным спектром и совместным спектральным разложением.

Зависимость результатов измерения от состояния $\rho_2 = \sum_k c_k |\psi_k\rangle \langle \psi_k|$ измерительного прибора проявляется в том, что любой набор $\{\varphi_k\}$ задает некоторую размазку потенциала $V(r) = -1/r$ и некоторый сдвиг кинетической энергии $(-i\hbar \nabla)^2$ на величину

$\sum_k c_k/b_k^2$ оператора $O_W(H * W_{\rho_2})$, где $H(\vec{q}, \vec{p}) = \vec{p}^2/2 - 2/q$. Тем самым «измеряемый» атом водорода каждый раз проявляется в виде, известном из классических исследований атомов щелочных металлов, водородоподобного атома с одним валентным электроном и «эффе́ктивным» остовом, характеризуемым «эффе́ктивным зарядом» и «эффе́ктивным радиусом» - своими для каждой серии.

Для моделирования атома водорода (водородоподобного атома) наиболее подходящим базисом является базис из Штурмовских функций атома водорода. Для всех серий атома водорода можно выбрать одно состояние измерительного прибора. Для атомов щелочных металлов каждой серии соответствует свое состояние.

Выводы

В [9] предложена конструктивная реализация измерительного инструмента, параметризованная матрицей плотности $\rho_i = \sum_k c_k |\psi_k\rangle \langle \psi_k|$ состояний измерительного прибора. При этом измерительному инструменту соответствует правило квантования Курышкина с помощью псевдо-дифференциальных операторов $O(A)$, символом которого является свертка символа данного оператора в квантовании Вейля с функцией $\Phi(q, p) = \sum_k c_k \psi_k(q) \tilde{\psi}_k(p)$. Автором разработана компьютерная реализации модели.

Литература

1. Березин Ф.А. Квантование // Изв. АН СССР. Сер. матем., 1974. Т. 38, №5. С. 1116–1175.
2. Гельфанд И.М., Виленкин Н.Я. Некоторые применения гармонического анализа. Оснащённые гильбертовы пространства. - М.: Наука, 1961.
3. Holevo A. S. Statistical Structure of Quantum Theory. Lect. Notes Phys. m67, Springer, Berlin, 2001.
4. Wigner E. On the Quantum Correction for Thermodynamic Equilibrium // Phys. Rev. 40, 749, 1932.
5. Wódkiewicz K. Operational Approach to Phase-Space Measurements in Quantum Mechanics // Phys. Rev. Lett. 52, 1064 (1984).
6. Weyl H. Quantenmechanik und Gruppentheorie // Z. Physik, 46 (1927), 1–46.
7. Ф. А. Березин, “Об одном представлении операторов с помощью функционалов”, Тр. ММО, 17, Издательство Московского университета, М., 1967, 117–196
8. Березин Ф.А., Шубин М.А. - Лекции по квантовой механике – М.: МГУ, 1972:
9. Курышкин В.В. Фазовые представления матрицы плотности и квантовые функции распределения // Известия ВУЗов. Физика, 1969.- N 4.- С. 111-115.
10. L. Sevastyanov, A. Zorin, A. Gorbachev. A Quantum Measurements Model of Hydrogen-like Atoms in Maple // Lecture Notes in Computer Science. V. 8136, 2013. P. 369-380.

COMPUTER IMPLEMENTATION OF QUANTUM MEASUREMENTS MODEL

Zorin A.V.

Peoples' Friendship University of Russia, zorin@rudn.ru

One of the important problems in the description of quantum-mechanical systems is to describe the characteristics of the measurement results, for example, spectral data systems. It is measured in the experiments characteristics of quantum objects to be compared with the results of theoretical studies.

Key words: quantum measurements, computer simulations of quantum objects.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЯТНИКОВЫХ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Игонина Е.В.

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, elenaigonina7@mail.ru

Приведены результаты моделирования маятниковых систем интеллектуального управления. Исследована устойчивость синтезированных моделей на основе развития метода функций Ляпунова. Для проведения численного моделирования маятниковых систем выполнена модификация метода Лоусона решения линейных и квазилинейных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: модель Такаги–Суджено, логический регулятор, устойчивость, стабилизация.

Введение

Вопросы моделирования и изучение устойчивости управляемых маятниковых систем играют важную роль в развитии современной науки и техники [1-3]. Интерес к указанным системам обусловлен их многочисленными, разнообразными приложениями в робототехнике, в ракетостроении, в биомеханике, в задачах управления техническими средствами. Усложнение объектов управления, возросшие требования к их эксплуатации и технологическим процессам приводят к необходимости разработки, изучения новых моделей управления маятниковых систем, и соответственно к получению новых условий устойчивости, способных более адекватно учитывать динамику происходящих в них колебательных процессов с учетом постоянно изменяющихся условий и внешних воздействий.

В работе приведены результаты моделирования маятниковых систем интеллектуального управления. Получены условия устойчивого их функционирования с помощью метода функций Ляпунова в сочетании с другими методами. Проведено численное моделирование динамического поведения указанных систем в компьютерной среде Matlab на основе модификации метода Лоусона решения линейных и квазилинейных дифференциальных уравнений.

Обзор основных результатов

Рассмотрены два вида управляемых маятниковых систем: перевернутый и обычный математический маятник (на примере порталного крана). Выбор маятниковых механизмов обусловлен сходством составляющих компонентов (каретка-маятник), аналогией выполняемых задач управления, которые заключаются в удержании маятника в верхнем (нижнем) положении за счет горизонтального перемещения тележки. Наряду с классическим построением модели управления перевернутым маятником и модели управления порталным краном рассмотрен синтез указанных моделей, основанный на технологии интеллектуального управления [4]. Использованы два подхода к построению модели интеллектуального управления [5]. Первый подход - идентификация параметров (моделирование с помощью лингвистических правил) с использованием входных-выходных данных. Второй подход - проектирование на основе дифференциальной модели, описывающей нелинейные процессы, происходящие в маятниковой системе управления, которая записана в виде модели Такаги–Суджено. Для исследования устойчивости маятниковых систем с логическими регуляторами применен метод функций Ляпунова в сочетании с другими методами (метод обобщенных функций Ляпунова, метод дивергентных функций Ляпунова) [6-9]. Указанный прием позволил ослабить требования к функциям Ляпунова и расширить класс вспомогательных функций.

В [10] построена модель Такаги–Суджено перевернутого маятника, управление представлено 16 правилами. В [11] проведена редукция базы правил логического регулятора до девяти правил, даны критерии устойчивости, и разработан алгоритм стабилизации перевернутого маятника с помощью функций Ляпунова и моделирования логического регулятора. Дальнейшая модификация модели перевернутого маятника описана в [12], получены новые условия устойчивости модифицированной модели перевернутого маятника, представленные в виде набора линейных матричных неравенств, и определена обобщенная функция Ляпунова. В [13] выполнено моделирование перевернутого маятника на основе логико-лингвистического описания его поведения. Синтез интеллектной системы управления порталным краном предложен в [14]. Также для управляемых маятниковых систем в [15, 16] проведен качественный анализ и даны условия стабилизации, полученные на основе сочетания свойств дивергенции и функций Ляпунова. Это позволило получить новые условия устойчивости и разработать алгоритмы исследования устойчивости изучаемых управляемых маятниковых систем.

Численный анализ

При проведении численного моделирования системы управления перевернутым маятником возник ряд трудностей, связанных с представлением условий устойчивости линейными матричными неравенствами и большим их количеством. Отметим, что для их уменьшения на основе редукции числа правил без потери информативности и качественных свойств была проведена модификация модели перевернутого маятника. Главной трудностью стало наличие дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. В [17] показано, что в таких случаях целесообразным является применение метода Лоусона решения линейных и квазилинейных дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Указанный метод заключается в преобразовании исходной системы дифференциальных уравнений в систему дифференциальных уравнений относительно новой неизвестной функции с помощью специальной замены, после чего полученная система может быть решена традиционными методами численного интегрирования. Алгоритм Лоусона, представленный в виде расширения для Matlab, решает ее методом Рунге–Кутты, при этом одновременно с решением производится обратное преобразование от новой введенной функции к исходной функции. Эффективность используемого алгоритма для исследования управляемых маятниковых систем с ПИД-регуляторами описана в [3]. В [13] проведена модификация метода Лоусона для изучения устойчивости маятниковых систем с логическими регуляторами.

На рис. 1 представлены результаты численного моделирования интеллектуальной системы управления перевернутым маятником, описываемой дифференциальными уравнениями следующего вида [12]:

П₁: если $x_1(t)$ приблизительно равно 0, то $\dot{x}(t) = A_1x(t) + B_1u(t)$.

П₂: если $x_1(t)$ приблизительно равно $\pm\pi/2$ ($|x_1| < \pi/2$), то $\dot{x}(t) = A_2x(t) + B_2u(t)$, (1)

где $x = (x_1 \ x_2)^T$ – вектор состояния, включающий в себя соответственно угол отклонения маятника от вертикали и угловую скорость, u – управляющего воздействия, приложенное к тележке, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – гравитационная постоянная, m – масса маятника,

M – масса тележки, $2l$ – длина маятника, $a = 1/(m + M)$, $\beta = \cos 88^\circ$,

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{2g}{4l/3 - aml} & 0 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{2g}{\pi(4l/3 - aml\beta^2)} & 0 \end{bmatrix},$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ a \\ -4l/3 - aml \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ a\beta \\ -4l/3 - aml\beta^2 \end{bmatrix}.$$

Логический регулятор представляет собой сочетание отдельных линейных регуляторов, определяемых правилами вида:

П₁: если $x_1(t)$ приближенно равно 0, то $u(t) = -F_1 x(t)$.

П₂: если $x_1(t)$ приближенно равно $\pm \pi/2$ ($|x_1| < \pi/2$), то $u(t) = -F_2 x(t)$,

где F_1 и F_2 – матрицы коэффициентов усиления.

Отметим, что уравнения (1) определяют модифицированную модель Такаги–Суджено перевернутого маятника.

При проведении численного анализа использованы следующие значения параметров $m = 2$ кг, $M = 8$ кг, $2l = 1$ м и начальные условия $x(0) = [\pi/6 \ 0]^T$, $x(0) = [\pi/3 \ 0]^T$.

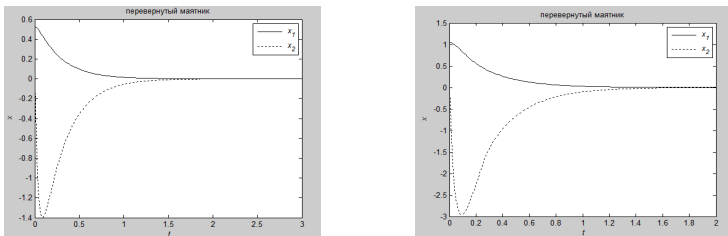


Рис. 1. Процесс стабилизации перевернутого маятника при начальных условиях $x(0) = [\pi/6 \ 0]^T$ и $x(0) = [\pi/3 \ 0]^T$.

Модельные расчеты показали, что для каждого начального условия существуют положительно определенные матрицы F_1 и F_2 , при которых для модели управления (1) перевернутым маятником можно построить стабилизирующий логический регулятор.

Тестирование моделей управления порталным краном и перевернутым маятником, представленных в виде логико-лингвистического описания, выполнено с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox компьютерной системы Matlab и описано в [13, 14]. Система тестирования баз правил логического регулятора позволяет в реальном времени изменять значение входящих переменных и получить значения переменных выхода. Показано, что логический регулятор позволяет точнее описать систему управления по сравнению с обычным линейным регулятором.

Выводы

Выполнено моделирование маятниковых систем с логическими регуляторами. Определены условия устойчивого их функционирования на основе развития метода функций Ляпунова. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования моделей управляемых маятниковых систем при постоянно действующих возмущениях. В дальнейшем планируется изучение и проектирование маятниковых систем со смешанным или переключаемым управлением.

Работа поддержана РФФИ (проект № 13-08-00710-а).

Литература

1. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. (ред.) Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.

3. *Николаев С.Ф., Тонков Е.Н.* О некоторых задачах, связанных с существованием и построением неупреждающего управления для нестационарных управляемых систем // Вестник Удмуртского университета. Ижевск. 2000. Т.1. С.11–32.
4. *Васильев С.Н.* К интеллектному управлению // Нелинейная теория управления и ее приложения. М.: Физматлит, 2000. С. 57 – 126.
5. *Takagi T., Sugeno M.* Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. Syst., Man and Cyber. 1985. V. 15. P. 116–132.
6. *Ляпунов А.М.* Общая задача об устойчивости движения. М.–Л.: Гостехиздат, 1955.
7. *Шестаков А.А.* Обобщенный прямой метод Ляпунова для систем с распределенными параметрами. М.: УРСС, 2007.
8. *Масина О.Н., Дружинина О.В.* Моделирование и анализ устойчивости некоторых классов систем управления. М.: ВЦ РАН, 2011.
9. *Дружинина О.В.* Индекс, дивергенция и функции Ляпунова в качественной теории динамических систем. – М.: Изд-во URSS, 2013.
10. *Игонина Е.В., Пирожок А.А.* Синтез и устойчивость системы управления перевернутым маятником // Труды Института системного анализа Российской академии наук. Динамика неоднородных систем. – 2010. – Т. 53(3). – С. 47–51.
11. *Дружинина О.В., Масина О.Н., Игонина Е.В.* Моделирование и построение алгоритма стабилизации перевернутого маятника // Динамика сложных систем. – 2012. – Т. 6. № 4. – С. 75–79.
12. *Масина О.Н., Игонина Е.В.* Исследование устойчивости решений дифференциальных уравнений, описывающих движение перевернутого маятника, с помощью функции Ляпунова и логического регулятора // Вестник Российской Академии естественных наук. Дифференциальные уравнения. – 2013. – Т. 13. – № 4. – С. 58–62.
13. *Игонина Е.В.* Исследование устойчивости и компьютерное моделирование маятниковой системы управления // Школа-семинар молодых ученых «Фундаментальные проблемы системной безопасности» (г. Елец, 20–22 ноября 2014). – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2014. – С. 93–99.
14. *Игонина Е.В., Масина О.Н., Дружинина О.В.* Моделирование и устойчивость системы управления портальным краном // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. Вып.16 – М.: ВЦ РАН, 2014. – С. 142–152.
15. *Дружинина О.В., Масина О.Н., Игонина Е.В.* Исследование устойчивости перевернутого маятника с помощью функций Ляпунова и свойств дивергенции поля скоростей // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. Вып.15 – М.: ВЦ РАН, 2013. – С.120–131.
16. *Игонина Е.В.* Алгоритмы исследования устойчивости управляемых маятниковых систем на основе дивергентных функций Ляпунова // Труды XXI Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (г. Москва, декабрь 2013). – М.: РГГУ, 2013. – С. 483–486.
17. *Douglas Lawson J.* Generalized Runge–Kutta processes for stable systems with large Lipschitz constants // SIAM J. Numer. Anal. 1967. V. 4. № 3. P. 372–380.

MODELING OF THE PENDULUM SYSTEMS OF INTELLIGENT CONTROL

Igonina E.V

Yelets State University after I.A. Bunin, elenaigonina7@mail.ru

Results of modeling of pendulum systems of intelligent control are given. Stability of the synthesized models on the basis of development of a method of Lyapunov functions is researched. For carrying out numerical modeling of pendulum systems modification of a Lawson method of solution of linear and quasilinear differential equations is executed.

Key words: Takagi-Sugeno model, logic controller, stability, stabilization.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА RED В СИМУЛЯТОРЕ NS-3

Камнев А.В., Велиева Т.Р., Королькова А.В., Кулябов Д.С.

Российский университет дружбы народов,

arkamnev@mail.ru, trvelieva@gmail.com, akorolkova@sci.pfu.edu.ru, ds@sci.pfu.edu.ru

Целью данной работы является разбор реализации алгоритма RED в симуляторе NS-3.

Ключевые слова: сетевые технологии, имитационное моделирование, NS-3, RED, GRED, DSRED, активное управление очередями, TCP/IP.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 14-01-00628, 15-07-08795.

Введение

Network Simulator 3 (NS-3) является свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPLv2 и ориентирован на исследовательское применение, а также применение в образовательных целях.

NS-3 является очень гибким и в то же время мощным средством моделирования за счёт использования C++ в качестве встроенного языка описания моделей. Главным преимуществом NS-3 является архитектура, реализованная по модели ISO/OSI, что является огромным плюсом в сравнении с NS-2, использующем четырехуровневую структуру модели протоколов [1].

Благодаря очень обширному и гибкому Application programming interface (API), а также благодаря полноте документации программных интерфейсов, разработчик модели практически ничем не ограничивается. Ему предоставляется возможность построения как собственных моделей любой сложности, так и, благодаря используемой лицензии GNU GPLv2, изменения и дополнения уже существующих моделей, входящих в комплект программного обеспечения.

Предметом данной работы является исследование работы нескольких алгоритмов активного управления очередями на маршрутизаторах в симуляторе NS-3. Рассматривается реализация алгоритмов RED, GRED, DSRED.

Средство моделирования NS-3

В качестве основного симулятора был выбран NS-3, так как для создания имитационной модели использовался язык C++, NS-3 позволяет реализовывать программы, используя модель протоколов ISO/OSI. Данный симулятор дает возможность подключения программного маршрутизатора Click, а также использовать его в имеющейся имитационной модели.

Алгоритм RED в NS-3

Random Early Detection (RED) — алгоритм активного управления очередью, для управления переполнением очередей на маршрутизаторах [2, 3]. RED отслеживает средний размер очереди и отбрасываемых пакетов, основываясь на статистической вероятности. Также RED может использовать отслеживание пометок Explicit Congestion Notification (ECN). С заполнением очереди начинает возрастать вероятность отброса пакетов, тем самым не давая возникнуть перегрузкам на узле. Когда очередь пуста — вероятность сброса равняется нулю, в заполненной очереди эта вероятность равна единице, что равносильно сбросу всех входящих пакетов. Использование RED также имеет и негативный оттенок — невозможность разделения трафика по классам качества обслуживания. Тем самым, приходится выбирать другие варианты данного алгоритма для конкретных задач.

Код в программах NS-3 достаточно прост. При написании кода на языке C++ используется пространство имен ns-3. Готовая написанная программа состоит из

нескольких классов абстракций, собранных воедино, а именно: узлы, приложения, сетевые устройства, каналы, а также помощники [4]. Каждый узел представляет собой отдельно взятое устройство — хост-машина, конечное устройство. Узлы соединяются между собой в сеть при помощи каналов, которые реализуют собой как проводные, так и беспроводные соединения. В NS-3 реализованы такие соединения, как carrier sense multiple access (CsmaChannel), WifiChannel, PointToPointChannel. Сетевым устройством именуется собственно сетевой адаптер, обеспечивающий подключение узла в сеть. Класс сетевых устройств обеспечивает метод управления подключениями узлов и каналов. Также в NS-3 реализованы устройства CsmaNetDevice, PointToPointNetDevice, WifiNetDevice.

Каждое устройство работает с определенным типом соединения. Класс приложений реализует собой метод генерации трафика. Помощники дают возможность организовать работу всех классов в программе, как подключение сетевых устройств к узлам, составление сети между узлами, присвоение IP-адресов и т. п. В целом, картина устройства работы программы NS-3 выглядит как на рис.1.

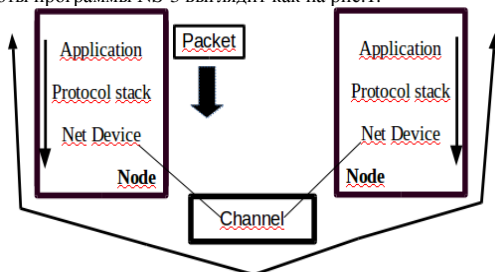


Рис. 1. Схема работы программ в NS-3.

Полученные данные в NS-3 можно выводить как в терминал, так создавать дампы трафика в .pcap файлах, использовать обычный вывод в текстовый документ. Для визуализации процессов моделирования используется программа NetAnim, поставляемая вместе с данным симулятором.

Для проведения данного эксперимента была использована программа red-tests.cc. Это одна из стандартных программ в репозитории с NS-3. В данном примере можно проследить изменение очереди на маршрутизаторе, изменяя различные показатели, будь то размер пакетов, пропускная способность или время отправки пакетов. В данной программе реализована простая сеть, между центральными узлами установлено соединение и очередь с алгоритмом RED, реализованная через PointToPointHelper. Генерируется TCP трафик на узле 0 (см. рис. 2) и отправляется на конечный узел 4, проходя через центральные узлы 2 и 3, где установлен алгоритм RED. В стандартном наборе примеров и модулей присутствует только базовая модель алгоритма.

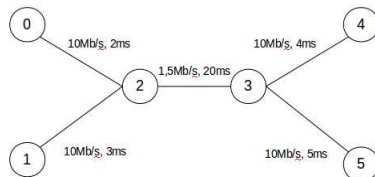


Рис. 2. Схема сети red-tests.cc.

В исходном коде данной программы можно выставить желаемые параметры для тестирования, а также выбрать вариант теста для проведения симуляции. Главной

особенностью является большой выбор параметров, которые можно выставить под определенную задачу.

Для эксперимента была установлена очередь длиной в 100 пакетов, максимальное пороговое значение для алгоритма RED - 20 пакетов, а минимальное - 6 пакетов. При данных параметрах, средняя длина очереди составляет 14-15 пакетов (рис. 3 и рис.4).

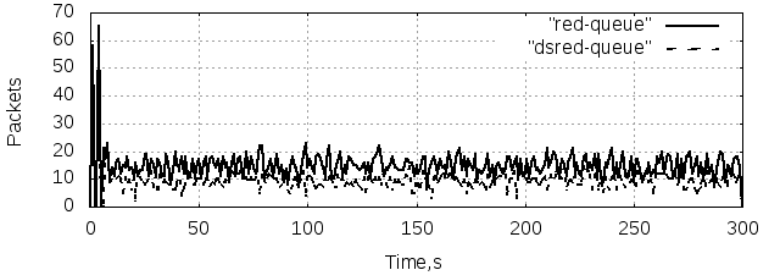


Рис. 3. Мгновенная длина очереди

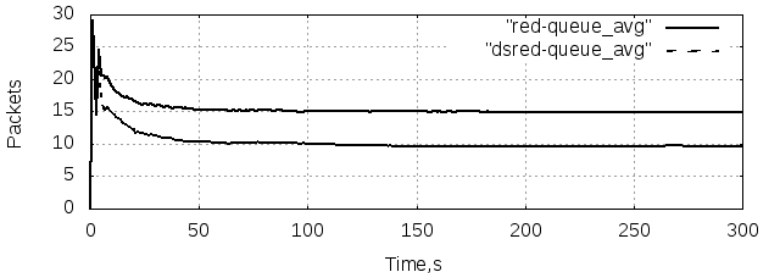


Рис. 4. Средняя длина очереди

В дополнении к данному алгоритму, программно реализован модуль, позволяющий использовать алгоритм Gentle Random Early Detection (GRED). Для его использования необходимо при указании параметров ввести значение true для RedQueue::Gentle. Данная функция позволяет использовать «мягкий режим» для RED, при котором добавляется расчет вероятности для отбрасывания пакетов при значении средней длины очереди больше или равным максимальному порогу. Как известно, в базовой реализации RED это значение неизменно равно 1. Для сравнения работы алгоритмов был реализован алгоритм Double slope random early detection (DSRED) [5]. Особенностью данного алгоритма является ввод дополнительного порогового значения между минимальными и максимальными порогами. Данная задача была реализована по типу GRED, для использования необходимо ввести и установить значение true для RedQueue::DSRED, а также варьировать значение RedQueue::Gamma, являющееся селектором режима работы. Для проведения эксперимента были взяты такие же параметры, как и в предыдущем исследовании, за исключением добавления среднего порога, равного 13 пакетам, а также значения селектора $\gamma = 0.96$.

На представленных выше рисунках 3, 4 можно заметить, что очередь придерживается отметки в среднем 9-10 пакетов в очереди при DSRED против 14-15 пакетов при алгоритме RED.

Выводы

В работе представлены результаты имитационного моделирования алгоритмов RED, GRED и DSRED в симуляторе NS-3. В дальнейшем планируется смоделировать данный алгоритм в NS-3, заменив абстрактные узлы на программируемые маршрутизаторы Click для получения более объективных оценочных данных.

Литература

1. *Королькова А.В., Кулябов Д.С. Инструментальные средства моделирования DiffServ // Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем.— Вып. 11 /Под редакцией Л.А. Уваровой. М.: Издательство «Янус-К», 2008, С. 161-167*
2. *Floyd S., Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance // IEEE/ACM Transactions on Networking. — 1993. — Vol. 1, no. 4. — P. 397–413.*
3. *Королькова А. В., Кулябов Д. С., Черноиванов А. И. К вопросу о классификации алгоритмов RED // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2009. — No 3. — С. 34–46.*
4. *NS-3 Tutorial — <http://www.nsnam.org/docs/release/3.21/tutorial/ns-3-tutorial.pdf>*
5. *B. Zheng and M. Atiquzzaman, DSRED: An Active Queue Management Scheme for Next Generation Networks // IEEE.. — 2000.*

SIMULATION MODELING OF RED ALGORITHM WITH NS-3 NETWORK SIMULATION FRAMEWORK

Kamnev A.V., Velieva T.R., Korolkova A.V., Kulyabov D.S.

Peoples' Friendship University of Russia,

artkamnev@mail.ru, trvelieva@gmail.com, akorolkova@sci.pfu.edu.ru, ds@sci.pfu.edu.ru

The aim of this work is the analysis of the implementation of the RED algorithm in the simulator NS-3.

Key words: network technology, simulation, NS-3, RED, GRED, DSRED, active queue management, TCP/IP.

The work is partially supported by RFBR grants No's 14-01-00628 and 15-07-08795.

АНАЛИЗ СВЯЗИ ФИНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ПОРТФЕЛЯ ОДНОРОДНЫХ ССУД И РАННИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСРОЧКИ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

¹Касимов Ю.Ф. ²Мальцева Т.А.

^{1,2}Финансовый Университет при Правительстве РФ, ²ОАО «Сбербанк России»,
¹y.f.kasimov@mail.ru, ²tatiana.malts@gmail.com

В данной работе рассматривается гипотеза о верности прогнозных значений показателей поздней просрочки на основе ранних. Для анализа используются фактические данные по просрочкам кредитных договоров заемщиков банка, входящего в топ-30 банков России. В результате исследований гипотеза отвергается для большинства типов кредитов, за исключением краткосрочных. Также предлагается методология определения эффективности условий выдачи, основанная на обратной связи: расчете целевых ранних показателей просрочки на основе заданных нормативов поздних.

Ключевые слова: дефолт, портфель однородных ссуд, финальные потери (NCL), показатель задолженности fpd^{7+} , кредитный риск, показатели эффективности.

Введение

Работа посвящена актуальной для банковского сектора теме – проблеме, с которой сталкиваются риск-аналитики при нахождении целевых показателей по портфелям однородных ссуд (ПОС), – определению целевых показателей ранней просрочки по ПОС с целью достижения требуемых финальных потерь (NCL). Именно NCL определяет рентабельность кредитного продукта. При этом часто совершается ошибка второго рода, когда принимается гипотеза о том, что связь между показателями ранней и поздней просрочек сильная.

Связь между показателями ранней и поздней просрочек может быть использована на практике только в том случае, когда уже известно историческое поведение соответствующих кривых, что позволяет найти решения для другого круга вопросов, возникающих после стабилизации условий выдач продукта.

Анализ связи показателей ранней и поздней просрочки

I. Проверка гипотезы о верности прогнозных значений показателей поздней просрочки на основе ранних

В банковской практике прогнозирование финальных потерь по просроченной задолженности портфеля однородных ссуд (ПОС) часто проводится на основании ранних показателей просрочки, таких как, fpd^{7+} и K_1^{0+} .

В данном исследовании выбран показатель ранней просрочки K_1^{0+} - отношение суммы основного долга (ОД - просроченной и текущей частей) по кредитам, сгруппированным по месяцу выдачи (поколению), с одним пропущенным платежом, к общей сумме выдачи в данном поколении:

$$0+ = \frac{\sum \text{ОД}}{\sum \text{Выдачи}} * 100\% \quad (1)$$

В качестве показателя финальных потерь выбран K^{90+} – отношение ОД по кредитам с четырьмя пропущенными платежами к общей сумме выдач в данном поколении.

При таком подходе часто происходит ошибка второго рода, когда принимается гипотеза о том, что связь между показателями ранней и поздней просрочек сильная.

Для того чтобы это проверить, займы по кредитным договорам были разбиты на портфели однородных ссуд в зависимости от среднего срока и классифицированы как краткосрочные (13-16 мес.), среднесрочные (группа 19-28 мес. и группа 40-44 мес.) и долгосрочные (47-48 мес.).

Портфели однородных ссуд были проанализированы на наличие связей между показателями финальных потерь K^{90+} и ранними просрочками K^{0+} для поколений кредитов январь 2011г.-август 2103г. по уравнению регрессии каждого поколения кредитов i :

$$K_N^{90+} = a_1 * (K_M^{0+}) + b_1, \quad (2)$$

где N и M – возраст кредитов, попавших в просрочку, соответственно, 90+ и 0+.

Возраст N определяется по стабилизации показателя поздней просрочки для каждого ПОС в зависимости от срока продукта. Возраст M – минимальное количество месяцев жизни кредитов, попавших в просрочку 0+, с которого надежность прогнозирования поздней просрочки становится не менее 75% и далее с ростом возраста не уменьшается. Надежность характеризуется коэффициентом детерминации R^2 .

Результаты регрессионного анализа связи между ранней и поздней просрочками приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты регрессионного анализа

| Класс продукта | K_N^{90+} | K_M^{0+} | Оценка связи | Рекомендуемый K_M^{0+} | Связь между K_N^{90+} и рекомендуемым K_M^{0+} |
|----------------|----------------|------------|--------------|--------------------------|--|
| Краткосрочные | K_6^{90+} | K_1^{0+} | 86% | K_1^{0+} | 86% |
| Среднесрочные | K_{12}^{90+} | K_1^{0+} | 42% | K_3^{0+} | 92% |
| | K_{12}^{90+} | K_1^{0+} | 23% | K_7^{0+} | 75% |
| Долгосрочные | K_{16}^{90+} | K_1^{0+} | 2% | K_{10}^{0+} | 78% |

Таким образом, гипотеза о верности прогнозных значений показателей поздней просрочки на основе ранних показателей, таких как K_1^{0+} , отвергается для большинства кредитов, за исключением краткосрочных. С целью предотвращения ошибок в прогнозировании финальных потерь, рекомендуется по среднему сроку кредита выбирать возраст жизни просрочки, на котором связь между показателями будет сильной и стабильной.

II. Методология определения эффективности условий выдачи

Несмотря на то, что вероятность корректного прогноза финальных потерь по портфелю на основании ранних показателей просрочки мала, в случае, когда историческая форма кривой потерь 90+ известна, не составляет труда определить соответствующий ранний показатель, то есть провести «обратную связь».

В качестве целевого показателя был выбран соответствующий просрочке первого платежа показатель fpd^{7+} – отношение ОД по кредитам с первым пропущенным платежом к общей сумме выдачи в данном поколении. Платеж считается пропущенным, если срок просрочки по нему превысил 7 дней.

Значение K_{12}^{90+} было выбрано в качестве показателя потерь по поколению в связи с тесной линейной связью между показателями даже в случае продуктов, попадающих по сроку в группу долгосрочных.

Для расчета норматива показателя fpd^{7+} задается уровень вероятности исполнения прогноза γ и целевое значение K_{12}^{90+} для конкретного типа кредита. Целевое значение K_{12}^{90+} заранее определяется из модели рентабельности продуктовой группы. Таким образом, показатель fpd^{7+} рассчитывается по уравнению регрессии для каждого поколения i :

$$fpd^{7+} = a_1 * (K_{12}^{90+}) + b_1 \quad (3)$$

По полученным оценкам коэффициентов модели строится доверительный интервал для значений показателя fpd^{7+} . Верхняя граница интервала выбирается в качестве нормативного значения fpd^{7+} по продуктовой группе. Таким образом, данная

методология, основанная на зависимости показателей ранней и поздней просрочки при известных исторических данных, отвечает следующим положениям:

1. Нормативы по fpd^{7+} устанавливаются в соответствии с риск-ориентированным подходом: чем выше допустимый риск по группе, тем выше допустимый показатель fpd^{7+} и наоборот.
2. Итоговый норматив по сотруднику рассчитывается индивидуально в зависимости от долей выданных продуктов: чем выше доля выдачи высокорискового продукта, тем выше допустимый норматив и наоборот.
3. Нормативы fpd^{7+} по группам продуктов рассчитываются исходя из максимально допустимого уровня рисков по данным группам.

Выводы

Таким образом, гипотеза о верности прогнозных значений показателей поздней просрочки на основе ранних показателей, таких как K_1^{0+} , отвергается для большинства кредитов, за исключением краткосрочных. С целью предотвращения ошибок в прогнозировании финальных потерь, рекомендуется по среднему сроку кредита выбирать возраст жизни просрочки, на котором связь между показателями будет сильной и стабильной.

Зависимость показателей ранней просрочки от поздних, таких как fpd^{7+} и $90+$, может быть использована на практике в том случае, когда уже известно историческое поведение соответствующих кривых и строго определены условия выдачи продуктов, поскольку тогда на практике их связь является стабильной и может быть основой для построения моделей расчета общепанковских нормативов при заданных финальных потерях.

Литература

1. *GARP. Global Association of Risk Professionals. Financial Risk Manager (FRM) Part II. Credit Risk Measurement and Management. Second Custom Edition for the Global Association of Risk Professionals 2013//Pearson – 2013*
2. *Murphy D. Understanding Risk. The Theory and Practice of Financial Risk Management//CHAPMAN&HALL/CRC – 2008.*
3. *Anolli M., Beccalli E., Giordani T. Retail Credit Risk Management// Palgrave macmillan studies in banking and financial institutions – 2013.*

THE ANALYSIS OF CONNECTIONS BETWEEN PHL'S NET CREDIT LOSS AND EARLY INDICATORS OF DELINQUENCY OF COMMERCIAL BANK

¹Kasimov Yu.F., ²Maltseva T.A

^{1,2}Financial University under the Government of the Russian Federation, ²«Sberbank of Russia»,
¹y.f.kasimov@mail.ru, ²tatiana.malts@gmail.com

This article presents an analysis of reliability of hypothesis which means that the indicator of debt on early term can be used in forecasted indicator of debt on late term. Real borrowers' delinquency of top-30 banks was used as a research base. As a result the hypothesis is rejected for a majority of credits' types except for short-term loans. In addition, the article includes methodology that allows to evaluate the efficiency of issue conditions. It is based on the feedback: calculation of the key early indicators of delinquency on the bases of later adjusted ones.

Keywords: default, portfolio of homogeneous loans (PHL), net credit loss (NCL), indicator of delinquency fpd^{7+} , credit risk, indicator of efficiency.

СХЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В АКТИВНЫХ ЗОНАХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Крянев А.В.¹, Пинегин А.А.², Климанов С.Г.¹, Рыжов А.А.²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

В докладе представлены новые схемы выявления аномалий энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов. Выявление аномалий в распределении энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов базируется на двух массивах данных: значениях распределения энерговыделения, полученных путем численного решения задач, описывающих перенос нейтронов, и показаниях датчиков внутриреакторного контроля. Предложена новая схема выявления аномалий. Схема основана на новых частных показателях аномалий, значения которых определяют наличие или отсутствие аномалий.

Ключевые слова: Ядерный реактор, энерговыделение, показания датчиков, аномалии, алгоритм выявления аномалий, расчетные значения.

Причины наличия аномалий в распределении энерговыделения в активной зоне могут быть различными, например, локальные перегибы по высоте ТВЭЛов, расхождения между расчетными значениями энерговыделения о показаниями датчиков из-за выхода их из строя [1].

Локальные перегибы по высоте ТВЭЛов могут привести к незапланированному перераспределению энерговыделения в активной зоне реактора, что может вызвать различного рода нарушения условий безопасной эксплуатации реактора при работе его на номинальной мощности.

Аномалия в распределении энерговыделения будет проявляться в отличии фактического распределения энерговыделения, определяемого с помощью системы датчиков, от планового распределения, определяемого расчетными значениями, полученными на основе расчета с картограммой плановой загрузки [1]. Под отличием фактического распределения энерговыделения от планового понимается такое отличие, при котором значения показателей отличия лежат за пределами доверительных интервалов возможных значений этих показателей, определяемых плановой загрузкой и связанных с погрешностями, как расчетных значений, так и показаний датчиков [2].

Обнаружение аномалий, должно приводить к решению о дальнейшей работе реактора с тремя возможными вариантами решения:

1. Возможность работы реактора на номинальной мощности;
2. Необходимость произвести снижение мощности реактора;
3. Осуществление внеплановой перезагрузки в целях устранения технической причины аномалии.

Все показатели выявления аномалий используют для расчета их числовых значений расчетные значения энерговыделения и показания датчиков в ТВС с датчиками:

$Q_{\text{рас}}, i = 1, \dots, n$ – расчетное (плановое) значение мощности энерговыделения в i -ой ТВС; $Q_{\text{дат}}, i = 1, \dots, n$ – значение мощности энерговыделения в i -ой ТВС, вычисленное на основе показаний датчиков.

Для выявления аномалий в настоящем отчете рассматриваются нормированные невязки между расчетными (плановыми) и «экспериментальными» значениями мощности энерговыделения в ТВС с ДПЗ, рассчитываемые по формуле:

$$\delta Q_i = \frac{1}{\sigma_{\text{грас}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{идат}}^2} \cdot Q_i \cdot \left(\frac{Q_{\text{грас}}}{Q_i} - 1 \right)^2 + \left(\frac{Q_{\text{идат}}}{Q_i} - 1 \right)^2, \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, n,$$

где

$$Q_i = \frac{\frac{Q_{\text{грас}}}{\sigma_{\text{грас}}^2} + \frac{Q_{\text{идат}}}{\sigma_{\text{идат}}^2}}{\frac{1}{\sigma_{\text{грас}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{идат}}^2}}.$$

Рассматриваются следующие три класса (групп) показателей (факторов) используемых для решения проблемы наличия или отсутствия аномалий:

1. Средние суммарные максимальные невязки между расчетными значениями мощности энерговыделения ТВС с ДПЗ и «экспериментальными» значениями мощности в этих ТВС, полученными с помощью системы ДПЗ.

Числовые значения этих факторов рассчитываются по формулам:

$$\Delta Q_m = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \delta Q_{(i)}, \quad m = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где $\delta Q_{(i)}, i = 1, \dots, n$ – ранжированные в порядке убывания невязки (1)

$$\delta Q_{(1)} \geq \delta Q_{(2)} \geq \delta Q_{(3)} \geq \dots \geq \delta Q_{(n)}. \quad (3)$$

2. Средние локальные послейные суммарные максимальные невязки, рассчитываемые по формуле

$$\Delta Q^{(1)} \geq \Delta Q^{(2)} \geq \Delta Q^{(3)} \geq \dots \geq \Delta Q^{(n)}, \quad (4)$$

$$\Delta Q^j = \frac{1}{n_i + 1} (\delta Q_i + \sum_{i' \in i} \delta Q_{i'}), \quad i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

где i – множество таких номеров i' ТВС с ДПЗ, которые окружают i – ю ТВС с ДПЗ по двум круговым слоям, n_i – число таких ТВС с ДПЗ.

3. Максимальные ранжированные показатели асимметрии:

$$\Delta Q_{(1)}^{\text{сим}} \geq \Delta Q_{(2)}^{\text{сим}} \geq \Delta Q_{(3)}^{\text{сим}} \geq \dots \geq \Delta Q_{(n)}^{\text{сим}}. \quad (6)$$

Для каждой из n ТВС с ДПЗ $i = 1, \dots, n$ не ранжированный модифицированный показатель асимметрии по отношению к той орбите, которой принадлежит i – я ТВС с ДПЗ, подсчитывается по формулам:

$$\Delta Q_i^{\text{сим}} = K_{Q_j}^{-1} \cdot \left(1 + \frac{3}{\sigma_{\text{идпз}}^2} \cdot Q_j \cdot \left(\frac{Q_{\text{грас}}}{Q_j} - 1 \right)^2 + \left(\frac{Q_{\text{идпз}}}{Q_j} - 1 \right)^2 \right), \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

На рис. 1 представлены численные результаты расчетов показателей выше введенных трех классов.

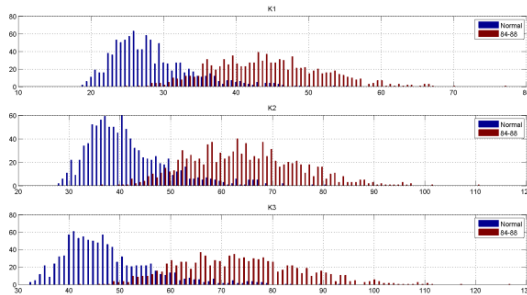


Рис. 1. Гистограммы распределений первых трех по максимальным величинам комплексных модифицированных показателей по трём из каждой группы для варианта замены местами ТВС с номерами 84-88.

Литература

1. Калинушкин А.Е., Курченков А.Ю., Митин В.И., Семченков Ю.М. Современная система внутриреакторного контроля (СВРК-М), мониторинг ядерного топлива ВВЭР-1000 // Ядерная и радиационная безопасность. - 2010, выпуск 4, с.18-21.
2. Крянев А.В., Шукин Н.В., Дружаев А.А. и др. Математические методы и алгоритмы восстановления поля энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов. Вестник национального ядерного университета «МИФИ», Т.2, вып.2, 2013, с.169-175.
3. Kryanev A.V., Udumyan D.K., Kurchenkov A.Yu. and Gagarinsky G.V. Determination of Power Distribution in the VVER-440 Core on the Basis of Data from In-Core Monitors by Means of a Metric Analysis. Physics of Atomic Nuclei, v.77, No. 14, 2014, pp. 1651-1655.

NEW SCHEMA REVEALING OF ANOMALIES IN POWER DISTRIBUTION IN ACTIVE ZONES OF NUCLEAR REACTORS

Kryanev A.V.¹, Pineguin A.A.², Klimanov S.G.¹, Rijov A.A.²

¹National research nuclear university "MEPhI"

²National research centre «Kurchatovskiy institute»

In this report the new schema of anomalies revealing in power distribution in active zones of nuclear reactors are presented. Revealing of anomalies in power allocation distribution in active zones of nuclear reactors is based on two data files: values of distribution of the power allocation, the problems received by the numerical solution describing of neutron transport, and indications of detectors control. The new scheme of revealing of anomalies is offered. The scheme is based on new particular indicators of anomalies which values defines presence or absence of anomalies.

Keywords: Nuclear reactor, power allocation, indications of detectors, anomalies, algorithm of revealing of anomalies, computed values.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОЙ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ ЭКОНОМИКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЧЕРНАВСКОГО

Кузив Я.Ю.

Российский университет дружбы народов, yaroslav.kuziw@yandex.ru

Рассматривается компьютерная модель замкнутой развивающейся экономики на основе модели Чернавского .

Ключевые слова: математическая модель, высокопродуктивное состояние, низкопродуктивное состояние.

Введение

Эволюционная экономика развивается не один десяток лет в работах В.И. Маевского[1] и отличается от классических направлений теоретической экономики. Около 10 лет назад Д.С. Чернавский с соавторами[2,3] опубликовал математическую модель развивающейся замкнутой экономической системы. Она ограничивается однопродуктовым приближением и многими дополнительными ограничениями. Однако несмотря на столь жесткие ограничения предложенная модель описала некоторые существенные черты изменяющегося состояния экономики России того времени. Передо мной была поставлена задача на основе модели Чернавского создать программный продукт, симулирующий замкнутую развивающуюся экономическую систему.

Программа позволяет учесть возможные изменения начальных данных и их влияние на фазовый портрет изучаемой модели. Она также дает возможность изменения параметров модели в широких диапазонах и описания изменения фазового портрета при этих изменениях.

Построение модели

Различают функции спроса на товары и услуги первой необходимости Q_1 , товары долговременного пользования Q_2 . Получаем следующую функцию.

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

Она зависит от одной переменной – покупательной способности средств g , которая равна отношению $g = U/p$.

$$Q_1 = Q_{10} \left(\frac{r}{r+r_1} \right) \quad (2)$$

Q_{10} – прожиточный минимум.

$$Q_2 = \begin{cases} Q_{20} \left(\frac{r-r_{min}}{(r-r_{min})+r_2} \right), & \text{если } r \geq r_{min} \\ 0, & \text{если } r < r_{min} \end{cases} \quad (3)$$

Параметр r_{min} отражает границу между потреблением товаров 1-ой и 2-ой категории.

Введем производственную функцию, которая определяет количество произведенного продукта за единицу времени τ (длительность производственного цикла).

$$F(V, n, \tau) = \begin{cases} n \frac{V}{p\tau} = \frac{r}{\tau} n p u & \text{при } \frac{r}{\tau} \leq F_{max} \\ n F_{max} & \text{при } \frac{r}{\tau} \geq F_{max} \end{cases} \quad (4)$$

где F_{max} – максимальное количество продукта, производимого одним работником, V – оборотные средства. Здесь $g = V/p$.

Модель имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{dU_m}{dt} &= \frac{p}{m} \left(nQ \left(\frac{U_n}{p} \right) - nP \right) \\ \frac{dp}{dt} &= \Psi \left(nQ \left(\frac{U_n}{p} \right) + mQ \left(\frac{gU_m}{p} \right) - F_m \right) \end{aligned} \quad (5)$$

где P - зарплата в натуральных единицах, h - добавочный продукт, g - доля накопления владельца, Ψ = 1 - коэффициент отражающий скорость установление рыночной цены.

$$\begin{aligned} nP &= mhF((1-g)r_m) \\ nU_n + mU_m &= M \quad n+m=N \quad U'=M/N \end{aligned}$$

Сделаю замену переменных

$$n' = n/N, \quad m' = m/N, \quad U'_n = \frac{1-m'U_m'}{n'} U'_m' = \frac{U_m'}{U'}$$

Получим $x=U'_m, y=1/p$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{my} \left[nQ \left(\frac{(1-mx)y}{n} \right) - hmF((1-g)xy) \right] \\ \frac{dy}{dt} = -y^2 \frac{N^2}{M} \left[nQ \left(\frac{(1-mx)y}{n} \right) + mQ(gxy) - mF((1-g)xy) \right] \end{cases} \quad (6)$$

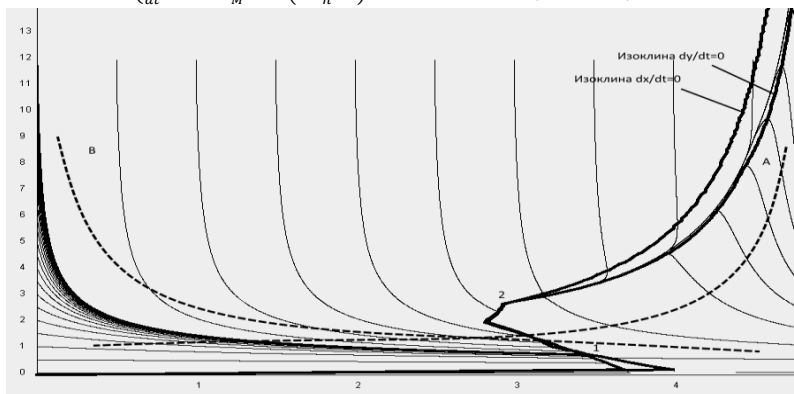


Рис.1 Фазовый портрет базовой модели. $dx/dt, dy/dt$ - главные изоклины, пунктирные линии траектория смещения точки при эмиссии, адресованной владельцу А и трудящимся В, точка 2 - высокопродуктивное состояние (ВП), 1 - низкопродуктивное (НП). Из системы (6) можно получить $Q(gr_m) = (1-h)F((1-g)r_m), \eta = (1-h)(1-g)/gt$

$$Q(gr_m) = \begin{cases} \eta gr_m, & r_m < \frac{F_{max}}{1-g} \\ (1-h)F_{max} = R, & r_m \geq \frac{F_{max}}{1-g} \end{cases} \quad (7)$$

Переходы между состояниями

Переходы между состояниями можно осуществить за счёт изменения параметров g - зарплата владельцев и h - зарплата работников. Рассмотрим графическое решение уравнения (7).

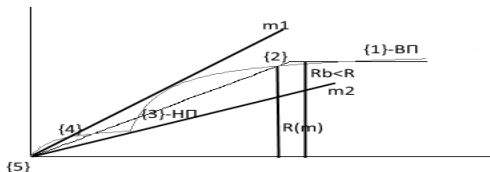


Рис. 2 Решение уравнения (7).

Варианты состояний $Q(g r_m)$ зависят от параметров η и R .

- 1) При $\eta \geq 1$ существует одно состояние при любом R .
- 2) При $1 > \eta > m_1$ возможны два состояния: ВП и натуральное хозяйство {5}. При $\eta = m_1$ состояния {2} и {3} сливаются.
- 3) При $m_1 > \eta > m_2$ все зависит от параметра R . Существует два варианта:
 - А) При $R > R(m)$ существует пять состояний. Из них устойчивы {1}, {3} и {5}.
 - Б) При $R < R_b$ возможны два состояния НП и натуральное хозяйство.
- 4) При $\eta = m_2$ состояния {3}, {4} сливаются. При $\eta < m_2$ это состояние исчезает.
 - А) При $R < R_b$ остается одно состояние - натуральное хозяйство.
 - Б) При $R > R_b$ возможны ВП и натуральное хозяйство.

Кроме того, я изучил влияние беспроцентных кредитов на эволюцию компьютерной модели. Выяснилось, что изменения происходят быстрее, если деньги будут адресованы владельцам. Это объясняется тем, что эти деньги пойдут на закупку нового оборудования. Если адресовать деньги работникам, то затраты будут больше.

Вывод

Предложенная Чернавским модель допускает также модификации за счет более реалистичных моделей функции потребления, производственной функции и динамики финансов и материальных ценностей. Однако данные улучшения модели выходят за рамки поставленной передо мной задачи.

Литература

1. Маевский В. И. “Эволюционная теория и технологический прогресс”
2. Чернавский Д. С., Старков Н. И., Щербаков А. В. “Динамическая модель закрытого общества”.
3. Чернавский Д. С., Старков Н. И., Щербаков А. В. “О проблемах физической экономики”.

COMPUTER MODEL OF A CLOSED ECONOMY BASED ON DEVELOPING MODELS CHERNAVSKII

Kuziv Ya.Yu.

Peoples' Friendship University of Russia, yaroslav.kuziw@yandex.ru

Considered a computer model of a closed economy based on developing models Chernavskii.

Keywords: mathematical model, a highly productive state, low-productive state.

РОБАСТНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СГЛАЖИВАЮЩИХ СПЛАЙНОВ

Любин П.Г., Щетинин Е.Ю.

ФГБОУ МГТУ «СТАНКИН», lyubin.p@gmail.com

В данной работе представлен робастный алгоритм сглаживания данных при помощи штрафных сплайнов.

Ключевые слова: робастные алгоритмы, непараметрическая регрессия, сглаживающие сплайны, штрафные сплайны, анализ данных.

В работе представлен эффективный вычислительный алгоритм построения сглаживающего сплайна, позволяющий в условиях выбросов и пропусков измерений проводить робастное сглаживание данных одной и более размерностей.

В различных областях приложений статистики и компьютерного анализа данных процедуры сглаживания используются для фильтрации шума или несущественных фрагментов данных при сохранении наиболее важных свойств их структуры. Задача в данном случае записывается в виде

$$y = u + \varepsilon, \quad (1)$$

где ε – гауссов белый шум. При этом на функцию u обычно накладываются условия гладкости, т.е. данная функция должна иметь непрерывные производные до некоторого порядка. В данной работе предполагается искать решение данной задачи в следующем виде

$$y = U \cdot \Gamma \cdot DCT \ y = IDCT \cdot (\Gamma \cdot DCT \ y), \quad (2)$$

где DCT и $IDCT$ – ДКП и обратное ДКП, соответственно, а Γ – диагональная матрица со следующими элементами

$$\Gamma_{i,i} = 1 \left[1 + s \left(2 - 2 \cos \frac{i-1}{n} \pi \right)^2 \right] \text{ и } \Gamma_{i,j} = 0, \text{ если } i \neq j. \quad (3)$$

В данной формуле s – это параметр сглаживания, который находится из соображений минимизации функционала скользящего контроля GCV , т.е. $s = \text{argmin}(GCV)$.

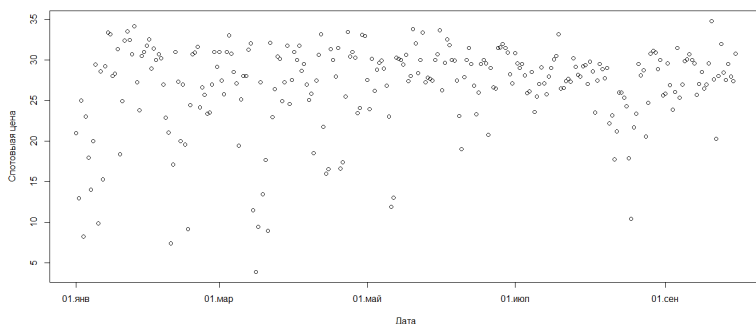


Рис. 1. Спотовые цены на электроэнергию. Представлены утренние значения показателя за период с 01.01.2014 по 30.09.2014.

В качестве иллюстрации свойств алгоритма приведен его сравнительный анализ с другими алгоритмами на примере оценивания спотовых цен на электричество в Австрии за 1-3 кварталы 2014 года (Рис. 1).

Выводы

В данной работе продемонстрирован эффективный алгоритм сглаживания данных при помощи штрафных сплайнов в одно- и двумерном случаях. Важной характеристикой алгоритма является устойчивость к выбросам в исходных данных (робастность).

Литература

1. *Eilers P. H. C., Marx B. D.* Flexible smoothing with B-splines and penalties // *Statist. Sci.* **11**, 1996, pp. 89-121.
2. *Щетинин Е.Ю.* Моделирование спотовых цен на электроэнергию с использованием марковских процессов переключения режимов // *Вестник РУДН. Серия Математика, Информатика, Физика*, **3**, 2012.
3. *Хардле В.* Прикладная непараметрическая регрессия. – Москва, Мир, 1993.

ROBUST ALGORITHM OF DESIGNING SMOOTHING SPLINES.

Lyubin P.G., Shchetinin Eu.Yu.

Moscow State Technology University "STANKIN", lyubin.p@gmail.com

The work presents robust algorithm for smoothing of the data with penalized splines.

Key words: smoothing splines, robust algorithms, data analysis, non-parametric regression, penalized splines.

STOCHASTIC MORTALITY RATES MODELING FOR LONGEVITY RISKS ESTIMATING IN MODERN RUSSIA

Lyubin P.G., Shchetinin Eu.Yu., Khimiy B.V.

Moscow State Technology University "STANKIN", lyubin.p@gmail.com

The work presents an analysis of several stochastic mortality models, which used to predict mortality rates and to estimate longevity risks in modern Russia.

Key words: regression, mortality rates, longevity risks.

The modeling and forecasting of disease incidence and mortality rates is a problem of fundamental importance in demography and sociology generally, and for the insurance and pensions industry in particular. Human mortality has improved substantially over the last century but this benefit has brought with it additional stress in support-systems for the elderly, such as healthcare and pension provision. For the insurance and pensions industry the pricing and reserving of annuities depends on three things: stock market returns, interest rates and future mortality rates. Likewise, the return from savings for the policyholder depends on the same three factors. In the most obvious way, increasing longevity can only be regarded as a good thing for the policyholder; a less welcome consequence is that annual income from annuities will be reduced. In this paper we consider the prediction of mortality rates. We have been provided with data sets from two classes of UK insurance business and we will use these to illustrate our approach to the smoothing and forecasting of mortality rates.

One of the oldest methods is based on the forecasting of parameters in some parametric model. For example, Age-Period-Cohort (APC) models are a well-established method of smoothing mortality tables. The classic reference is Lee and Carter (1992) introduced a simple bilinear model of mortality in which the time dependent component of mortality is reduced to a single index which is then forecast using time series methods. Brouhns et al. (2002) improved on the OLS approach by modeling the number of deaths directly by a Poisson distribution and using maximum likelihood for parameter estimation. Both the APC and the Lee-Carter approach make strong assumptions about the functional form of the mortality surface. There are various fully two-dimensional approaches. De Boor (2001) and Dierckx (1993) construct a two-dimensional regression basis as the Kronecker product of B-splines but neither author considers non-normal data or the forecasting problem. Gu and Wahba (1993) and Wood (2003) use thin plate splines but again forecasting is not available.

Our own approach is to use two-dimensional regression splines, specifically B-splines with penalties, usually known as P-splines (Eilers and Marx, 1996). Eilers and Marx (1996) used B-splines as a basis for one dimensional regression and we extend this approach by using B-splines to construct a basis for bivariate regression. This construction gives a basis in two dimensions with local support and hence a fully flexible family of fitted mortality surfaces. The regression approach leads to a generalized linear model which is fitted by penalized likelihood. An important feature of this method is that forecasting is a natural consequence of the smoothing process. We consider future values as missing values; the penalization then allows estimation of the future values simultaneously with the fitting of the mortality surface. We will see that the choice of penalty function, which can be of secondary importance in the smoothing of data, is now critical, since it is the penalty function that determines the form of the forecast.

Life expectancy has been increasing in almost all the countries of the world. Mortality risk is a key risk factor for life insurance companies and can have a crucial impact on its risk situation. In general, mortality risk can be divided into different subcategories, among them unsystematic risk, adverse selection, and systematic risk. In addition, basis risk may arise in case of hedging, e.g., longevity risk. Longevity risk arises from that fact that future lifetimes are uncertain and may be longer than expected.

We aim to holistically analyze the impact of these different types of mortality risk on the risk situation and the risk management of a life insurer. We extend previous models of adverse selection, empirically calibrate mortality rates, and study the interaction among the mortality risk components in the case of an insurer holding a portfolio of annuities and term life insurance contracts. For risk management, we examine natural hedging and mortality contingent bonds. Our results show that particularly adverse selection and basis risk can have crucial impact not only on the effectiveness of mortality contingent bonds, but also on the insurer's risk level, especially when a portfolio consists of several types of products.

We illustrate our methods with data sets provided by the Continuous Mortality Investigation Bureau (CMIB) and Russian Federal State Statistics Service (Rosstat).

Conclusions

We illustrate that methods based on penalized splines more effective to predict mortality rates on Russian dataset, than parametric models.

References

1. Currie I.D., Durban M. Flexible smoothing with P-splines: a unified approach // *Statistical Modelling*, **2**, 2002, pp. 333-49.
2. Dierckx P. Curve and surface fitting with splines // *Oxford: Clarendon Press*, 1993.
3. Eilers P.H.C., Marx B.D. Flexible smoothing with B-splines and penalties // *Statist. Sci.* **11**, 1996, pp. 89-121.
4. Wood S.N. Thin plate regression splines // *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, **65**, 2003, pp. 95-114.
5. Russian Federal State Statistics Service – <http://www.gks.ru/>
6. Life & Longevity Markets Association (ex LifeMetrics) – <http://www.llma.org/>

МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ СМЕРТНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ДОЛГОЛЕТИЯ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Любин П.Г., Щетинин Е.Ю., Химий Б.В.
ФГБОУ МГТУ «СТАНКИН», lyubin.p@gmail.com

В данной работе представлено сравнение стохастических моделей прогнозирования уровней смертности для оценивания рисков долголетия в современной России.

Ключевые слова: регрессионный анализ, смертность, долголетие, риски.

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СИММЕТРИЧНОГО ШИФРОВАНИЯ DES И ГОСТ 28147-89

Мариняк Б. В.

Российский университет дружбы народов, bvmariyak@gmail.com

В работе представлены алгоритмы симметричного шифрования DES и ГОСТ 28147-89. Приведено описание и сравнение этих алгоритмов.

Ключевые слова: DES, ГОСТ 28147-89

Введение

Задача шифрования данных возникла давно и остается актуальной в настоящее время. Одним из методов шифрования является симметричное шифрование. Такие шифры просты в реализации, стойки и производительны, что делает их очень эффективными.

В данной работе рассматривается алгоритм DES, разработанный фирмой IBM и утвержденный как официальный стандарт правительством США в 1977 году, и советский и российский стандарт шифрования ГОСТ 28147-89 введенный в 1990 году.

Описания и сравнение алгоритмов

Рассмотрим некоторые характеристики алгоритмов DES и ГОСТ 28147-89 которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики алгоритмов DES и ГОСТ 28147-89

| Параметры | DES | ГОСТ 28147-89 |
|-------------------------|-----|---------------|
| Длина блока данных, бит | 64 | 64 |
| Длина ключа, бит | 64 | 256 |
| Количество раундов | 16 | 32 |

DES содержит 16 раундов, в то время как ГОСТ 28147-89 содержит 32 раунда. Так же алгоритм ГОСТ использует ключ длиной 256 бит, в отличие от алгоритма DES которые использует ключ длиной всего 64 бита.

DES и ГОСТ 28147-89 оперируют блоками данных по 64 бита. В основе этих алгоритмов лежит преобразование Фейстеля.

Исходные данные разбиваются на левую L и правую R половины. На i – раунде в алгоритмах DES и ГОСТ выполняются следующие операции:

$$\begin{cases} L_i = R_{i-1} \\ R_i = L_{i-1} \oplus f(R_{i-1}, k_i) \end{cases} \quad (1)$$

Один раунд ГОСТа гораздо проще чем раунд DES.

Самым слабым местом в ГОСТе являются циклические сдвиги по сравнению с перестановками в алгоритме DES. Перестановка с расширением усиливает лавинный эффект. Но эта слабость у алгоритма ГОСТ компенсируется гораздо большим количеством раундов.

В алгоритме ГОСТ генерация подключей из ключей гораздо проще чем в DES. ГОСТ разбивает 256 – битовый ключ на восемь частей по 32 бита. На каждом раунде используется свой подключ. В DES 64 – битовый ключ уменьшается до 56 – битового. После этого ключ делится на две части по 28 бит и происходит циклический сдвиг влево на один или два бита в зависимости от раунда. Затем выбираются 48 бит, которые используются дальше.

Используемые S – блоки в ГОСТе генерируются случайно и хранятся в секрете в отличие от фиксированных S – блоков алгоритма DES, что увеличивает криптографическую стойкость алгоритма ГОСТ 28147-89.

Большее количество раундов и большая длина ключа делают алгоритм ГОСТ 28147-89 более стойким к линейному и дифференциальному криптоанализу.

Для сравнения скорости шифрования данных и используемой памяти этими алгоритмами были написаны программы на языке программирования C++. Результаты выполнения программ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение скорости шифрования и используемой памяти.

| Параметры | DES | ГОСТ 28147-89 |
|-----------------------------|------|---------------|
| Объём памяти, КВ | 1176 | 1036 |
| Скорость шифрования, Mbit/c | 2.01 | 3.87 |

Несмотря на то, что в алгоритме ГОСТ 28147-89 в два раза больше раундов чем в DES, ГОСТ быстрее справляется с шифрование данных. Это связано с тем что раунды ГОСТ гораздо проще чем раунды DES. Разница в используемой памяти в этих алгоритмов не большая.

Выводы

В данной работе рассмотрены и сравнены некоторые параметры алгоритмов ГОСТ 28147-89 и DES.

Оба алгоритма работают с блоками данных размером 64 – бита. Но на этом их сходства заканчиваются. ГОСТ содержит 32 цикла преобразования в отличие от 16 циклов алгоритма DES. Каждый цикл ГОСТа состоит из более простых операций чем в DES. Алгоритм ГОСТ быстрее чем DES.

Алгоритм шифрования, определяемый ГОСТом 28147 - 89, из-за значительно большей длины ключа и большим количеством раундов является существенно более стойким, нежели алгоритм шифрования DES.

Литература

1. Кулябов Д. С. Учебно – методическое пособие по курсу «Защита информации в компьютерных сетях». Часть 1. – М: РУДН, 2004
2. Фороузан Б. А. Криптография и безопасность сетей. – М: Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2010.
3. Алферов А. П., Зубов А. Ю., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. «Основы криптографии». –М: Изд-во «Гелиос АРВ», 2002.
4. Шнайер Б. Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. –М: Триумф, 2003.

COMPARISON BETWEEN TWO ALGORITHMS OF SYMMETRIC ENCRYPTION DES AND GOST 28147-89

Marinyak B. V.

Peoples' Friendship University of Russia, bvmarinyak@gmail.com

Algorithms of symmetric encryption DES and GOST 28147-89 are presented in the work. The work contains description and comparison between this two algorithms.

Key words: DES, GOST 28147-89.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ТИПА

Марков П.Н.

МГТУ «Станкин», dvokram@gmail.com

В работе предложен подход к моделированию многомерных структур статистических зависимостей на основе предложенной спецификации вьющихся копул. Разработаны численные алгоритмы симуляции иерархических структур и оценивания параметров копул, входящих в эти иерархии.

Ключевые слова: иерархические структуры, статистические зависимости, копула, вьющиеся копулы.

Введение

Моделирование многомерных структур статистических зависимостей является современной успешно развивающейся математической теорией [1]. Концепция копулы [2], отделяющая частные распределения случайного вектора от описания структуры зависимости, представляется эффективным и универсальным инструментом для описания сложных распределений большой размерности. Хорошо изученным в настоящее время является двумерный случай: предложены семейства копул, описывающие распределения экстремального типа, распределения с асимметрией и методы их оценивания. При обобщении семейств копул на случаи более высокой размерности существует проблема выражения копулы в явном виде, а оценивание представляет собой сложную численную задачу. Известные модели эллиптических (Гаусса, Стюдента) и архимедовых копул обычно имеют один параметр для характеристики хвоста распределения вне зависимости от размерности, тогда как К. Аас показывает [3], что связь между парами рисков факторов в портфеле может различаться значительно.

Одним из подходов к решению поставленной проблемы является моделирование связей случайного вектора через описание попарных связей, впервые предложенное Джоом [4] и получившее развитие в работах Бедфорда и Кука [5]. Принцип моделирования основывается на декомпозиции многомерной плотности вероятности в каскад двумерных копул основных величин, а также производных от них условных и безусловных функций распределения. В настоящей работе развивается этот подход.

Пусть имеется случайный вектор с совместной плотностью вероятности $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, которая может быть записана через условные распределения в виде

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_n) f(x_{n-1} | x_n) f(x_{n-2} | x_{n-1}, x_n) \dots f(x_1 | x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Согласно теореме Сяляра [2] каждая многомерная функция распределения может быть представлена через подходящую копулу C

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)). \quad (2)$$

Совместную плотность вероятности всюду непрерывной случайной величины со строго возрастающими частными распределениями F_1, F_2, \dots, F_n , перепишем в следующем виде

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_{12..n}(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)) \cdot f_1(x_1) f_2(x_2) \dots f_n(x_n) \quad (3)$$

для некоторой n -мерной плотности копулы $c_{12..n}(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_n)$, $\mathbf{u}_i \in [0, 1]$.

В двумерном случае, последняя формула (3) принимает вид

$$f(x_1, x_2) = c_{12}(F_1(x_1), F_2(x_2)) \cdot f_1(x_1) f_2(x_2).$$

Условная плотность в этом случае выражается формулой

$$f(x_1 | x_2) = c_{12}(F_1(x_1), F_2(x_2)) \cdot f_1(x_1).$$

В случае нескольких переменных в условии возможны альтернативные декомпозиции, а произвольное условное частное распределение может быть представлено в виде

$$f(x|\vartheta) = c_{x\vartheta_j|\vartheta_{-j}}(x|\vartheta_{-j}, F(\vartheta_j|\vartheta_{-j})) \cdot f(x|\vartheta_{-j}), \quad (4)$$

где ϑ_{-j} d -мерный вектор, часть вектора (x_1, x_2, \dots, x_n) , ϑ_j обозначает произвольно выбранную переменную из ϑ , а ϑ_{-j} — вектор без этой компоненты. Таким образом, плотность вероятности многомерного распределения (1) может быть выражена через двумерные копулы, аргументы которых, в свою очередь, являются одномерными условными распределениями.

Введем несколько определений.

Определение 1. **K** каскад на n элементах, если

1. $K = (T_1, T_2, \dots, T_n)$,
2. T_1 — дерево с вершинами $N = \{1, 2, \dots, n\}$ и множеством ребер E_1 ,
3. Для $i = 1, 2, \dots, m$, T_i — дерево с вершинами $N_i \subset N_1 \cup E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_{i-1}$ и множеством ребер E_i .

Определение 2. Каскад называется правильным, если

1. $m = n$,
2. T_i — связанное дерево с множеством ребер E_i и вершин $T_i = E_{i-1}$, и $\text{card}(N_i) = n - (i - 1)$ для $i = 1, 2, \dots, n$,
3. выполняется условие соседства: для $i = 1, 2, \dots, n - 1$, если $a = \{a_1, a_2\}$ и $b = \{b_1, b_2\}$ — вершины в N_i , соединенные ребром (т. е. $a_1, a_2, b_1, b_2 \in N_{i-1}$), то $\text{card}(a \cap b) = 1$.

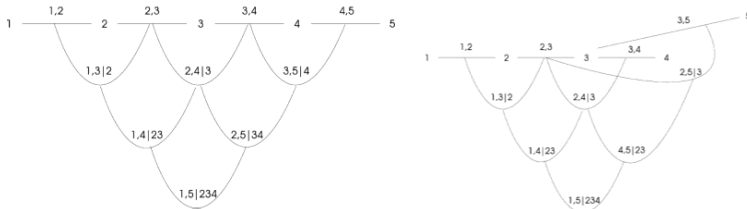


Рис. 1. Примеры правильных иерархий копул

Определение 3. (F, K, B) — спецификация иерархии копул, если

1. $F = (F_1, F_2, \dots, F_n)$ — вектор одномерных непрерывных и обратимых функций распределения,
2. K — правильный каскад на n элементах,
3. $B = \{B_e | e \in E_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, где B_e — подмножество некоторого семейства копул.

Таким образом, совместное распределение F на \mathbf{R}^n реализует спецификацию правильного каскада (F, K, B) , если частные распределения F описываются $F_i, i = 1, 2, \dots, n$, и $e \in E_i$ — двумерная копула — элемент из B_e .

Среди спецификаций иерархий копул на правильных каскадах можно выделить семейство, в которых предполагается связь между ведущей, предикативной случайной величиной и остальными компонентами случайного вектора, канонические иерархии копул. На основе этой математической модели построен алгоритм симуляции случайных величин, связанных известной зависимостью, и предложен метод оценивания параметров копул, входящих в представление, для многомерных выборок.

Далее, введем функцию h , связанную с формулой (4), где x и v соответствуют одномерным и равномерным на отрезке $[0, 1]$ случайным величинам, т. е. $F(x) = x, F(v) = v$,

$$h(x, v, \vartheta) = F(x|v) = \partial C_{xv}(x, v, \vartheta) / \partial v,$$

и предположим, что существует обратная функция $\mathbf{h}^{-1}(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \Theta)$ относительно первой переменной $\mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \Theta) = \mathbf{u}$. Для симуляции n зависимых равномерных на отрезке $[0, 1]$ переменных необходимо выполнить следующие шаги.

Шаг 1. Получить $\mathbf{w}_i, i = 1, 2, \dots, n$, независимые, равномерные на $[0, 1]$.

Шаг 2. $\mathbf{x}_1 = \mathbf{w}_1, \mathbf{x}_2 = F_{2|1}^{-1}(\mathbf{w}_2 | \mathbf{x}_1) = \mathbf{h}^{-1}(\mathbf{u}_2, \mathbf{x}_1, \Theta_{11})$,

$$\mathbf{x}_3 = F_{3|1,2}^{-1}(\mathbf{w}_3 | \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \mathbf{h}^{-1}(\mathbf{h}^{-1}(\mathbf{w}_3, \mathbf{h}(\mathbf{x}_2, \mathbf{x}_1, \Theta_{11}), \Theta_{21}), \mathbf{x}_1, \Theta_{12})$$

... = ...

$$\mathbf{x}_n = F_{n|1,2,\dots,n-1}^{-1}(\mathbf{w}_n | \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_{n-1}).$$

Шаг 3. Повторить первый и второй шаги до необходимого объема выборки.

Задача оценивания может быть решена методом максимального правдоподобия.

Будем предполагать, что имеется выборка n -мерного случайного вектора в \mathbf{T} временных точках, $\mathbf{x}_i = (\mathbf{x}_{i,1}, \mathbf{x}_{i,2}, \dots, \mathbf{x}_{i,T}), i = 1, 2, \dots, n$. Для иерархии копул с каноническим каскадом функция максимального правдоподобия имеет вид

$$\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=1}^{n-j} \sum_{t=1}^T \lg \left(c_{j,j+i|1,2,\dots,j-2} \left(F(\mathbf{x}_{j,t} | \mathbf{x}_{1,t}, \dots, \mathbf{x}_{j-1,t}), F(\mathbf{x}_{j+i,t} | \mathbf{x}_{1,t}, \dots, \mathbf{x}_{j-1,t}) \right) \right) \quad (5)$$

Каждая из копул, входящих в (5) имеет, по крайней мере, один параметр, относительно которых функция (5) должна быть максимизирована. Алгоритм оценивания приведен ниже.

Шаг 1. Оценить параметры копул на первом уровне каскада \mathbf{T}_1 .

Шаг 2. Вычислить условные выборки для второго уровня каскада \mathbf{T}_2 с использованием параметров копул, полученных на первом шаге, и функции \mathbf{h} .

Шаг 3. Если не достигнут последний уровень каскада, перейти к первому шагу.

Выводы

Предложены алгоритмы компьютерного моделирования структур статистических зависимости на основе концепции выходящих копул (vine copula).

Литература

1. *Щетинин Е.Ю.*, Теория математических структур статистической зависимости. — Монография. ИЦ ГОУ ВПО МГТУ СТАНКИН, 2005.
2. *Aas, K.* The Generalized Hyperbolic Skew Student's t-Distribution. — Journal of Financial Econometrics Advance Access, 2006.
3. *Joe, H.* Multivariate Models and Dependence Concepts. — London: Chapman & Hall, 1997
4. *Bedford, T. and R. M. Cooke.* Vines — a new graphical model for dependent random variables. Annals of Statistics 30 (4), 1031—1068, 2002.
5. *Salvadori, G., De Michele, C., Kotegoda, N.T., and Rosso, R.*, Extremes in nature—An approach using copulas: Dordrecht, Netherlands, Springer, Water Science and Technology Library 56, 2007.

MODELING OF THE HIERARCHICAL STRUCTURE OF STATISTICAL DEPENDENCE EXTREME TYPE

Markov P.N.

Moscow State Technology University "STANKIN", dvokram@gmail.com

In this paper we propose an approach to modeling multidimensional structures statistical dependences based on the proposed specification vine copulas. Numerical algorithms for simulation of hierarchical structures and parameter estimation of copulas included in these hierarchies.

Key words: structures of statistical dependence, ierarchy of structures, vine copula.

ВЫЧИСЛЕНИИ ИНТЕГРАЛОВ ОТ БЫСТРО ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ – СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ ПО СКОРОСТИ

Мигаль И.А.

Российский университет дружбы народов ilya.migal@hotmail.com

В работе представлен сравнительный анализ методов вычисления интегралов от быстро осциллирующих функций. Рассматриваются метод коллокаций Левина и метод приведения интеграла к каноническому виду с последующим решением по методу коллокаций.

Ключевые слова: осциллирующие функции, интегралы от быстроосциллирующих функций, метода коллокации Левина, канонический вид.

Нанооптика является бурно развивающейся сферой в области нанотехнологий. В различных ее отраслях - оптика, электромагнетизм, квантовая механика - существуют задачи, решения которых представляют собой интегралы от быстро осциллирующих функций:

$$\int_V f(x, y, \dots) e^{ig(x, y, \dots)} dv,$$

где $f(x, y, \dots)$ и $g(x, y, \dots)$ являются гладкими, не осциллирующими функциями, которые принято называть амплитудной и фазовой функциями соответственно.

В случае, когда производная фазовой функции не обращается в ноль на интервале интегрирования, интеграл можно преобразовать к более простому с точки зрения вычислений виду [1]:

$$I[f] = \int_{g(a)}^{g(b)} \frac{f(g^{-1}(y))}{g'(g^{-1}(y))} e^{i\omega y} dy,$$

где $y = g(x)$. Теперь интеграл можно привести каноническому виду, если применить преобразование координат $y = \frac{g(b)-g(a)}{2}x + \frac{g(b)+g(a)}{2}$:

$$I[f] = \int_{-1}^1 F(x) e^{i\xi x} dx,$$

где $F(x) = \frac{g(b)-g(a)}{2} e^{i\omega \frac{g(b)+g(a)}{2}} \frac{f(g^{-1}(y))}{g'(g^{-1}(y))}$ и $\xi = \frac{g(b)-g(a)}{2} \omega$.

Для решения поставленной задачи, необходимо найти обратную функцию от $g(x) - g^{-1}(x)$. В статье упоминается, что численное значение $g^{-1}(x)$ достаточно просто найти применив метод Ньютона. Часто можно легко найти и аналитический вид функции. Например, для интеграла

$$I[f] = \int_0^1 \left(\frac{1}{x+0.05} + x^2 \right) e^{i\sqrt{10^6+2+10^3x}} dx,$$

обратная функция имеет вид

$$g^{-1}(x) = x = \frac{y^2 - 10^6}{2 * 10^3}.$$

Автором разработана программа на языке программирования C# с использованием математической библиотеки ALGLIB в которой сравниваются методы вычисления интеграла двумя способами:

1. Метод коллокаций Левина [2].
2. Приведение интеграла к каноническому виду согласно [1] с последующим применением метода коллокаций Левина.

Ниже приведена таблица погрешностей при вычислении приведенного выше интеграла двумя способами для различного числа узлов интегрирования.

Таблица 1 Сравнение погрешностей двух методов для действительной и мнимой частей

| Кол-во узлов | Real-Егг-Метод Левина с преобразованием | Real-Егг-Метод Левина | Img-Егг-Метод Левина с преобразованием | Img-Егг-Метод Левина |
|--------------|---|-----------------------|--|----------------------|
| 15 | 0,00028184 | 0,015355405 | 6,21885E-05 | 0,000336309 |
| 30 | 3,32499E-07 | 2,45196E-05 | 4,84132E-07 | 1,05983E-05 |
| 45 | 1,04623E-10 | 2,12385E-09 | 3,22401E-10 | 9,30137E-09 |
| 60 | 2,01354E-09 | 1,80244E-10 | 7,87095E-10 | 2,70622E-11 |
| 75 | 2,13144E-09 | 3,38755E-10 | 7,95641E-10 | 7,03116E-11 |
| 90 | 7,59857E-10 | 1,39742E-09 | 5,72908E-10 | 4,37893E-10 |
| 100 | 6,80271E-10 | 1,1053E-09 | 4,30647E-10 | 1,18437E-09 |

Литература

1. Liu, Y. Fast Evaluation of Canonical Oscillatory Integrals. Applied Mathematics & Information Sciences , 6, 2012, 245-251.
2. WANG, X., LI, J., & WANG, T. A universal solution to one-dimensional oscillatory integrals. Science in China Series F Information Sciences , 51 (10), 2008, 1614-1622.

CALCULATION OF OSCILLATORY INTEGRALS – SPEED COMPARISON OF TWO METHODS

Migal I.A

Peoples' Friendship University of Russia ilya.migal@hotmail.com

In work the comparative analysis of methods of calculation of integrals from quickly oscillating functions is presented. The Levin's collocation method and a method of integral reduction to a canonical form with the subsequent decision on a collocation method are considered.

Key words: oscillating functions, oscillatory integrals, Levin's collocation method, canonical form.

О РАЗОВЫХ НЕТТО-ПРЕМИЯХ ДЛЯ ОСНОВНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ВИДОВ СТРАХОВАНИЯ ЖИЗНИ

Пашина А.В., Матюшенко С.И.

Российский университет дружбы народов, matushenko@list.ru, pashina-alex@yandex.ru

Рассматривается задача расчета разовых нетто-премий для основных видов долгосрочного страхования жизни в непрерывном времени в предположении о равномерном распределении времени жизни.

Ключевые слова: долгосрочное страхование жизни, модель де Муавра, разовые нетто-премии.

Введение

Цель данной работы – получить аналитические формулы для расчета разовых нетто-премий для пяти основных видов непрерывного страхования жизни: пожизненного страхования, n -летнего страхования жизни, n -летнего смешанного страхования жизни, пожизненного страхования, отсроченного на m лет, пожизненного страхования с непрерывно увеличивающейся страховой суммой. Все расчеты производятся для случая равномерного распределения времени жизни на заданном интервале (модель де Муавра).

1. Постановка задачи

Предположим, что продолжительность жизни описывается моделью де Муавра [1] с предельным возрастом ω и предположим, что известна годовая процентная ставка i и возраст человека x . Необходимо получить аналитические формулы для расчета нетто-премии для данного человека для следующих видов непрерывного страхования:

- пожизненного страхования;
- n -летнего страхования жизни;
- n -летнего смешанного страхования жизни;
- пожизненного страхования, отсроченного на m лет;
- пожизненного страхования с непрерывно увеличивающейся страховой суммой.

2. Расчет нетто-премии

Поставленная задача сводится к определению математического ожидания стоимости страхового пособия, приведенной к моменту заключения договора с человеком в возрасте x . Для решения этой задачи воспользуемся результатами главы 7 работы [1], согласно которым приведенная стоимость определяется по формулам:

$$A = EZ, \quad Z = b_{T_x} \cdot v^{\tau(T_x)} \equiv b_{T_x} \cdot e^{-\delta\tau(T_x)} \quad (1)$$

где $T_x = T - x$ - остаточное время жизни (T - момент смерти); $\delta = \ln(1+i)$ - сила роста; $v(t) = (1+i)^{-t} = e^{-\delta t}$ - коэффициент дисконтирования; $\tau(T_x)$ и b_{T_x} - функции от остаточного времени жизни, которые определяют момент и величину выплаты соответственно и зависят от вида страхования.

Учитывая наше предположение о равномерном распределении времени жизни, можно утверждать, что остаточное время жизни застрахованного имеет равномерное распределение на промежутке $(0; \omega-x)$, с плотностью распределения:

$$f_x(t) = \frac{1}{\omega-x}, \quad 0 < t < \omega-x \quad (2)$$

Следовательно, исходя из формул (1) и (2), а также используя принятые в актуарной математике обозначения, приходим к следующим результатам:

- $\bar{A}_x = E[\bar{Z}_x] = \int_0^{\omega-x} v^t f_x(t) dt = \int_0^{\omega-x} v^t \frac{1}{\omega-x} dt = -\frac{1}{(\omega-x)\delta} v^t \Big|_0^{\omega-x} = \frac{1-v^{\omega-x}}{(\omega-x)\delta}$
- $\bar{A}_{x:\overline{n}|}^1 = EZ_{x:\overline{n}|}^1 = \int_0^n v^t f_x(t) dt = \int_0^n v^t \frac{1}{\omega-x} dt = -\frac{1}{(\omega-x)\delta} v^t \Big|_0^n = \frac{1-v^n}{(\omega-x)\delta}$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } \bar{A}_{x:\overline{n}|} &= E\bar{Z}_{x:\overline{n}|} = \int_0^n v^t f_x(t) dt + v^n P\{T_x > n\} = \bar{A}_{x:\overline{n}|}^1 + \bar{A}_{x:\overline{n}|}^{\overline{1}} = \frac{1-v^n}{(\omega-x)\delta} + v^n \cdot \\
 &\int_n^{\omega-x} \frac{1}{\omega-x} dt = \frac{1-v^n}{(\omega-x)\delta} + v^n \frac{\omega-x-n}{\omega-x} \\
 \text{d) } m|\bar{A}_x &= E_m|\bar{Z}_x = \int_m^{\omega-x} v^t f_x(t) dt = \frac{v^m - v^{\omega-x}}{(\omega-x)\delta} \\
 \text{e) } (\bar{I}\bar{A})_x &= E(\bar{I}\bar{Z})_x = E(T_x \cdot v^{T_x}) = E(T_x \cdot e^{-\delta T_x}) = \int_0^{\omega-x} t v^t f_x(t) dt = \\
 &-\frac{t}{(\omega-x)\delta} v^t \Big|_0^{\omega-x} + \int_0^{\omega-x} \frac{v^t}{(\omega-x)\delta} dt = \frac{v^{\omega-x}}{\delta} + \frac{1-v^{\omega-x}}{(\omega-x)\delta^2}
 \end{aligned}$$

Как видно из расчетов, условия договоров, сроки, процентная ставка и возраст страхующегося человека непосредственным образом влияют на результат. Для наглядности рассмотрим случай, когда $\omega=110$, процентная ставка $i=13\%$, возраст человека – 45 лет. Используя полученные выше формулы, получаем:

- $\bar{A}_{45} = 12.58297\%$
- $\bar{A}_{45:\overline{6}|} = 6.5414\%$
- $\bar{A}_{45:\overline{6}|} = 50.1122\%$
- ${}_3|\bar{A}_{45} = 8.7193\%$
- $(\bar{I}\bar{A})_{45} = 102.662\%$

Выводы

В работе получены аналитические формулы для расчета разовых нетто-премий для основных непрерывных видов страхования жизни в предположении, что продолжительность жизни описывается моделью де Муавра.

Литература

- Фалин Г.И. Математические основы теории страхования жизни и пенсионных схем. М.: Анкил, 2002.
- Фалин Г.И. Актуарная математика в задачах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

THE MODEL OF ESTIMATING SINGLE NET-PREMIUMS FOR CONTINUOUS TYPE OF LIFE INSURANCE

Pashina A.V., Matushenko S.I.

People's Friendship University of Russia, pashina-alex@yandex.ru, matushenko@list.ru

A model for estimating single net-premiums for continuous time with conditions is considered in this report. The solution of a problem consists in choosing an analytic rule of mortality and police parameters.

Key words: long time life insurance, model of do Moivre, single net-premiums.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ «ГУСЕНИЦА»-SSA В BIG DATA

Петров В.А., Савин А.С., Хохлов А.А., Четов А.И.

*Российский университет дружбы народов, vpetrov@mahuru.ru, asavin@skedandtrack.ru,
aahohlov@mahuru.ru, achetov@iitdgroup.ru*

В работе рассматривается многомерный вариант базового метода SSA (MSSA, Multi-Channel SSA) для анализа многомерных временных рядов, широко применяемый в концепции Big Data к анализу больших наборов данных и поиску зависимостей между ними.

Ключевые слова: Big Data, временные ряды, большие данные, анализ сингулярного спектра, метод «Гусеница», многомерный SSA, MSSA.

Введение

Развитие вычислительных технологий, пройдя за последнее время несколько важных этапов, среди которых технологии создания облачных хранилищ данных и технологии распределенных облачных вычислений, привело к тому, что стало возможным накопление и хранение огромных массивов неструктурированных данных. И теперь новым мерилем развития компьютерных технологии и математики будет являться не производительность, а получаемые данные, методы их анализа, способы поиска взаимосвязей.

На сегодняшний момент человечество накопило гигантский объем цифровой информации, который продолжает экспоненциально расти с каждым днем благодаря росту количества вычислительных средств, пользователей и приложений. Это позволяет по-новому посмотреть на то, что содержит эта информация. Именно поэтому многие специалисты берутся за ранее неразрешимые задачи. «Большие данные» открывают новые задачи во многих отраслях, например, медицина, безопасность, энергетика, экономика, автомобилестроение, сферы продаж и услуг [1]. В будущем большие данные будут способствовать в решении насущных глобальных проблем, например, в борьбе с изменением климата, в искоренении болезней, в эффективном управлении и экономическом развитии.

Одной из многочисленных сфер концепции Big Data является статистический анализ, а именно анализ временных рядов, где существует огромное количество методов анализа данных, одним из которых является метод «Гусеница»-SSA.

Базовый алгоритм MSSA

Базовый алгоритм состоит из четырех этапов. Первые два этапа образуют стадию разложения, а последние два – стадию восстановления.

На первом этапе из исходной системы временных рядов произвольной длины $F^{(k)} = (f_j^{(k)})_{j=0}^{N_k-1}$, где $k = 1, \dots, s$, а N_k – длина k -го ряда, строится траекторная матрица

$$X = [X_1^{(1)} : \dots : X_{K_1}^{(1)} : \dots : X_1^{(s)} : \dots : X_{K_s}^{(s)}] = [X^{(1)} : \dots : X^{(s)}], \quad (1)$$

где $X_j^{(k)} = (f_{j-1}^{(k)}, \dots, f_{j+L-2}^{(k)})^T$, $1 \leq j \leq K_k$. $X^{(k)}$ – траекторная матрица ряда $F^{(k)}$, которая соответствует длине окна L , имеет вид [2]:

$$X^{(k)} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \dots & f_{N-1} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Следующий этап подразумевает разложение траекторной матрицы ряда $(F^{(1)}, \dots, F^{(s)})$ в следующем виде:

$$\mathbf{X} = \sum_{k=1}^d [U_k U_k^T \mathbf{X}^{(1)}; \dots; U_k U_k^T \mathbf{X}^{(s)}], \quad (3)$$

где U_k – собственные вектора матрицы S :

$$\mathbf{S} = \mathbf{X}\mathbf{X}^T = \mathbf{X}^{(1)}\mathbf{X}^{(1)T} + \dots + \mathbf{X}^{(s)}\mathbf{X}^{(s)T}. \quad (4)$$

При этом разложение траекторной матрицы в одномерном случае имеет вид [3]:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_1 + \dots + \mathbf{X}_d, \quad (5)$$

где $X_j = \sqrt{\lambda_j} U_j V_j^T$, $V_j = \frac{1}{\sqrt{\lambda_j}} X^T U_j$, λ_j – собственные числа матрицы S .

Следующим шагом идет группировка, которая представляет собой разделение всего множества индексов $1, \dots, d$ на m непересекающихся подмножеств I_1, \dots, I_m . Откуда получаем [4]

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_{I_1} + \dots + \mathbf{X}_{I_m}. \quad (6)$$

На заключительном этапе каждую матрицу X_{I_j} разбивают на последовательно расположенные матрицы соответствующего размера: $X_{I_j} = [X_{I_j}^{(1)}; X_{I_j}^{(2)}; \dots; X_{I_j}^{(s)}]$. После чего для каждой матрицы $X_{I_j}^{(k)}$, $k = 1, \dots, s$, применяется диагональное усреднение, переводящее ее в ряд $\tilde{F}_{I_j}^{(k)}$:

$$\tilde{f}_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{j=1}^{k+1} z_{j,k-j+2} & \text{для } 0 \leq k < L^* - 1 \\ \frac{1}{L^*} \sum_{j=1}^{L^*} z_{j,k-j+2} & \text{для } L^* - 1 \leq k < K^* \\ \frac{1}{N-k} \sum_{j=k-K^*+2}^{N-K^*+1} z_{j,k-j+2} & \text{для } K^* \leq k < N \end{cases} \quad (7)$$

где $L^* = \min(L, K)$, $K^* = \max(L, K)$ и $N = L + K - 1$, $z_{jk} = x_{jk}$ при $L < K$ и $z_{jk} = x_{kj}$ в остальных случаях. Данная запись соответствует усреднению элементов матрицы вдоль «диагоналей» $i + j = k + 2$: при $k = 0$ получаем $\tilde{f}_0 = x_{11}$, при $k = 1$ получаем $\tilde{f}_1 = (x_{12} + x_{21})/2$ и т.д. В итоге мы получаем многомерный временной ряд $(\tilde{F}_{I_j}^{(1)}, \dots, \tilde{F}_{I_j}^{(s)})$ – восстановленную аддитивную компоненту исходного ряда $(F^{(1)}, \dots, F^{(s)})$ [5].

Выводы

В данной работе был представлен многомерный метод «Гусеница»-SSA (MSSA), который используется для анализа и прогнозирования нескольких временных рядов. Для применения метода «Гусеница» не требуется стационарность временного ряда, знание модели тренда, наличие периодических составляющих и иных характеристик. При этом успешно решаются следующие задачи: выделение трендов, обнаружение периодик, сглаживание исходных рядов, определение основных составляющих временных рядов, фильтрация.

Литература

1. Майер-Шенбергер, В., Кеннет Кукьер. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим / пер. с англ. Инны Гайдюк. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. — 240 с.
2. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.
3. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 52 с.
4. Голяндина Н.Э., Некруткин В.В., Степанов Д.В. Варианты метода «Гусеница»-SSA для анализа многомерных временных рядов. Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03. Москва, 2003, с. 2139-2168.
5. Степанов Д.В., Голяндина Н.Э. Варианты метода «Гусеница»-SSA для прогноза многомерных временных рядов. Труды IV Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'05. Москва, 2005, с. 1831-1848.

TIME SERIES ANALYSIS BY SSA METHOD IN BIG DATA

Petrov V.A., Savin A.S., Khokhlov A.A., Chetov A.I.

*Peoples' Friendship University of Russia, vpetrov@mahuru.ru, asavin@skedandtrack.ru,
ahohlov@mahuru.ru, achetov@iitdgroup.ru*

In this paper multivariate SSA (MSSA, Multi-Channel SSA) is considered for analyzing multivariate time series. In Big Data this method is used to analyse large data sets and find dependencies between them.

Key words: time series, Big Data, singular spectrum analysis, Multi-Channel SSA, MSSA.

ЗАДАЧА ФОРМИРОВАНИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ СТРАТЕГИЙ ДЛЯ РЕСТОРАННОГО БИЗНЕСА

Петров В.А., Савин А.С., Хохлов А.А., Четов А.И.

*Российский университет дружбы народов, vpetrov@mahuru.ru, asavin@skedandtrack.ru,
ahohlov@mahuru.ru, achetov@iitdgroup.ru*

В работе рассматривается постановка задачи формирования маркетинговых стратегий с помощью применения методов стека технологий Big Data.

Ключевые слова: Big Data, временные ряды, большие данные.

Введение

Развитие вычислительных технологий не так давно дало исследователям возможность хранения огромных массивов данных и возможность производить над ними манипуляции, что привело к созданию концепции Big Data. Основная идея Big Data состоит в том, что на основании результатов применения многочисленных методов анализа, ищутся взаимосвязи между наборами данных. Так как данные могут иметь разный тип, могут храниться по-разному и иметь совершенно различные интерпретации, задачей исследователя является адаптация существующих методик и алгоритмов обработки и анализа данных и создание новых [1].

В данной работе рассматривается задача применения концепции Big Data к поведенческому анализу клиентов кафе и ресторанов с тем, чтобы иметь возможность создавать эффективные маркетинговые стратегии для бизнеса. Например, рекомендация может выглядеть следующим образом: «Если кафе находится в определенном территориальном районе, то в определенный период года, при определенной погоде, при определенных новостном фоне, курсе доллара и других, с первого взгляда несвязанных факторах, стоит поставить в меню позиции, удовлетворяющие определенным условиям». Другими словами, суть задачи состоит в том, чтобы найти математические методы, которые дали бы повседневный инструмент для оптимизации рекламных и маркетинговых активностей бизнеса.

Сбор данных

Концепция Big Data подразумевает работу с огромными наборами данных, что является одним из необходимых условий для получения результата.

Предлагается рассматривать несколько источников данных. Одним из них являются сервисы различных программ лояльности, сервисов предоставления скидок и других. Такого рода сервисы могут иметь различную техническую реализацию, но их все объединяет то, что они хранят историю транзакций (историю чеков) и то или иное количество данных о клиенте – ссылки на социальные профили, пол, возраст и другие. На одном из этапов работы подразумевается взаимодействие с российскими и зарубежными сервисами.

Еще одним источником данных будет являться разработанная в коллективе авторов мобильная бонусная система, которая представляет собой мобильное приложение для клиентов ресторана, позволяющее накапливать и тратить бонусные баллы, пользоваться акциями и скидками. Серверная часть системы состоит из базы данных для хранения истории и панели управления системой, включающей в себя систему формирования различных отчетов. Данный инструмент впоследствии предполагается использовать для тестирования и внедрения тех стратегий, которые будут разработаны и согласованы для каждого конкретного ресторана.

Внешние данные о сторонних факторах (погода, курсы, новостной фон и так далее) планируется брать из открытых источников, на данный момент составляется и структурируется их список.

Задача анализа данных

Полученные данные должны подвергаться анализу с целью поиска зависимостей. Авторами предполагается широкое использование методов статистического и регрессионного анализа.

Одним из известных методов, входящих в стек технологий Big Data, является многомерный метод «Гусеница» с возможностью прогнозирования [2][3]. В настоящий момент среди коллектива авторов создается адаптированное к задаче программное обеспечение, реализующее MSSA. Больше внимание уделяется оптимизации работы метода на мобильных ARM процессорах, которые используются в большом количестве современных мобильных устройств.

Для того, чтобы изучать влияние наборов данных друг на друга, разрабатывается программное обеспечение, реализующее методы регрессионного анализа, адаптированные к поставленной задаче.

Выводы

В данной работе рассмотрена постановка задачи, заключающейся в формировании эффективных маркетинговых стратегий и рекомендаций для ресторанного бизнеса. На данный момент работа находится в стадии более детального формирования концепции, первичной декомпозиции задач, обзоре и анализе математических методов и алгоритмов.

Литература

1. *Майер-Шенбергер, В., Кеннет Кукьер.* Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим / пер. с англ. Инны Гайдюк. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. — 240 с.
2. *Голяндина Н.Э., Некруткин В.В., Степанов Д.В.* Варианты метода «Гусеница»-SSA для анализа многомерных временных рядов. Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03. Москва, 2003, с. 2139-2168.
3. *Степанов Д.В., Голяндина Н.Э.* Варианты метода «Гусеница»-SSA для прогноза многомерных временных рядов. Труды IV Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'05. Москва, 2005, с. 1831-1848.

DEVELOPMENT MARKETING STRATEGIES FOR RESTAURANT BUSINESS

Petrov V.A., Savin A.S., Khokhlov A.A., Chetov A.I.

Peoples' Friendship University of Russia, vpetrov@mahuru.ru, asavin@skedandtrack.ru, ahokhlov@mahuru.ru, achetov@iitdgroup.ru

This paper considers the formulation of the problem of development of marketing strategies through the use of methods of technology stack Big Data.

Key words: time series, Big Data.

О ПРИМЕНЕНИИ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ САМОФИНАНСИРУЕМЫМ ПОРТФЕЛЕМ АКТИВОВ С ЗАДАННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Погосян А. С.

Российский университет дружбы народов, nira55590@mail.ru

Рассматривается задача применения построенных стратегий управления к реальному самофинансируемому портфелю активов (включая безрисковый актив – банковский счет) заданного риска. Стратегии управления были получены методом построения правых частей стохастических дифференциальных уравнений по заданному интегральному многообразию.

Ключевые слова: самофинансируемый портфель, моделирование портфеля активов со стохастическими ценами, стохастическое дифференциальное уравнение, риск, доходность.

Введение

Решение многих практических финансовых задач приводит к необходимости построения математических моделей. Создание, изучение и применение математических моделей, отражающих и анализирующих современные рыночные тенденции, в последнее время становится все более актуальным и востребованным. В особенности, когда математические модели остаются не только теоретическими, но и дают возможность при практическом применении понять адекватность модели и реальность ее применения. Математические модели, возникающие при оценке финансовых инструментов и описывающие динамику цен активов на финансовых рынках, подробно изучались и описаны в [2], [3], [6]. В данной работе рассматривается применение стратегий управления портфелем ценных бумаг, состоящим из рискованных и безрисковых (банковский счет) вложений, с заданными свойствами (самофинансируемость, постоянство риска).

Стратегии управления самофинансируемым портфелем активов с непрерывным временем

Рассмотрим самофинансируемый портфель, состоящий из двух ($n=2$) рискованных активов и банковского счета. Динамика цен рискованных активов описывается системой стохастических дифференциальных уравнений:

$$dS_i = \mu_i(t, S)dt + \sum_{j=1}^m \sigma_{ij}(t, S)dW_j, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

с начальным условием $s_i(t_0) = s_{0i}$, где dW_j – винеровские случайные процессы, $\mu_i(t, S)$ – ожидаемые доходности активов, σ_{ij} – волатильности. Уравнения динамического управления портфелем имеют вид

$$\frac{dX_i}{dt} = f_i(t, s, X, V_p), i = \overline{1, n} \quad (2)$$

Уравнение, описывающее динамику банковского счета, для самофинансируемого портфеля:

$$dx_0 = (r \cdot x_0 - s_1 f_1(t, s, x) - s_2 f_2(t, s, x))dt. \quad (3)$$

Учитывая, что цены активов S_i , изменяющиеся со временем, удовлетворяют стохастическому дифференциальному уравнению (1), будем использовать для оценки риска портфеля показатель VaR, рассчитываемый по формуле:

$$VaR_p = \alpha \sigma_p V_p, \quad (4)$$

где α из \mathbb{R} , σ_p -волатильность (стандартное отклонение) доходности портфеля, V_p – стоимость портфеля - задается формулой $V_p(t) = \sum_{i=1}^n X_i(t)S_i(t)$. Поставим задачу нахождения правых частей f_1 и f_2 уравнений

$$dX_i = f_i(t, S, X), i = 1, 2 \quad (5)$$

при условии, что

$$dS_i = \mu_i(t, S)dt + \sum_{j=1}^m \sigma_{ij}(t, S)dW_j, i = 1, 2, \quad (6)$$

$$dV_p = r(t) \cdot x_0 dt + \sum_{i=1}^2 x_i \cdot dS_i, \quad (7)$$

для которых свойство постоянства риска $\omega_1(t, S, X) \equiv \text{VaR}_p - v_0 = 0$ ($v_0 = \text{const}$) является ожидаемым свойством рассматриваемого портфеля.

В итоге стратегии управления самофинансируемым портфелем активов со стохастическими ценами с денежным счетом имеют вид:

$$dx_1 = (- (x_1^2 s_1 \sigma_1^2 + x_1 x_2 s_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2}) \cdot A + (x_2^2 s_2 \sigma_2^2 + x_1 s_1 x_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2}) \cdot N) dt, \quad (8)$$

$$dx_2 = (- (x_2^2 s_2 \sigma_2^2 + x_1 s_1 x_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2}) \cdot A - (x_1^2 s_1 \sigma_1^2 + x_1 x_2 s_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2}) \cdot N) dt, \quad (9)$$

при этом

$$dx_0 = (r(t) \cdot x_0 + (x_1^2 s_1^2 \sigma_1^2 + x_2^2 s_2^2 \sigma_2^2 + 2x_1 s_1 x_2 s_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2}) \cdot A + N \cdot \{x_1^2 s_1 s_2 \sigma_1^2 + x_1 x_2 s_2^2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2} - x_2^2 s_1 s_2 \sigma_2^2 - x_1 x_2 s_1^2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2}\}) dt. \quad (10)$$

α - квантиль распределения, соответствующий выбранному доверительному интервалу, β из \mathbb{R} , $N(x_1, x_2)$ – произвольная функция, A задается следующим соотношением:

$$A = \frac{\beta \tilde{\omega}_1 + \alpha^2 x_1^2 s_1^2 \sigma_1^4 + 2\alpha^2 x_1 x_2 s_1 \sigma_1^2 s_2 \sigma_2 \text{corr}_{1,2} + \alpha^2 x_2^2 s_2^2 \sigma_2^4}{2\alpha^2 ((x_1^2 s_1 \sigma_1^2 + x_1 x_2 s_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2})^2 + (x_2^2 s_2 \sigma_2^2 + x_1 s_1 x_2 \sigma_1 \sigma_2 \text{corr}_{1,2})^2)}. \quad (11)$$

Моделирование самофинансируемого портфеля акций с банковским счетом заданного риска.

Для проверки данных результатов выберем две обыкновенные акции (с рублевой ценой), например, ОАО «Ростелеком» (RTKM) и ОАО «Лукойл» (LKOH); источник рыночных цен – Московская Биржа. Так же имеем банковский счет, на котором лежит 100 тыс. руб. под 15% годовых ($r(t) = 0.05/360$). Таким образом, имеем портфель из двух рисковых активов, подверженных риску изменения цены, и одного безрискового (банковского счета). При этом $\sigma_{LKOH} = 0.4537$, $\sigma_{RTKM} = 0.7446$, $\text{corr}_{LKOH, RTKM} = 0.123864$.

Изначально пусть стоимость портфеля составляет 1 млн. руб. Деньги распределяем таким образом, что половину портфеля составят акции LKOH, а вторую половину – акции RTKM. Уровень риска (v_0), к которому по результатам управления портфелем должен стремиться показатель VaR, и который считается приемлемым для инвестора, установим на уровне 100 тыс. руб. Пусть $\alpha = 2.326$ (соответствует 99% доверительному интервалу). Был сделан расчет на 08.01.2014 с горизонтом управления 1 год (до 30.12.2014), учитывая, что первый торговый день (08.01.2014) есть t_1 , $\Delta t = t_1 - t_0$. Тогда количество бумаг в портфеле $X_1(t_k)$ и $X_2(t_k)$ вычисляется по рекуррентно:

$$X_1(t_k) = X_1(t_{k-1}) + f_1(t_{k-1})\Delta t, X_2(t_k) = X_2(t_{k-1}) + f_2(t_{k-1})\Delta t, \Delta t = t_k - t_{k-1}. \quad (12)$$

Используя дельта-нормальный метод, оцениваем риск портфеля в разные дни этого периода и доходность управления портфелем. Таким образом, в результате использования стратегий (8)-(9), учитывая (11), при условии (10), для управления сформированным портфелем были получены следующие результаты:

- сходимость VaR портфеля к целевому уровню:

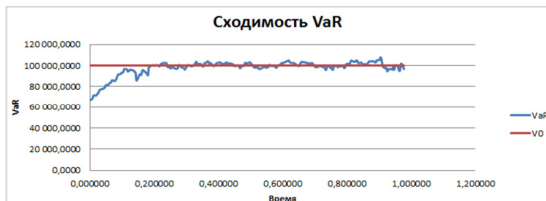


Рис.1 Сходимость VaR к заданному уровню риска

- доходность портфеля за период управления:



Рис.2 Доходность сформированного портфеля в период управления.

Таким образом, по результатам управления реальным портфелем ценных бумаг, подверженным рыночному риску и включающим безрисковый актив, можно сказать, что рассматриваемые стратегии управления самофинансируемым портфелем действительно задают множество стратегий таких, что риск составленного портфеля в среднем остается на заданном уровне.

Литература

1. Alexander C. Market Risk Analysis. Vol.4. Value-at-Risk Models. – John Wiley & Sons, Ltd 2008.- 449p.
2. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики. Т.1 Факты. Модели.- М.-ФАЗИС, 1998. – 512с.
3. Ширяев А. Н. Основы стохастической финансовой математики. Т.2. Теория. – М.-ФАЗИС, 1998. – 544с.
4. Оксендаль Б. Стохастические дифференциальные уравнения. Введения в теорию и приложения. 5-е издание, М.: МИР, 2003. – 406с.
5. Любу Ю.Д. Методы и алгоритмы финансовой математики. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 751с.

ON THE APPLICATION OF MANAGEMENT OF SELF-FINANCING PORTFOLIO WITH GIVEN DYNAMIC PROPERTIES

Pogosyan A.S.

Peoples' Friendship University of Russia, nura55590@mail.ru

In this paper we investigate the problem of application a real self-financing portfolio management strategies of given risk. These strategies have been received using methods of constructing system of stochastic differential equations with given integral manifold.

Key words: self-financing portfolio, management of portfolios with stochastic prices, stochastic differential equations, risk, yield.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Севастьянов Л.А., Васильев С.А., Блинов А.И.

Российский университет дружбы народов, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

В данной работе рассматриваются задачи математического моделирования сложных экономических систем с использованием нейронных сетей.

Ключевые слова: транспортная задача, математическое моделирование, динамика сложных систем, нейронные сети.

Решение задач математического моделирования сложных экономических систем на данном этапе представляет большую сложность по причине большого объема данных, которые приходится анализировать. Например, огромное количество возможных вариантов перевозок затрудняет получение достаточно экономного плана эмпирическим или экспертным путем. Применение математических методов и вычислительных в планировании перевозок дает большой экономический эффект. Транспортные задачи могут быть решены симплексным методом однако матрица системы ограничений транспортной задачи настолько своеобразна, что для ее решения разработаны специальные методы. Эти методы, как и симплексный метод, позволяют найти начальное опорное решение, а затем, улучшая его получить оптимальное решение, но этот подход требует больших затрат.

В данной работе на основе подробного анализа базовых методов численного моделирования транспортных задач [1] с использованием технологии нейронных сетей [2] для трубопроводных сетей и систем каналов с открытым руслом строится экономико-математическая модель с учетом затрат. Проведенный анализ показал, что этот подход является эффективным для решения широкого круга технических и технологических проблем проектирования, строительства и функционирования магистральных трубопроводных и канальных сетей. В рамках этого подхода удастся создать эффективный алгоритм минимизации затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию таких систем. Проведенный численный анализ показывает эффективность предложенного подхода.

Литература

1. Селезнев Б.Е., Аleshин В.В., Прялов С.Н. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов. Методы, модели, алгоритмы. – М., МАКСИРЕСС, 2007 г.
2. Rahman S.A., Ansari M.S., Moinuddin A.A. Solution of linear programming problems using a neural network with nonlinear feedback. Radioengineering, 2012, vol. 21, no. 4, p. 1171-1177.

COMPLEX ECONOMICAL SYSTEMS SIMULATION USING NEURAL NETWORKS

Sevastianov L.A., Vasilyev S.A., Blinov A.I.

Peoples' Friendship University of Russia, svasilyev@sci.pfu.edu.ru

Complex economical systems was studied using neural networks technology.

Key words: transportation problem, economical process simulation, dynamics of complicated systems, neural networks.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОРТФЕЛЕЙ ДОЛЕЙ КОМПАНИИ НА РЫНКАХ УСЛУГ

Слива Д.Е.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В докладе представлено решение задачи нахождения оптимальных рыночных долей компании на мировых региональных рынках услуг в условиях неопределенности. Относительная суммарная доля компании в мире определяется из балансового соотношения между вероятностными распределениями спроса на услуги компании в мире и производством услуг компаниями-конкурентами. Эффективный портфель долей компании на мировых региональных рынках под риском формируется из распределения относительной доли компании в мире, квот и ограничений снизу на региональных рынках. В докладе представлена схема формирования эффективных портфелей долей компании на мировых региональных рынках услуг и результаты оптимизации для различных входных параметров. Полученные численные результаты составов эффективных портфелей в динамике по годам вплоть до 2035 года демонстрируют устойчивость модели относительно возможных изменений значений входных параметров.

Ключевые слова: доли на региональных рынках, эффективные портфели, квоты, модели формирования эффективных портфелей, доли под риском, VaR-постановка, алгоритмы решения задач, численные результаты.

Модель прогнозирования оптимальных физических объемов компании на региональных рынках услуг, представленная далее, основывается на уже существующей VaR-модели формирования эффективных портфелей [1].

Для расчета прогнозных оптимальных долей компании на мировых региональных рынках услуг может быть использован системный подход, основанный на формировании эффективных портфелей. В рамках этого подхода совокупность долей компании на мировых региональных рынках рассматривается как портфель, и, тем самым, доли рассчитываются так, чтобы оптимизировать целевую функцию (критерий), характеризующий качество портфеля. В данной постановке в качестве критерия принимается мера риска, равная вероятности того, что объем компании на рынке будет меньше некоторого заданного значения.

Определим n – количество региональных рынков услуг, в которые распределяются поставки компании. Искомый портфель определяется вектором $\vec{x}_k^* = (x_{1k}^*, \dots, x_{nk}^*)^T$ долей компании на мировых региональных рынках в k – м году. Зная портфель компании, можно рассчитать $\vec{U}_k^* = (V_{1k} \cdot x_{1k}^*, \dots, V_{nk} \cdot x_{nk}^*)^T$ – вектор значений физических объемов компании на региональных рынках услуг, при ограничении $\sum_{j=1}^n V_{jk} \cdot x_{jk} = U_k^{OWN}$.

При расчете оптимальных портфелей долей используются следующие величины: U_k^{OTNER} – вероятностное распределение суммарного производства услуг компаниями-конкурентами в k – м году, ($k=1, \dots$).

V_{jk} – вероятностное распределение потребности в услугах на j -ом рынке ($j=1, \dots, n$) в k – м году ($k=1, \dots$).

U_k^{OWN} – мировой объем услуг компании в k – м году также представляет собой вероятностное распределение и рассчитывается как разность между мировой потребностью в услугах и производством услуг предприятиями-конкурентами компании в k – м году $k=1, \dots$,

β_{jk} – квоты для компании (на j – м рынке, $j=1, \dots, n$) ($0 \leq \beta_{jk} \leq 1$) в k – м году;

α_{jk} – гарантированный минимальный объем поставок компании на j -й рынок, ($j=1, \dots, n$) ($0 \leq \alpha_{jk} \leq \beta_{jk}$) в k -м году.

В качестве целевой функции принимается эффективность портфеля, под которой подразумевается суммарный объем поставок компании, и мера риска, означающая вероятность того, что объем поставок будет меньше заданного значения V_k^* .

Отсюда оптимизационная задача принимает вид:

$$\begin{aligned} p(V_k < V_k^*) &= p_{risk}, \\ V_k^* &- \max, \\ p_{risk} &- \min, \\ \alpha_{jk} &\leq x_{jk} \leq \beta_{jk}, \\ \sum_{j=1}^n \delta_{jk} \cdot x_{jk} &= \delta_k \end{aligned} \quad (1)$$

где $\delta_{jk} = \frac{V_{jk}}{\sum_{j=1}^n V_{jk}}$, δ_{jk} - доля j -го рынка по отношению ко всему мировому объёму спроса на услуги компании в k -м году, $V_k = \sum_{j=1}^n x_{jk} \cdot V_{jk}$, δ_k - доля компании на мировом рынке услуг в k -м году, p_{risk} - вероятность того, что $V_k = \sum_{j=1}^n x_{jk} \cdot V_{jk}$ как случайная величина примет значение меньше, чем V_k^* .

Одним из способов решения полученной двухкритериальной задачи является максимизация V_k^* при фиксированной вероятности p_{risk} [2-3].

Рассчитанные эффективные портфели долей компании на региональных рынках определяются характером распределений потребности в услугах компании на региональных рынках, характером распределений объемов производства компаний-конкурентов, задаваемыми квотами и ограничениями снизу.

Численные результаты оптимизации доли компании на рынке Западной Европы представлены на рисунке 1.

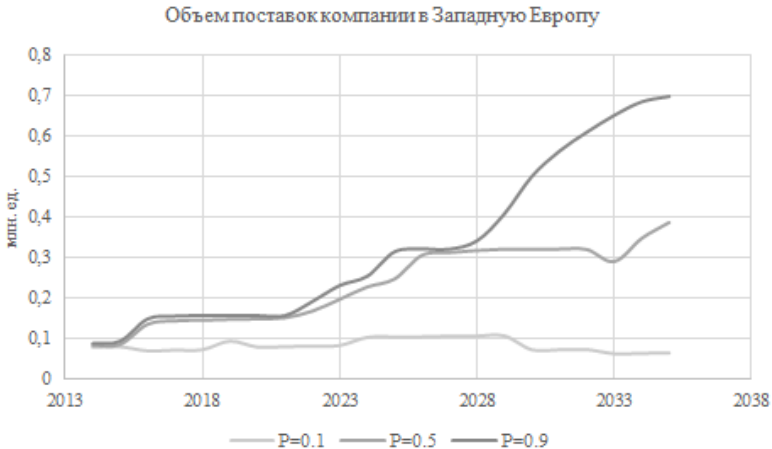


Рис. 1. Результаты оптимизации объемов поставок компании на рынок Западной Европы

Автор благодарит профессора НИЯУ «МИФИ» А.В. Крянева за постановку и доцента НИЯУ «МИФИ» С.Г. Климанова за помощь в численной реализации рассмотренных в докладе задач.

Литература

1. *Markowitz H.M.* Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments, New York: John Wiley, 1959.
2. *Крянев А.В., Лукин Г.В., Удумян Д.К.* Метрический анализ и методы обработки данных. М.: Наука, 2012.
3. *Крянев А.В., Лукин Г.В.* О постановке и решении задач оптимизации инвестиционных портфелей. М.: Препринт МИФИ 006-2001, 2001

EFFECTIVE PORTFOLIO FORMATION OF REGIONAL MARKET SHARES OF A COMPANY

Sliva D.E.

National research nuclear university "MEPhI"

In the report a solution to the problem of finding the optimal regional shares of a company is presented. Relative total world company share is defined from a balance parity between probability distributions of demand the world and the total supply of other market participants. The effective portfolio of company shares in the world regional markets under risk is calculated given distribution of company's relative world share, regional market quotas and lower bounds. In current report the solution procedure of company shares effective portfolios formation in world regional markets and the results of optimization for various input parameters are presented. The attained numerical results of structures of effective portfolios in development in years up to 2035 display stability of the model with regard to possible changes of values of input parameters.

Keywords: shares of regional markets, effective portfolios, quotas, effective portfolio formation models, shares at risk, VaR-approach, problem-solving algorithms, numerical results.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СПЕКТРА И ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ (ТППП) ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Та Тху Чанг, Хасанов И.Ш., Никитин А.К.

Российский университет дружбы народов, tranghvt2001@yahoo.com

Установлено, что спектр ТППП смещён относительно спектра АЧТ в сторону более низких частот, а энергия всего ансамбля ТППП пропорциональна T^3 , а не T^2 .

Ключевые слова: поверхностные плазмон-поляритоны, тепловое излучение, статистика Бозе-Эйнштейна, эванесцентные волны, оптические информационные технологии

Введение

С точки зрения квантовой механики поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) представляют собой квазичастицы, связанные с распространением комплекса механической волны свободных зарядов на проводящей поверхности и p -поляризованной эванесцентной электромагнитной волны [1].

Генерация ППП возможна не только падающей на поверхность плоской электромагнитной волной, но и оптическими фононами (квантами тепловых колебаний ионов кристаллической решётки) металлического образца [2]. Термостимулированные ППП (ТППП) играют важную роль в тепловом балансе изделий из металла, поскольку не только забирают на себя существенную часть тепловой энергии объекта, но и дают значительный вклад в его тепловое излучение в областях нарушения трансляционной симметрии поверхности. Кроме того, излучение ТППП может быть эффективно использовано в пассивной спектроскопии проводящей поверхности, ввиду макроскопической длины распространения ИК ТППП ($\sim 10^3$ длин волн) и концентрации их поля в приповерхностной области.

На сегодняшний день хорошо разработана теория ТППП для полупроводниковых кристаллов [2, 3]. Получена и аналитическая модель спектра ТППП, генерируемых на поверхности металлов, диэлектрическая проницаемость которых описывается моделью Друде (особенно хорошо в ИК диапазоне) [4]. Однако до настоящего времени не исследована температурная зависимость спектра ТППП на металле, не выполнено сравнение этого спектра со спектром излучения абсолютно чёрного тела (АЧТ), не изучена зависимость энергии всей совокупности ТППП от температуры. Восполнению этих пробелов и посвящён данный доклад.

Модели спектра и полной энергии ТППП

Модель кристалла металла можно представить как совокупность гармонических осцилляторов, соответствующих упругим волнам, квантами которых являются фононы. Фононы относятся к классу бозонов и описываются статистикой Бозе-Эйнштейна. Поскольку ТППП порождаются фононами, то всю совокупность ТППП (различающихся частотами ω) можно представить как двумерный Бозе-газ, подчиняющийся этой статистике. Если такой "газ" распределен по поверхности площадки, сторона которой значительно меньше длины распространения ППП, но больше длины волны ППП, то на границе площадки "газ", как и АЧТ, будет иметь планковский спектр.

АЧТ же замечательно тем, что спектр его излучения определяется только его температурой. В случае ТППП, такое АЧТ представляет собой непрозрачную замкнутую двумерную квадратную "полость" с проводящими стенками размера L и одинаковой температурой T . В случае установившегося теплового равновесия внутри "полости" могут распространяться волны в двух ортогональных стенкам направлениях. Длина их волны определяется выражением:

$$\lambda_{n_i} = 2L/n_i, \quad (1)$$

где n_i – целые числа, равные числу полупериодов волн, укладывающихся на расстоянии L , i – индекс направления распространения волны (в случае ТППП $i=1, 2$).

Энергия поля может быть представлена как сумма энергий соответствующих полевых осцилляторов. Как известно из квантовой механики, энергия линейного осциллятора принимает дискретные значения, описываемые формулой [5]:

$$E_r = (r + 1/2) \cdot \hbar \omega, \quad (2)$$

где r – целые (квантовые) числа; ω – циклическая частота.

Для каждого набора чисел n_i существует два линейно-независимых решения (моды), соответствующих двум поляризациям фотона. Так как поле ППП имеет p -поляризацию (соответствующую ТМ-моду), при которой вектор электрического поля лежит в плоскости перпендикулярной к поверхности образца, то решение, соответствующее s -поляризации учитывать не будем. Квантовое же число r можно интерпретировать, как число квантов электромагнитного поля в моде. Тогда энергия поля r -й ТМ- моды:

$$E_r = (r + 1/2) \cdot \frac{\pi \hbar c}{L} \cdot \sqrt{n_1^2 + n_2^2}. \quad (3)$$

Но, согласно статистике Бозе-Эйнштейна, средняя энергия поля каждой моды относительно основного состояния определяется выражением [6]:

$$\langle E \rangle = \frac{\varepsilon}{\exp(\beta \cdot \varepsilon) - 1}, \quad (4)$$

где $\varepsilon = \pi \cdot \hbar \cdot V_{zp} \cdot \sqrt{n_1^2 + n_2^2} / L$ – энергия одного кванта поля ТППП; V_{zp} – групповая скорость ТППП, зависящая от свойств металла и частоты ω ; $\beta = 1/(k_B \cdot T)$; k_B – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура поверхности образца.

При $L \rightarrow \infty$ ε становится непрерывной, и можно интегрировать $\langle E \rangle$ по этому параметру. Т.о., чтобы рассчитать энергию поля, необходимо оценить число однофотонных состояний в данном интервале значений энергии. Полное число однофотонных состояний с энергиями от ε до $\varepsilon + d\varepsilon$ равно $g(\varepsilon)d\varepsilon$, где $g(\varepsilon)$ – плотность состояний, определяемая как:

$$g(\varepsilon)d\varepsilon = \frac{1}{4} \cdot 2\pi \cdot \sqrt{n_1^2 + n_2^2} dn = \frac{L^2}{\pi \cdot \hbar^2 \cdot c^2} \cdot \varepsilon d\varepsilon. \quad (5)$$

Тогда полную энергию U всей совокупности ТППП можно рассчитать как:

$$U = \int_0^{\varepsilon_p} \frac{\varepsilon}{\exp(\beta \cdot \varepsilon) - 1} \cdot g(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (6)$$

где ε_p – энергия кванта поля ТППП с плазменной частотой металла.

Подставив (5) в (6), получим окончательное выражение для расчёта величины U :

$$U = \frac{L^2}{2\pi \cdot \hbar^2 \cdot V_{zp}^2} \cdot \int_0^{\varepsilon_p} \frac{\varepsilon^2}{\exp(\beta \cdot \varepsilon) - 1} d\varepsilon. \quad (7)$$

Учитывая, что энергия ТППП, приходящаяся на единицу площади "полости" равна:

$$u = \frac{U}{L^2} = \int_0^{\varepsilon_p} u_{\omega} d\omega, \quad (8)$$

из (7) получим выражение для оценки спектральной плотности u_{ω} энергии ТППП:

$$u_{\omega}(T) = \frac{U}{L^2} = \frac{\hbar \cdot \omega^2}{2\pi \cdot V_{zp}^2} \cdot \frac{1}{\exp(\hbar\omega/k_B T) - 1} \quad (9)$$

Выражение (9) позволяет рассчитать спектр излучения ТППП при определённой температуре T образца, находящегося в тепловом равновесии с окружающей средой. В частности, компьютерное моделирование позволило нам установить, что спектр ТППП смещён относительно спектра АЧТ в сторону более низких частот.

Проинтегрировав (8), можно убедиться, что энергия всего ансамбля ТППП внутри двумерной "полости" зависит от T следующим образом:

$$u \approx \frac{p(\omega_p) \cdot \pi \cdot (k_B \cdot T)^3}{(\hbar \cdot V_{zp})^2}, \quad (10)$$

$p(\omega_p)$ - коэффициент интегрирования, зависящий от величины плазменной частоты ω_p .

Из (10) следует, что энергия всего ансамбля ТППП пропорциональна T^3 , а не T^4 как в случае трёхмерного излучателя (АЧТ).

Выводы

Таким образом, в данной работе получена аналитическая модель спектра термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов (ТППП) и установлено, что полная энергия всего ансамбля ТППП пропорциональна кубу температуры, а не её четвертой степени, как энергия излучения абсолютно чёрного тела.

Литература

1. Maier S.A. Plasmonics: Fundamentals and Applications // Springer Science + Business Media LLC, 2007. - Pp. 89-106.
2. Виноградов Е.А., Дорофеев И.А. Термостимулированные электромагнитные поля твёрдых тел // УФН, 2009. - Т. 179. - № 5. - Сс. 449-485.
3. Širmulis E., Šilenas A., Požela K., et al. Thermally stimulated terahertz radiation of plasmon-phonon polaritons in GaAs // Applied Physics (A). - 2014. - V. 115. - Pp. 199-202.
4. Минаков Д.А., Селиванов В. Н., Зон В.Б. и др. Тепловое излучение при срыве поверхностной волны вблизи края медной пластины // Конденсированные среды и межфазные переходы. 2006, т.8, №6, с.131-136. - 2006. - Т. 8. - № 2. - Pp. 131-136.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). - 4-е изд., испр. - М.: Наука, 1989. - 768 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1. - М.: Наука, 1976. - 584 с.

ANALYTICAL MODEL OF THE THERMALLY STIMULATED SURFACE PLASMON-POLARITONS (TSPP) SPECTRUM AND DEPENDENCE OF THEIR TOTAL ENERGY ON TEMPERATURE

Ta Thu Chang, Khasanov I. Sh., Nikitin A. K.

Peoples' Friendship University of Russia, email@mail.com

It is stated that TSPP spectrum is displaced to the lower frequencies as compared with the black body spectrum, while total energy of the whole TSPP ensemble is proportional to T^3 , but not to T^4 as it is correct for a three-dimensional black-body radiator.

Key words: surface plasmon-polaritons, heat radiation, Bose-Einstein statistics, evanescent waves, optical information techniques.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ЭКОНОМИК СТРАН – УЧАСТНИЦ ЕАЭС МЕТОДАМИ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Хлопин Д. А

Финансовый Университет при Правительстве РФ, denishlopin@yandex.ru

Исследование взаимосвязи экономик постсоветского пространства является одной из наиболее приоритетных задач внешней политики. В этой статье взаимодействие изучается при помощи модели коррекции ошибок. В качестве объекта исследования были использованы показатели ВВП России, Белоруссии и Казахстана. Вся статистика была предоставлена Евразийской экономической комиссией.

Ключевые слова: Евразийский экономический союз; коинтеграция; тест Йохансена; модель коррекции ошибок.

Введение

На фоне процесса мировой глобализации не стоит забывать об интеграции стран, экономики которых связаны исторически. Для множества стран подобная задача является одной из наиболее приоритетных и занимает особое место при разработке внешней политики.

В данной статье рассматриваются только страны, входящие в Евразийское экономическое сообщество. В центре внимания участников находится создание между ними единого экономического пространства, предполагающего свободу передвижения рабочей силы, свободу движения услуг, свободу движения капитала, свободу движения товаров, а также согласованную экономическую политику.

На сегодняшний день многое уже достигнуто. Так создание Таможенного союза стало гарантом свободного передвижения товаров между странами.

Одной из наиболее актуальных проблем в рамках интеграции является анализ взаимовлияния экономик стран – участниц.

Одним из методов изучения подобной проблемы является применение моделей коррекции ошибок (*Error correction model – ECM*).

Построение модели

Тест Йохансена

Показатели ВВП стран России, Белоруссии и Казахстана представляют собой интегрированные ряды первого порядка. Интегрированный временной ряд является нестационарным временным рядом, разности некоторого порядка от которого являются стационарным временным рядом. Такие ряды также называют разностно-стационарными.

Одним из важнейших моментов построения модели коррекции ошибок, является определение ранга коинтеграции. Для решения подобных задач можно применить тест Йохансена.

Для интегрированных рядов первого порядка u_{1t}, \dots, u_{Nt} ранг может принимать значения от 0 до N:

- значения $r=1, \dots, N-1$ соответствуют коинтегрированной VAR;
- если $r=0$, то ряды u_{1t}, \dots, u_{Nt} не коинтегрированы;
- если $r=N$, то ряды u_{1t}, \dots, u_{Nt} стационарны.

Полученное значение ранга показывает количество коинтеграционных соотношений между исследуемыми переменными. Тест Йохансена, используя информационные критерии Шварца и Акаике, позволяет не только определить ранг коинтеграции, но и определить вид соответствующий вид соотношений..

В качестве статистики использовались показатели ВВП в постоянных ценах России, Белоруссии и Казахстана с первого квартала 2000 года по четвертый квартал 2012.

Большая часть данных была взята с сайтов государственных статистических комитетов стран: для России - <http://www.gks.ru/>, для Казахстана - <http://www.stat.kz>. Данные за последний год были предоставлены Евразийской экономической комиссией (ЕЭК). Вся статистика по Белоруссии также была предоставлена ЕЭК.

По полученным результатам можно сделать вывод, что в исходных данных имеет место линейный тренд. В коинтеграционном соотношении будет присутствовать как свободный член, так и линейный тренд. Однако критерии разошлись в вопросе о значении ранга коинтеграции (Акаике: $r=2$, Шварц: $r=1$). В подобных случаях стоит принимать результаты критерия Шварца.

В связи с этим можно сказать, что для показателей ВВП России, Казахстана и Белоруссии имеет место следующее свойство: несмотря на случайный (слабо предсказуемый) характер изменения отдельных переменных, существует долгосрочная зависимость между ними, которая приводит к некоторому совместному, взаимосвязанному изменению.

Коинтеграционный вектор имеет следующий вид:

Таблица 1. Коинтеграционный вектор до нормировки

| RF | RB | KZ | @TREND |
|----------|-----------|-----------|----------|
| 0.001339 | -0.000956 | -0.063340 | 0.219187 |

Константа для коинтеграционного соотношения приняла значение 3421.339.

После нормировки вектора на первую компоненту можно представить долговременное соотношение между переменными в форме:

$$RF_t = 0.714 * RB_t + 47.298 * KZ_t - 163.676 * trend + 3421.339.$$

Построение VECM

Для ECM- модели краткосрочная динамика корректируется в зависимости от отклонения от долгосрочной зависимости между переменными. Механизм коррекции ошибок обеспечивает выполнение долгосрочной зависимости между переменными.

Структурный вид модели, оцененной при помощи Двухшагового МНК с подбором соответствующих инструментов для каждого из уравнений, выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta RF_t = 0,11 * ecm_t + 0,18 * \Delta RF_{t-1} + 8,78 * \Delta KZ_t + 25,63 BC_t - 18,38 * AC_t + u_t; \\ \Delta KZ_t = 0,027 * ecm_t + 0,02 * \Delta RF_t + 0,036 \Delta RB_{t-1} + 1,43 BC_t - 0,63 * AC_t + w_t; \\ \Delta RB_t = 0,76 * ecm_t + 0,55 * \Delta RF_{t-1} + 10,11 * \Delta KZ_{t-1} + 18,92 BC_t - 58,58 * AC_t + 148,6 * AC''_t + z_t; \\ ecm_t = RF_{t-1} - 47,3 * KZ_{t-1} - 0,71 * RB_{t-1} + 163,68 * trend + 3421,339 \end{cases}$$

Для этой модели BC_t – индикатор, определяющий свободный член для периода с 2000 года по 2007 год, AC_t – индикатор, определяющий влияние кризиса 2008 года, AC''_t – индикатор, отражающий влияние гиперинфляции в Белоруссии с 2011 года по 2012 год.

После проведения ряда тестов и получения прогноза модель была признана адекватной:

Таблица 2. 2σ – прогнозный интервал

| Россия | Казахстан | Белоруссия |
|---|-----------|------------|
| Проверка равенства нулю математического ожидания | | |
| -1.16e-15 | -2.22e-15 | -1.24e-14 |
| Проверка постоянства дисперсии при помощи теста Уайта (Nocrossterms) | | |
| 0,0694 | 0,1576 | 0,1592 |
| Проверка отсутствия автокорреляции остатков при помощи теста Бройдша – Годфри (2) | | |
| 0,0578 | 0,1337 | 0,1973 |

Таблица 3. Проверка предпосылок теоремы Гаусса – Маркова

| Россия | Казахстан | Белоруссия |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Прогноз | | |
| Прогноз: 205,98 (-5,52; 417,48) | Прогноз: 19,76 (6,42;33,1) | Прогноз: -28,4034 (-335,08;278,28) |

Выводы

При помощи процедуры теста Йохансена была выявлена стабильная долгосрочная взаимосвязь между изучаемыми экономиками. На основании этой связи, с использованием ВЕСмодели был получен и специфицирован вид краткосрочной динамики.

Список литературы

1. В.П. Носко Эконометрика. Кн. 1,2. Ч. 1,2: учебник – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2011.
2. Трегуб И. В. Математические модели динамики экономических систем (монография). – М.: Финакадемия, 2009.
3. *Bruno Tissot, DrVincent Koen, Nicolas Carnot* “EconomicForecastingandPolicy”//PalgraveMacmillanstudiesinbankingandfinancialinstitutions – 2011.

THE INTERCONNECTION’S RESEARCH FOR THE EEU COUNTRIES BASED ON ECONOMETRIC MODELLING

Khlopin D. A.

*Financial University under the Government of The Russian Federation,
denishlopin@yandex.ru*

The Interconnection’s research of the economies of post-soviet space is one of the most foreground objectives of the foreign policy. In this article, the interconnection survey was performed through the error correction model. The object of the research was presented by GDP indicators of Russia, Byelorussia and Kazakhstan. The data was provided by the Eurasian Economic Commission.

Keywords: Eurasian economic union; cointegration; johansen’s test; error correction model.

НАХОЖДЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ ЛИНЗЫ ЛЮНЕБЕРГА ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Шарапова А.А.

Российский университет дружбы народов, ashapovarudn@gmail.com

Рассматривается способ нахождения коэффициента преломления для линзы Люнеберга с произвольными параметрами, такими как фокусное расстояние и толщина не фокусирующего слоя. Приводятся решения для конкретных параметров.

Ключевые слова: оптика, линза Люнеберга

Введение

Классическая линза Люнеберга представляет собой сферу, обладающую свойством идеальной фокусировки параллельного пучка лучей, падающего из бесконечности в точку на ее поверхности. Формула распределения коэффициента преломления данной линзы представляет собой частный случай более общей формулы, позволяющей найти коэффициент преломления для любого фокусного расстояния и любой толщины внешнего не фокусирующего слоя. Единственным требованием является использование полной апертуры линзы.

Существует небольшое количество аналитических решений для нестандартных линз. Это объясняется как малой распространенностью таких линз, так и относительной сложностью нахождения самих аналитических решений. В этой связи может встать задача нахождения численного решения для коэффициента преломления для заданных параметров.

В основе данной работы лежит статья С. П. Моргана для линз с двумя внешними фокусами [1]. В дальнейшем на основе решения Моргана было найдено решение для линзы с неполной апертурой [2].

Нахождение общей формулы распределения коэффициента преломления

Рассмотрим обобщенный закон Снеллиуса [1]:

$$nr \sin(\varphi) = k, \quad (1)$$

здесь n — коэффициент преломления, r — радиус — вектор, φ — угол между положительным направлением луча и положительным направлением радиус-вектора, и k — определенная константа для каждого конкретного луча.

Воспользовавшись соотношением, связывающим угол φ и полярные координаты, получим следующее уравнение:

$$\frac{n(r)r^2 d\theta/dr}{(1 + (rd\theta/dr)^2)^{1/2}} = -k. \quad (2)$$

Решая (2) уравнение для $d\theta/dr$ и интегрируя, получим:

$$\theta - \theta_0 = \pm \int_{r_0}^r \frac{kdr}{r(n^2r^2 - k^2)^{1/2}}. \quad (3)$$

Теперь рассмотрим сферическую линзу с двумя внешними фокусами и радиусом $r = 1$. Во внешней среде коэффициент преломления равен единице. В линзе коэффициент преломления зависит от расстояния до ее центра. Пусть полюс полярных координат расположен в центре линзы. Точка, из которой выходит луч, имеет

координаты (r_0, π) и после преломления в линзе попадает в точку (r_1, π) . Пусть существует некий внешний слой, не играющий роли фокусирующей части линзы. Обозначим через a радиус фокусирующей части линзы.

Точку, в которой расстояние от полюса максимально или минимально, назовем «точкой поворота» и будем обозначать (r^*, θ^*) .

Введем также обозначение

$$\rho(r) = rn(r) \quad (4)$$

для фокусирующей части линзы и

$$P(r) = rn(r) \quad (5)$$

для не фокусирующей части линзы.

Координата r^* является корнем уравнения $\rho(r) - |k| = 0$. Значение θ^* можно найти, положив r^* верхним пределом в (3).

Подставляем начальные и конечные координаты в (3):

$$0 - \pi = \int_{r_0}^{r^*} \frac{kdr}{r(\rho^2 - k^2)^{1/2}} - \int_{r^*}^{r_1} \frac{kdr}{r(\rho^2 - k^2)^{1/2}}. \quad (6)$$

Возьмем часть этих интегралов снаружи линзы. Получим:

$$\int_{r^*}^1 \frac{kdr}{r(\rho^2 - k^2)^{1/2}} = f(k), \quad (7)$$

где

$$f(k) = 1/2(\arcsin\left(\frac{k}{r_0}\right) + \arcsin\left(\frac{k}{r_1}\right) + 2 \arccos(k)). \quad (8)$$

Если известна функция $P(r)$, уравнение (7) можно записать в следующем виде:

$$\int_{r^*}^a \frac{kdr}{r(\rho^2 - k^2)^{1/2}} = f(k) - F(k), \quad (9)$$

где $F(k)$ определяется по формуле:

$$F(k) = \int_a^1 \frac{kdr}{r(P^2 - k^2)^{1/2}}. \quad (10)$$

Сделаем замену:

$$\ln r = -g(\rho). \quad (11)$$

Получим

$$\int_1^k \frac{kg'(\rho)d\rho}{(\rho^2 - k^2)^{1/2}} = f(k) - F(k). \quad (12)$$

Сделаем замену переменных и домножив на $\frac{dk}{(k^2 - \rho^2)^{1/2}}$, проинтегрировав полученное выражение по k от ρ до 1, а затем, перейдя обратно к $r(\rho)$, получим:

$$\ln\left(\frac{\alpha}{r}\right) = 2/\pi \int_{\rho}^1 \frac{f(k)dk}{(k^2 - \rho^2)^{1/2}} - 2/\pi \int_{\rho}^1 \frac{F(k)dk}{(k^2 - \rho^2)^{1/2}}. \quad (13)$$

Введем функцию

$$\omega(\rho, s) = 1/\pi \int_{\rho}^1 \frac{\arcsin(k/s) dk}{(k^2 - \rho^2)^{1/2}}. \quad (14)$$

Совместив (8) и (14) получим

$$\frac{2}{\pi} \int_{\rho}^1 \frac{f(k)dk}{(k^2 - \rho^2)^{1/2}} = \omega(\rho, r_0) + \omega(\rho, r_1) - \ln \rho. \quad (15)$$

Из (10) определим функцию

$$\Omega(\rho) = 2/\pi \int_{\rho}^1 \frac{F(k)dk}{(k^2 - \rho^2)^{1/2}}. \quad (16)$$

Подставив (15), (16) в (13), получаем общее параметрическое уравнение для $n(r)$:

$$n(r) = \frac{1}{\alpha} \exp(\omega(\rho, r_0) + \omega(\rho, r_1) - \Omega(\rho)), \quad (17)$$

где ρ пробегает от 0 до 1.

При условии, что $P(r)$ известно, можно найти численные значения для любых параметров.

Выводы

В работе рассмотрено нахождение формулы для распределения коэффициента преломления для линзы Лунеберга с произвольными параметрами, такими как фокусное расстояние и толщина внешнего не фокусирующего слоя. Приведены некоторые аналитические и численные решения.

Литература

1. *Morgan S.P.* General solution of the Luneburg lens problem // Journal of applied physics . – Vol. 29. – Sept. 1958. – Pp.1358-1368.
2. *Doric S.* General solution of non-full-aperture Luneburg lens problem //The Journal of the Optical Society of America. – Vol. 72 – Aug. 1983. – Pp. 1083-1086

DETERMINATION OF THE REFRACTIVE INDEX FOR LUNEBERG LENS OF ARBITRARY CONFIGURATION

Sharapova A.A.

People's Friendship University of Russia, asharapovarudn@gmail.com

In this paper we consider a method to find a generalized formulation of a refractive index in a Luneberg lens. With this method it is possible to find a refractive index for lens with arbitrary focal length and thickness of the outer shell. Results of the calculations are presented.

Key words: optics, Luneberg lens.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛА ТИХОНОВА

Ягнов Н.К.

Российский университет дружбы народов, nyagnov@gmail.com

В работе рассматривается метод нахождения численного решения интегрального уравнения Фредгольма первого рода, возникающего при операции восстановления функции распределения по энергии электронов по спектру тормозного излучения. Получено численное решение с использованием функционала Тихонова со стабилизатором первого порядка.

Ключевые слова – регуляризация, интегральное уравнение, минимизация функционала, высокотемпературная плазма.

1. Введение

Функция распределения плазменно-электронной энергии $f(\varepsilon)$ является одной из основных характеристик высокотемпературной плазмы. Она может быть определена по экспериментально измеряемому спектру тормозного излучения $N(E_0)$. Для этого необходимо решить интегральное уравнение Фредгольма первого рода в форме

$$\int_a^b H(E_0, \varepsilon) f(\varepsilon) d\varepsilon = N(E_0). \quad (1)$$

Известно, что решение такой задачи влечет за собой значительные трудности в связи с отсутствием непрерывной зависимости решения от правой части $N(E_0)$. Малым изменениям $N(E_0)$ могут соответствовать сколь угодно большие изменения решения. Поскольку экспериментально полученные значения $N(E_0)$ содержат погрешность измерений, то возникает трудность определения функции распределения электронов $f(\varepsilon)$ с тормозным спектром $N(E_0)$ [1].

Для решения этой проблемы используется устойчивый метод решения интегральных уравнений первого рода (метод регуляризации), в котором малым изменениям правой части $N(E_0)$ соответствуют малые изменения искомой функции $f(\varepsilon)$ [2]. Благодаря применению этого метода к анализу спектра тормозного излучения электронов плазмы, нагретого электронно-циклотронным резонансом в стационарной адиабатической ловушке, мы можем определить функцию распределения $f(\varepsilon)$.

2. Постановка задачи

Запишем уравнение (1) в виде

$$Hf = N. \quad (2)$$

Рассмотрим нашу задачу на примере некоторой заранее известной функции распределения f_T . Зная это точное значение функции, можем найти правую часть N . Затем, чтобы приблизить нашу модельную задачу к реальной, внесем погрешность в правую часть, получим N^δ .

$$\|N - N^\delta\| = \delta \quad (3)$$

Приближенное решение уравнения некорректно поставленной задачи в случае, когда правая часть уравнения известна приближенно, то есть когда вместо функции N , известна функция N^δ будем искать в виде экстремали функционала Тихонова

$$M^\alpha[x] = \|Hx - N^\delta\|^2 + \alpha \|x'\|^2, \alpha > 0 \quad (4)$$

со стабилизатором первого порядка $\alpha \|x'\|^2$, где α – параметр регуляризации, который может быть найден из условия невязки

$$\|Hx_\alpha - N^\delta\| = \delta^2. \quad (5)$$

3. Решение задачи

Для решения данной задачи использовались различные методы минимизации функционала. Сравним два метода решения задачи.

Одним из методов нахождения минимума функционала

$$M^{\alpha} \rightarrow \min \quad (6)$$

является метод случайного поиска [3].

Основой этого метода служит итерационный процесс

$$x^{[i+1]} = x^{[i]} + \gamma_k \varepsilon, \quad i = 0, 1, \dots, \quad (7)$$

где $\gamma_k > 0$ – величина шага, $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$ – некоторая реализация n -мерного случайного нормированного вектора ε .

Будем считать, что координаты вектора ε – это независимые случайные величины, равномерно распределенные на отрезке $[-1, 1]$.

Для решения данной задачи в качестве начального приближения была выбрана нуль функция $x^0 = 0$, т.е. $x^0 = (0, 0, \dots, 0)$. В качестве шага γ_k бралась небольшая постоянная величина. С уменьшением шага γ_k , точность решения значительно улучшается, но появляется необходимость увеличения количества итераций. При выборе достаточного малого шага γ_k найденное решение будет удовлетворительным. На рис. 1 видно, что найденная функция x (II) почти полностью совпадает с точной функцией f_T (I). Но есть небольшое отличие функций на концах.

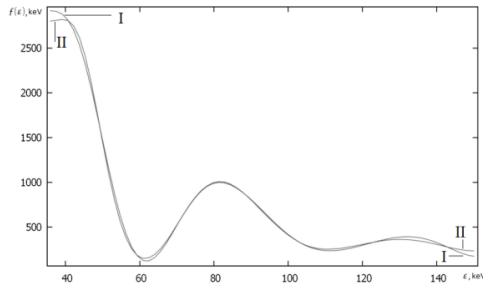


Рис. 1. Сравнение полученного решения x методом случайного поиска с точным f_T

Другим методом минимизации функционала Тихонова является алгоритм Хука-Дживса [3]. Этот алгоритм содержит две основные процедуры. Первая – это исследующий покоординатный поиск в окрестности данной точки, предназначенный для определения направления убывания функционала. Вторая процедура – перемещение в направлении убывания. Так как далее будут сравниваться оба метода минимизации, в качестве начального приближения снова возьмем нуль функцию $x^0 = 0$. Точность найденной функции в алгоритме Хука-Дживса сильно зависит от исследующего покоординатного поиска, т.е. от значения шага по каждой координате, а так же, и от параметра перемещения в направлении убывания. При достаточно малых значениях этих параметров, найденная функция x (III) почти полностью совпадает с точной функцией f_T (IV), так же как и в методе случайного поиска.

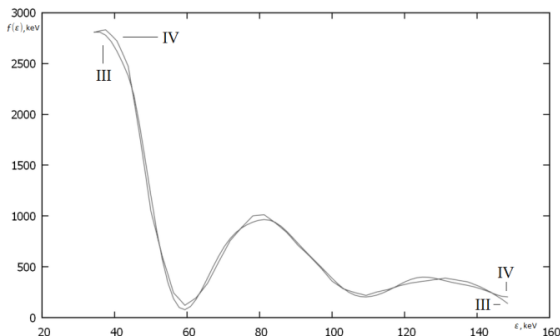


Рис. 2. Сравнение полученного решения x методом Хука-Дживса с точным f_T

4. Выводы

Как показывают результаты численного эксперимента по восстановлению функции распределения электронов в ситуации, близкой к реальной, приближенные решения, полученные с помощью метода случайного поиска и алгоритма Хука-Дживса дают удовлетворительный результат. Но скорость нахождения решения (из-за количества итераций) для получения удовлетворительного результата отличается. Для численного решения задачи на ЭВМ использование алгоритма Хука-Дживса более целесообразно, так как скорость алгоритма заметно выше, чем в методе случайного поиска. В дальнейших исследованиях будем повышать порядок стабилизатора Тихонова, для получения более точного решения на концах.

Литература

1. A.N. Tikhonov, V.V. Alikhaev, V.Ya. Asenin. Determination of the distribution function of plasma electrons from the bremsstrahlung spectrum, Soviet Physics Jеpt, 1969
2. A.H. Тихонов, В.Я. Арсенин. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979
3. В.В. Лесин, Ю.П. Лисовецч. Основы методов оптимизации. М.: Лань, 2011, с. 99
4. MaryGeorge L. Whitney. Theoretical and Numerical study of Tikhonov's Regularization and Morozov's Discrepancy Principle, Georgia State University, 2009

SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION FUNCTION OF PLASMA ELECTRONS BY THE MINIMIZATION OF TIKHONOV FUNCTIONAL

Yagnov N.K.

Peoples' Friendship University of Russia, nyagnov@gmail.com

In this paper methods of finding the numerical solution of Fredholm integral equation of the first kind, that occurs during a restoring operation of the energy distribution function of electron bremsstrahlung spectrum are considered. The numerical solution was obtained using Tikhonov functional with the stabilizer of the first kind.

Keywords: regularization, integral equation, the minimization of the functional, high-temperature plasma.

Авторский указатель**А**

Абаев П. О. 62, 65
Абрамов Н. С. 119, 122
Агаларханов Б. А. 67
Агеев К. А. 99
Адам Г. 187
Александров Е. И. 192
Аль-Натор М. С. 210, 216
Аль-Натор С. В. 210, 213
Амирханов И. В. 219, 222
Андреев С. Д. 35, 70, 88, 96, 105
Андрейчук А. А. 125
Антонова В. М. 73
Ахулу Ф. 33

Б

Бегишев В. О. 110
Беляков Д. В. 187
Берсенев Г. Б. 76
Бесчастный В. А. 62
Блинов А. И. 313
Болотова Г. О. 235
Бородакий В. Ю. 9
Бочкарев В. В. 225
Будочкина С. А. 228
Бужин И. Г. 103
Бутурлин И. А. 79
Буурулдай А. Э. 230

В

Вальда Васкес Л. 232
Вальова Л. 190
Валя М. 187
Васильев И. Ю. 85
Васильев С. А. 235, 236, 238, 313
Велиева Т. Р. 239, 279
Вельможный Д. Э. 242
Вихрова О. Г. 116
Вишневский В. М. 82
Власкина А. С. 15

Г

Гайдамака Ю. В. 85, 96, 99
Галактионов В. В. 190
Гашев Д. В. 105
Геворкян М. Н. 245
Герасимов А. А. 249
Гие Душ Рамуш Р. Д. 33
Голубь Д. С. 190
Горбунова А. В. 12
Гудкова И. А. 9, 15, 30, 70, 88
Гурков С. А. 88

Гусейнов Ф. И. 21

Д

Дашицыренов Г. Д. 252
Демидова А. В. 255
Денисович А. П. 259
Дзантиев И. Л. 105
Диваков Д. В. 263
Дикова Е. В. 199, 205
Дорт-Гольц А. А. 91
Дружинина О. В. 255, 265

Е

Егоров А. Д. 245
Ермакова Т. Н. 128
Ершов Н. М. 202
Ефрина Е. Г. 269
Ефимов В. И. 18

Ж

Жавнис Р. С. 35
Жантемирова А. Ш. 131

З

Заикина Т. Н. 190
Занг Н. Т. 134
Зарипова Э. Р. 65
Зарядов И. С. 12, 59
Земляная Е. В. 192
Змеев Д. О. 170
Зорин А. В. 272
Зрелов П. В. 187
Зуев М. И. 192

И

Ибрагимов Б. Г. 21
Игонина Е. В. 275
Илюкович-Страковская А. М. 137
Исаев А. А. 140
Исхоков Д. С. 65

К

Казёнова Н. С. 143
Калинина К. А. 24
Камнев А. В. 279
Канзитдинов С. К. 236
Касимов Ю. Ф. 283
Киракосян М. Х. 190
Климанов С. Г. 286
Ковальчуков Р. Н. 110
Козлова М. И. 158

Коновалов М. Г. 94
 Кореньков В. В. 187
 Королькова А. В. 269, 279
 Коротков С. В. 35
 Коршок Е. О. 236
 Крянев А. В. 225, 286
 Кузив Я. Ю. 289
 Кузнецов Е. А. 146
 Кулябов Д. С. 245, 269, 279
 Куранцов О. В. 199
 Кутбитдинов С. Ш. 27
 Кучерявый Е. А. 96

Л

Ларионов А. А. 82
 Лохмотко В. В. 27
 Любин П. Г. 292, 294
 Люлько О. Ю. 149
 Люляева Д. Д. 152

М

Магамадов Р. С. 85
 Мальцева Т. А. 213, 283
 Малютин В. Б. 269
 Малютина Т. В. 155
 Мариняк Б. В. 296
 Марков П. Н. 298
 Маркова Е. В. 30
 Мартикайнен О. Е. 38
 Масина О. Н. 255, 265
 Масловская Н. Д. 33
 Матвеев М. А. 187
 Матюшенко С. И. 259, 303
 Медведева Е. Г. 99
 Меняшина А. Ю. 158
 Мигаль И. А. 301
 Мионов Ю. Б. 103
 Мокров Е. В. 35, 70
 Молодченков А. И. 161, 164
 Молчанов Д. А. 96
 Мусаев В. К. 196

Н

Наумов В. А. 38, 41
 Нгуен З. Т. 167
 Неверов М. П. 170
 Никитин А. К. 317
 Новикова Г. М. 140, 143
 Норкина М. А. 15

О

Обжерин Ю. Е. 44
 Острикова Д. Ю. 9, 88, 105

П

Павлюк О. И. 216
 Пашина А. В. 303
 Першаков Н. В. 79
 Петров В. А. 305, 308
 Петров М. А. 202
 Петрусевич Ю. А. 76
 Пинегин А. А. 286
 Пиунова А. П. 249
 Погосян А. С. 310
 Подгайный Д. В. 187, 192
 Позняк К. С. 173
 Полежаева И. С. 238
 Полянец В. Д. 47
 Пономаренко-Тимофеев А. А. 35, 70, 88, 105
 Потахина Л. В. 50
 Приходько А. В. 190

Р

Разумчик Р. В. 94, 108
 Ромашкова О. Н. 128
 Русина Н. В. 53
 Рыжов А. А. 286

С

Савин А. С. 305, 308
 Самарев Р. С. 105
 Самойлов С. Н. 199, 205
 Самуилов А. К. 96, 110
 Самуилов К. Е. 41
 Саркар Н. Р. 219, 222
 Сархадов И. С. 219, 222
 Севастьянов Л. А. 245, 313
 Семенова О. В. 15
 Сергунов А. Б. 205
 Сидоров С. М. 44
 Синицын И. Э. 65
 Синячкин А. Ю. 202
 Скляр И. Б. 113
 Слива Д. Е. 314
 Сопин Э. С. 41, 116
 Стародубцев В. В. 199, 205
 Степанов М. С. 56
 Стрельцова О. И. 187, 192
 Суворов Р. Е. 164
 Сушев Т. С. 199, 205

Т

Та Тху Ч. 317
 Толмачев И. Л. 158, 181
 Торосян Ш. Г. 190
 Трофимова Н. А. 158
 Тухлиев З. К. 219, 222
 Тютюнник А. А. 263

У

Урусова Д. А. 235
Устинова Ю. Г. 225

Ф

Фомин М. Б. 146

Х

Ханбикова Д. Т. 225
Харин П. А. 9
Хасанов И. Ш. 317
Хейдари М. 176
Химий Б. В. 294
Хлопин Д. А. 320
Хохлов А. А. 305, 308
Храбров Р. Н. 208
Хромов Н. А. 179

Ц

Цирик И. А. 73

Ч

Черчик К. 181
Четов А. И. 305, 308
Чукарин А. В. 79

Ш

Шарапова А. А. 323
Шарипов З. А. 219, 222
Шелманов А. О. 161, 164
Шишкин О. Г. 122
Шорохов С. Г. 230

Щ

Щербанская А. А. 59
Щетинин Е. Ю. 292, 294

Э

Этезов Ш. А. 96

Я

Ягнов Н. К. 326
Ядринцев В. В. 184

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СИСТЕМ**

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н. А. Ясько*
Компьютерная вёрстка *А. В. Королькова, Д. С. Кулябов*

Подписано в печать 2.04.2015 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс
Усл. печ. л. 20,5. Тираж 150 экз. Заказ 358.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. +7(495)952-04-41