

Peoples' Friendship University of Russia
(RUDN University), Russia
Tampere University of Technology (TUT), Finland
Belarusian State University (BSU), Belarus

**МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
ПО ПРИКЛАДНОЙ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ
ТЕХНОЛОГИЯМ
(АРТСТ–2017)**

Материалы Международной научной конференции

Россия, Москва, 23–27 октября 2017 г.

*Под общей редакцией
К.Е. Самуйлова, Е.А. Кучерявого, А.Н. Дудина*

**2ND INTERNATIONAL SCHOOL
ON APPLIED PROBABILITY THEORY &
COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES
(ARTST–2017)**

Proceedings of the International School

23–27 October 2017, Moscow, Russia

*Under the general editorship of Konstantin Samouylov,
Yevgeni Koucheryavy, Alexander Dudin*

**Москва
2017**

УДК 519.2:004:001(063)

ББК 22.17+32.973+72

М75

Организатор конференции –
Российский университет дружбы народов

Соорганизаторы конференции:
Технологический университет Тампере;
Белорусский государственный университет

М75 **Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ–2017) = 2nd International School on Applied Probability Theory & Communications Technologies (Aptct–2017) : материалы молодежной научной школы.** Россия, Москва, 23–27 октября 2017 г.; под общ. ред. К. Е. Самуйлова, Е. А. Кучерявого, А. Н. Дудина. – Москва : РУДН, 2017. – 331 с. : ил.

Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (2nd International School on Applied Probability Theory & Communications Technologies АРТСТ-2017) проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-37-10301) и в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности РУДН «5-100».

ISBN 978-5-209-08393-1

© Коллектив авторов, 2017
© Российский университет
дружбы народов, 2017

Оглавление

Абаев П.О. Построение модели виртуализированного ядра сети 5G	11
Аду Кпангни Ивь Бэрэнжэ. Перспективы развития систем совместного использования радиочастот	14
Аль Бахри М.С., Киричек Р.В Энергоэффективность и покрытие LPWAN (SIGFOX) как базовый компонент четвёртой промышленной революции	17
Атея А.А., Мутханна А.С., Кучерявый А.Е. Архитектура сотовой системы 5G на базе MEC	23
Ахметханова Д.М. Применение статистических и вероятностных методов при разработке оптимального алгоритма обработки конфликтов, связанных с распознаванием номерных знаков	30
Багаева Н.В. Анализ моделей страхования договоров с ограниченным сроком обслуживания	33
Байло Н.В., Матюшенко С.И. Статистический анализ инфляции в современной России	37
Бесчастный В.А., Наумов В.А. Построение дискретной модели с групповыми заявками для анализа схем доступа к ресурсам в сетях транспортных средств	44
Бронер В.И., Зайцев А.В. Имитационное моделирование страховой компании в виде системы массового обслуживания $M,GI GI \infty$ с катастрофами	47
Буйко А.Ю. Выявление действий на видео с помощью рекуррентных нейронных сетей	50
Булычев А.А., Острикова Д.Ю. Модель совместного использования радиочастот LSA в сети 3GPP LTE	54

- Васильев С.А., Фролов А.В.** Использование открытых инструментов анализа и публично доступных данных для формулирования и проверки гипотез о статистической взаимосвязях значимых проблем и явлений 59
- Васильев С.А., Царева Г.О.** Ценообразование услуг мобильной связи 5G 61
- Велиева Т.Р., Завозина А.В.** Реализация модели Ферхюльста в системе компьютерной алгебры SYMPY 64
- Велиева Т.Р., Платонова А.А.** Компьютерная реализация на SYMPY модели Лотки-Вольтерры 67
- Власкина А.С., Семенова О.В.** Анализ задержки передачи данных с использованием мультимедиа и связи устройства с устройством в беспроводных сетях 70
- Выговская О.А., Федорова Е.А.** Асимптотический анализ двулинейной RQ-системы с нетерпеливыми заявками 75
- Галилейская А.А., Лисовская Е.Ю., Моисеева С.П.** Исследование многофазной ресурсной СМО с MMPP входящим потоком 80
- Гольская А.А., Маркова Е.В.** Анализ модели схемы разделения радиоресурсов беспроводной мультисервисной сети с источниками заявок, равномерно распределенными на плоскости 83
- Грачев Д.А., Емельянова Е.Ю., Попова Е.В.** Оптимизация алгоритма SSA для ARM процессоров в рамках решения задачи анализа состава тела человека 86

Давыдов Е.А. Дискретность дион-дилатонных черных дыр	95
Данилюк Е.Ю. Исследование однолинейной RQ-системы $M M 1$ с конфликтами и нетерпеливыми	101
Дараселия А.В. Об одном подходе повышения энергоэффективности облачной системы	107
Динь Ч.З., Киричек Р.В. Использование летающих гетерогенных шлюзов в сетях 5G/ITM-2020	112
Дымова П.И., Зимина М.М., Кушазли А.И., Гудкова И.А. К анализу бизнес-процесс удаленного оформления ипотечного кредита	116
Жданков А.Н., Конькова Е.В., Карнаухова К.Д., Халина В.А., Гайдамака Ю.В. К задаче анализа показателей качества в беспроводных сетях с применением технологии узкополосного интернета вещей	119
Жданков А.Н., Москалева Ф.А., Мигдалов П.В., Медведева Е.Г. О задаче моделирования расположения устройств в беспроводной сети методами стохастической геометрии	125
Захаров М.В., Киричек Р.В. Методы анализа и визуализации данных на примере программного продукта SPLUNK для повышения эффективности интернета вещей	130
Иванова Д.В., Карнаухова Е.А. Анализ вероятностных характеристик модели схемы совместного использования радиочастот в беспроводной мультисервисной сети связи	133
Казандаева А.П., Пылаева А.Н., Ильина Д.С., Зотова П.А., Бегре Бегре Би Мари Мишель. Анализ цен на рынке квартир с помощью эконометрических моделей	137

Кименчежи В.В., Козырев Д.В. Имитационное моделирование мобильности участников соединения в гетерогенной сети беспроводной передачи данных	138
Краденых А.А., Зарядов И.С. Математическая модель системы с расщеплением поступающих заявок	142
Кулик В.А., Киричек Р.В. Разработка требований к тестированию гетерогенных шлюзов интернета вещей	146
Мартиньо Родригеш Эджу. Реализация численного метода Лобатто на языке JULIA	150
Мачнев Е.А., Бегишев В.О. Динамическое распределение радиоресурсов в технологии NB-IOT	153
Медведева Е.Г., Мингажитдинова Э.Ф. К процедуре установления соединения по радиоканалу случайного доступа при условии повторной передачи сообщений	157
Медведева Е.Г., Семенова О.В., Власкина А.С., Зарипова Э.Р. К анализу вероятности успешного межмашинного соединения по радиоканалу случайного доступа	163
Мухизи С., Киричѐк Р.В. Анализ возможностей применения SDN/NFV в мобильных сетях 5G	166
Назаров А.А., Анисимова А.А. Асимптотический анализ первого порядка двухфазной СМО с конечной очередью и орбитой в условии большой задержки заявок на орбите	175
Назаров А.А., Зайцев А.В. Бронер В.И. Исследование системы массового обслуживания $M GI _{\infty}$ с катастрофами методом просеянного потока	178
Назаров А.А., Измайлова Я.Е. Асимптотический анализ RQ-системы M/E2/1 с вытеснением заявок и повторением фазы обслуживания	181

Нибасумба Эммануэль, Матюшенко С.И. Применение бинарной логистической регрессии для оценки кредитного риска	185
Никитина В.В., Гудкова И.А. О методах разработки моделей бизнес-процессов (Process Intelligence)	191
Орбелян Т.С. Математическая модель системы с выбором при поступлении и обслуживании	197
Пауль С.В. Исследование RQ-системы ММРР/М/1/1 с вызываемыми заявками	200
Петриков А.В., Киричек Р.В. Системы передачи данных во встраиваемых системах реального времени на примере сети AFDX	204
Погосян Ш.Г. Анализ модели процесса обработки разнотипных исков в страховой компании	208
Полин Е.П., Моисеева С.П. Асимптотический анализ немарковской бесконечнолинейной СМО в условии эквивалентно растущего времени обслуживания	212
Половов М.П., Бесчастный В.А., Демига Ю. К анализу вероятностно-временных характеристик передачи видео потока подгруппам устройств по технологии мультимедиа в беспроводной сети	217
Полужтков Д.С., Маркова Е.В., Острикова Д.Ю. Модели схем сети 3GPP LTE с политикой полного отключения совместного использования ресурсов LSA	219
Разумов А.А., к.т.н Киричек Р.В. Экспериментальное исследование влияния импульсных помех на каналы передачи данных интернета вещей	225
Самуйлов К.Е., Гайдамака А.А., Халина В.А., Поповская Н.О. Моделирование сквозных бизнес-процессов с использованием сети ВСМР	230

Sevastianov L.A., Vassilyeva D. Generalized Kapitza pendulum and stability analysis	233
Семенова О.В., Власкина А.С. Частные случаи задачи установления соединения по радиоканалу случайного доступа	236
Синицына А.А., Саркер М., Острикова Д.Ю. Сравнительный анализ моделей схем управления доступом к ресурсам беспроводной сети с совместным использованием радиочастот	241
Скрипкин В.С., Острикова Д.Ю. Построение модели распределения нагрузки между ресурсами совместного и индивидуального использования	247
Смекалина Е.В., Медведева Е.Г., Гайдамака Ю.В. Моделирование обслуживания многоадресного трафика в беспроводной сети с помощью СМО с требованиями случайного объема	251
Смирнова Н. М., Алексеева А. С. Моделирование клиентоориентированного бизнес-процесса	254
Смирнова Н. М. К разработке модели деятельности телекоммуникационной компании	258
Соболев А.А., Демидова Т.С., Демидова А.В. Модель SIR для описания динамики распространения сетевых червей	262
Соловьева А.С., Салпагаров С.И. Многокритериальная задача менеджмента кадров на гиперграфах	267
Сопин Э.С., Ашурметова Н.З. Построение модели резервирования вычислительных ресурсов в системе туманных вычислений	272
Сопин Э.С., Беляев И.А. К анализу эффективности миграции виртуальных машин в туманной	277

инфраструктуре

- Сопин Э.С., Талыбов Э.Г.** Построение модели трафика беспроводной сети в виде MAP потока 281
- Стихуров В.В., Фомин М.Б.** Применение методов машинного обучения для анализа кредитоспособности заемщика 285
- Суворова О., Розмаинский И.** Неверие в будущее и инвестиции в капитал здоровья 290
- Тельтевская В.А., Маколкина М.А., Киричек Р.В.** 295
Архитектура программно-аппаратного комплекса идентификации устройств интернета вещей с помощью дополненной реальности
- Уанкпо Г.Ж.К., Козырев Д.В.** Исследование 299
чувствительности характеристик надёжности резервированной системы передачи данных к виду распределений времени между отказами и восстановлениями элементов системы
- Фёдорова Е.А.** Исследование случайного процесса 304
числа заявок в RQ-системе M/M/1
- Фомченко Т.Д., Вольнец А.С., Крупко О.С., 308
Медведева Е.Г.** О дискретных моделях движения для описания перемещения абонентов в беспроводной сети
- Харин П.А., Макеева Е.Д.** К анализу модели 311
совместного использования радиочастот в беспроводной сети случайно расположенных в пространстве устройств
- Хуракай Д.М.** О методах бизнес-анализа моделей 313
процессов (Process Intelligence)
- Цветкова О.О., Гарибян А.А., Стуклов Д.Н., 315
Медведева Е.Г.** К выбору класса моделей движения беспроводных устройств при анализе интерференции в

сетях пятого поколения

Цурлуков В.В. Математическая модель системы с ресурсами в случайном окружении 318

Чухно Н.В. Анализ характеристик математической модели клиентоориентированного процесса телекоммуникационной компании 321

Чухно О.В. Математическая модель бизнес-процесса «Потребление-Оплата» телекоммуникационной компании в виде сети массового обслуживания 325

Андреев С.Д. Решения для сглаживания технологической фрагментации интернета вещей 329

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВИРТУАЛИЗИРОВАННОГО ЯДРА СЕТИ 5G¹

Абаев П.О.

Российский университет дружбы народов, Институт
проблем информатики ФИЦ ИУ РАН, abaev_po@pfur.ru

Технология виртуализации предоставляет мобильным операторам возможность перенести логику работы ядра мобильной сети с традиционных устройств в виртуализированную среду в виде виртуализированных сетевых функций в дата центрах. Виртуализированные функции могут быть динамически развернуты для обеспечения выполнения показателей качества обслуживания трафика. В работе предложен алгоритм оптимального увеличения/сокращения количества виртуализированного ресурса в гибридном ядре 5G сети. Построена и исследована модель в терминах теории массового обслуживания.

Ключевые слова: TMO, Network Functions Virtualization, 5G, ядро сети.

Введение

Пятое поколение мобильных сетей предполагает использование таких технологий, как программно-конфигурируемые сети (Software Defined Networking, SDN) и виртуализация (Network Function Virtualization, NFV) [1]. В частности, ядро сети будет перенесено в полностью виртуализированную среду в дата центры.

При помощи NFV станет возможна виртуализация физических ресурсов сети, которая позволит таким образом масштабировать логические ресурсы сетевой инфраструктуры.

Ядро мобильной сети – набор ключевых технических элементов, систем и управляющих ими программных решений. К ядру подсоединены внешние элементы сети, такие, например,

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 16-11-10227.

как сеть радиодоступа (сеть базовых станций, RAN) или магистральные каналы связи. Виртуализация элементов мобильного ядра предоставляет возможность гибкого и эффективного управления ресурсами, а так же приближает к решению задач, связанных с вопросами энергосбережения.

Гибридное ядро представляет собой симбиоз традиционного и виртуального частей ядер. Традиционная часть ядра используется в качестве основной для приема и обслуживания запросов, а виртуальная часть задействуется по необходимости, когда ресурсы традиционной части близки к исчерпанию [2, 3].

Математическая модель

На многолинейную систему с C обслуживающими приборами и накопителем конечной емкости R поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью $\lambda, 0 \leq \lambda < \infty$. Длительность обслуживания заявки распределена экспоненциально с параметром $\mu, 0 \leq \mu < \infty$. Каждая заявка для обслуживания требует один прибор. Если в накопителе нет места, то пришедшая заявка теряется. Накопитель имеет два порога: L и H . Система может находиться в одном из трех состояний:

- простой дополнительных приборов (*idle*),
- разворот дополнительных приборов (*up*),
- сворачивание дополнительных приборов (*down*).

Система начинает свою работу в состоянии *idle*, обработкой заявок занимаются c_0 приборов (традиционная часть ядра), а $C - c_0 = k$ дополнительных приборов простаивают. Если в число заявок в накопителе превысит порог H , то простаивающие приборы начинают обработку заявок через интервал времени, который распределен экспоненциально с параметром $\theta, 0 \leq \theta < \infty$, и система перейдет в состояние *up*. Как только число заявок в накопителе станет меньше порога L , окончившие обслуживание заявок приборы прекращают свою работу, пока число работающих приборов не уменьшится до c_0 ,

и система переходит в состояние *down*. Переходы между состояниями происходят на основе гистерезисного алгоритма управления состоянием очереди. Если все активные приборы заняты, то заявки поступают в накопитель.

Составной случайный процесс $X(t) = (s(t), n(t), m(t))$, где $s = \{idle, up, down\} = \{i, u, d\}$ - состояние системы, $0 \leq n \leq k$ - количество активных приборов, $0 \leq m \leq K$ - количество заявок в системе. Этот процесс по построению является марковским и описывает поведение системы над пространством состояний:

$$\chi(t) = \left\{ (s, n, m) : \begin{pmatrix} s = i, n = 0, 0 \leq m \leq H \\ s = d, 0 \leq n \leq k, c_n \leq m \leq H \\ s = u, 0 \leq n \leq k, L < m < K \end{pmatrix} \right\}.$$

Выводы

Построена и проанализирована математическая модель гибридного ядра сети 5G в терминах теории массового обслуживания в виде системы с конечным буфером и динамически изменяющимся количеством приборов. Разработана имитационная модель для анализа неэкспоненциальной системы. Целью дальнейших исследований является формулировка и решение оптимизационных задач поиска значений порогов управления.

Литература

1. *ETSI GS NFV*, Network Functions Virtualisation (NFV): Architectural Framework // 2: V1.1.1, 2013.
2. *Yi Ren, Tuan Phung-Duc, Zheng-Wei Yu, Yuh-Cheng Chen*. Design and Analysis of Dynamic Auto Scaling Algorithm (DASA) for 5G Mobile Networks // IEEE GLOBECOM, Washington, DC USA, Dec. 2016 , pp 1-17
3. *Yuki Goto et al.*, Queueing Analysis of Software Defined Network with Realistic OpenFlow-based Switch Model // Proceedings of the IEEE International Symposium on Modelling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), 19-21 September, 2016, London, UK

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТ²

Аду Кпангни Ивь Бэрэнжэ

*Российский университет дружбы народов,
kpangnu@outlook.com*

Радиочастотный спектр является важным и ценным ресурсом для предоставления пользователям мультимедийных услуг. С ростом объема трафика, генерируемого различными приложениями, а также требований к качеству предоставления услуг необходимо максимально эффективно использовать радиочастотный диапазон. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на разработку новых технологий оптимизации использования ограниченного ресурса радиочастотного спектра, например, направленные на разработку схем совместного использования радиочастотного спектра – схем мультисервисной беспроводной сети с системой LSA.

Ключевые слова: совместное использование спектра, LSA, мультисервисные сети связи.

Введение

Концепция лицензированного совместного доступа LSA (Licensed Shared Access) была разработана в качестве средства получения доступа к дополнительным полосам частот для мобильной широкополосной связи в рамках индивидуального лицензионного режима при сохранении существующих видов использования. Также целью этой концепции является предоставление возможности динамического использования спектра, в случае, когда он не используется действующим владельцем.

² Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Характеристики системы LSA

Ключевыми элементами системы LSA являются владелец спектра частот, арендатор и регулирующий орган. Реализация LSA основывается на применении правил совместного использования радиочастот, за выполнение которых отвечает национальной регулирующий орган. Правила совместного использования радиочастот позволяют отслеживать изменения в правах использования спектра владельцем или арендатором и определять соответствующие технические и эксплуатационные условия, которые доступны для альтернативного использования LSA спектра.

Данные о совместном использовании радиочастот в России

Известно, что на данный момент компании «Мегафон», Nokia и Научно-исследовательский институт радио (ФГУП НИИР) успешно завершили испытания когнитивной системы широкополосного беспроводного доступа (cognitive radio), что предполагает реализацию дополнительных возможностей по повышению эффективности использования радиочастотного ресурса. Данные испытания прошли в рамках исследований, инициированных Государственной комиссией РФ по радиочастотам (ГКРЧ) и подтвердили, что уже на современном этапе развития сетей мобильной широкополосной связи имеется возможность реализации технологического решения по лицензированному совместному использованию частот спектра LSA. А значит инфокоммуникационная отрасль еще на один шаг приблизилась к реализации технологий пятого поколения (5G).

Выводы

LSA – это дополнительный инструмент управления радиочастотным спектром, который позволяет обеспечить определенный уровень гарантии качества предоставления услуг и защиты от интерференции как для владельца, так и для LSA арендаторов. Возможности гибкого использования спектра будут необходимы для поддержки миллиардов сетевых

подключений: пользователей, приложений, устройств и объектов.

Литература

1. Report ITU-R SM.2404-0: Regulatory tools to support enhanced shard use of the spectrum – https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2404-2017-MSW-E.docx — ITU-R, June 2017.
2. ECC Report 205: Licensed Shared Access (LSA) — CEPT, Feb. 2014.
3. ETSI TS 103 235, v0.0.9: System Architecture and High Level Procedures for operation of Licensed Shared Access (LSA) in the 2 300-2 400 MHz band — ETSI, Apr. 2015.
4. CEPT Report 56: Technological and regulatory options facilitating sharing between Wireless broadband applications (WBB) and the relevant incumbent services/applications in the 2.3 GHz band, CEPT — March 2015.
5. Megafon, Nokia and NIIR take another step towards 5G — <http://corp.megafon.ru/press/news/20160707-1221.html> — July 2016.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПОКРЫТИЕ LPWAN (SIGFOX) КАК БАЗОВЫЙ КОМПОНЕНТ ЧЕТВЁРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Аль Бахри М.С., Киричек Р.В

*Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича,
albahri.89@hotmail.com*

Энергоэффективные сети дальнего радиуса действия (LPWAN) становятся одним из основных строительных блоков для экосистемы промышленного IoT. Среди наиболее перспективных технологий SIGFOX выделяется как технология ультра-узких диапазонов, которая по энергоэффективности позволяет превосходить аналогичные сигналы для сотовых сетей с одной тысячной потребляемой ими мощности. В докладе анализируется гетерогенная сетевая архитектура на основе SIGFOX, основанная на объединении различных технологий для коммуникаций малого радиуса действия и инкапсуляция данных в IP на основе SIGFOX-шлюза.

Ключевые слова: IoT, LPWAN, SIGFOX, покрытие, энергия

Введение

Появление огромного числа доступных дистанционных систем мониторинга, систем связи и высокопроизводительные вычисления привели к преобразованию современного промышленного производства в следующую промышленную революцию, известную как четвёртая промышленная революция [1]. Это преобразование осуществляется комбинацией трех основных технологий: киберфизических систем (CPS), Промышленный Интернет Вещей (IIoT) и аналитика больших данных [2], [3]. Эта комбинация характеризуется внедрением на заводах и предприятиях получила название «умные заводы». Умные заводы способны повысить производительность и улучшить качество своей продукции за счет точного прогноза обслуживания оборудования и станков в режиме реального

времени на основе собранных данных с огромного количества сенсоров.

Одной из основных задач в индустриальной среде является необходимость использования технологий, которые позволят осуществлять прием и передачу данных на большой территории [5]. Кроме этого, фабрики и склады часто расположены на значительном удалении от города, что может затруднить соединение из с сетью связи общего пользования для приема и передачи данных с узлов мониторинга. Ввиду того, что соединение, как правило, производится к кабельной сети – прокладка кабельных коммуникаций на большие расстояния стоит достаточно дорого.

LPWAN включает ряд технологий, которые могут позволить развернуть системы мониторинга в труднодоступных местах, где замена батарей питания затруднена [6]. На рисунке 1 представлена диаграмма, на которой сравниваются технологии LPWAN с системами сотовой связи, а также протоколом Zigbee как типовым протоколом для систем мониторинга с низким энергопотреблением [11].

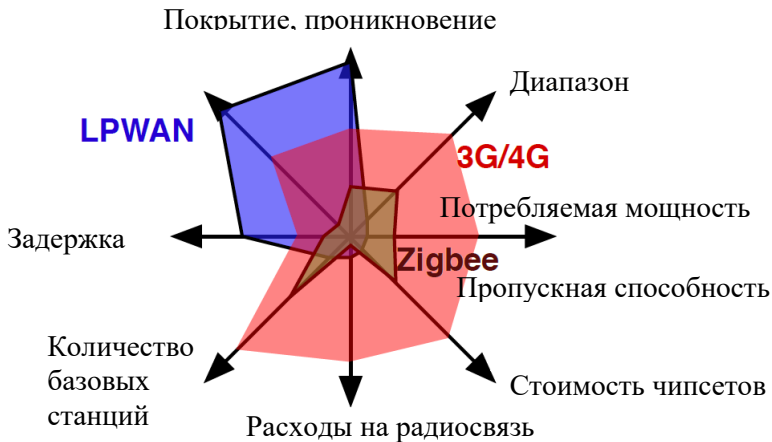


Рис. 1. Сравнение LPWAN с другими беспроводными технологиями [12].

Существует несколько технологий LPWAN, таких как LoRa, NWave, Weightless, NB-IoT и SIGFOX [5], [10], [11], которые в настоящее время развиваются по разным моделям [14]. Среди перечисленных технологий SIGFOX считается одной из самых перспективных систем LPWAN из-за доступности инфраструктуры, возможности подключать большое количество устройств на точку доступа, простоты интеграции радиомодуля и низкой стоимости сенсорных узлов.

В докладе рассматривается количественная оценка фактических характеристик покрытия сигнала и энергопотребления сети, основанного на объединении топологии сети сверхнизкой мощности. Предполагается, что существующие технологии и протоколы ближнего радиуса действия BLE, ZigBee, 6LoWPAN, Thread могут передавать данные через шлюз SIGFOX, чтобы передать информацию, генерируемую множеством сенсорных узлов с различными типами датчиков.

Эффективность покрытия сети была экспериментально подтверждена как в помещении, так и на открытом воздухе, показывая уверенную передачу данных до 600м. Ниже представлена схема организации систем мониторинга для различных объектов на базе инфраструктуры SIGFOX с возможностью сбора данных с узлов, работающих длительное время от одного элемента питания. Данная модель взаимодействия проверена с помощью обширного количества экспериментов позволяет утверждать, что отдельные узлы датчиков могут непрерывно работать до 4 лет, при условии, что они осуществляют отправку данных 1 раз в час и тем самым реализуют 60-минутный рабочий цикл.

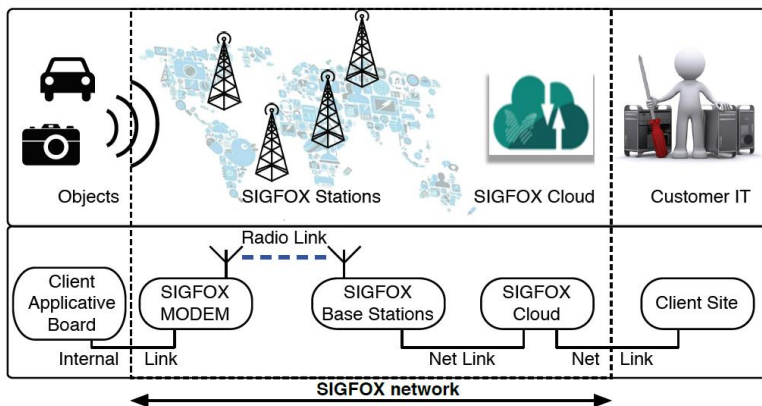


Рис. 2. Сетевая архитектура SIGFOX.

Компания SIGFOX или в партнерстве с другими сетевыми операторами (SNOs) развертывают собственные базовые станции, оснащенные когнитивными программно-ориентированными радиоинтерфейсами, подключают их к серверам с использованием сети на основе IP [12].

Выводы

LPWAN становятся одним из основных строительных блоков для Индустриального Интернета Вещей (IIoT). Значительное расстояние и низкое энергопотребление являются показателем дальнейшего развития LPWAN в инфраструктуре 5G/IMT-2020. Несмотря на то, что LPWAN появились около 5 лет назад по своим характеристикам они наиболее предпочтительны для IoT-устройств, которых с каждым днем становится все больше и больше.

Литература

1. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A.. "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems," *Manufacturing Letters*, 2015. – Vol. 3. – Pp. 18–23,

2. *Sadeghi A.-R., Wachsmann C., Waidner M.*, “Security and privacy challenges in industrial internet of things,” in 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference. IEEE, 2015. – Pp. 1–6.
3. *Xu L. D., He W., and Li S.*, “Internet of Things in Industries: A Survey,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, November 2014. – Vol. 10, no. 4. – Pp. 2233–2243,
4. *Lucke D., Constantinescu C., Westkämper E.*, “Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing,” in Manufacturing systems and technologies for the new frontier. Springer, 2008. – Pp.115–118.
5. *Sanchez-Iborra R., Cano M.*, “State of the Art in LP-WAN Solutions or Industrial IoT Services.” Sensors (Basel, Switzerland), 2016. – Vol. 16, no. 5. – Pp. 708.
6. *Margelis G., Piechocki R., Kalessi D., and P. Thomas*, “Low throughput networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations,” in IEEE 2nd World Forum on Internet of Things. IEEE, 2015. – Pp. 181–186.
7. *Аль Бахри М.С., Киричек Р.В.*. Исследование взаимодействия фрагмента беспроводной сенсорной сети с сетью связи общего пользования на базе шлюза LTE // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах, 2015. – С. 174-178.
8. *Нгуен Д.К., Киричек Р.В.* Исследование шлюза Zigbee-LoRaWAN в гетерогенных сетях // Информационные технологии и телекоммуникации, 2017. – Т. 5. № 1. – С. 97-104.
9. *Гимранов Р.Р., Киричек Р.В., Шпаков М.Н.* Технология межмашинного взаимодействия LoRa // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015.– № 2 (10). – С. 62-73.
10. *L. Krupka, L. Vojtech, and M. Neruda*, “The issue of LPWAN technology coexistence in IoT environment,” in 2016 17th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME), Dec 2016. – Pp. 1–8.

11. *Margelis G., Piechocki R., Kaleshi D., Thomas P.*, “Low Throughput Networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations,” in 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), December 2015.– Pp. 181–186.
12. Waviot. [Online]. Available: <http://dgmatics.com/technology/what-is-lpwan> [10] J. Petajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen, and M. Pettissalo, “On the coverage of LPWANs: range evaluation and channelattenuation model for LoRa technology,” in 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), December 2015. – pp. 55–59.
13. *Kirichek R., Pham V.D., Kolechkin A., Al-Bahri M., Paramonov A.* Transfer of multimedia data via LoRa // Lecture Notes in Computer Science, 2017. – Vol. 10531. – Pp. 708-720.
14. *Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В.*. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей // Информационные технологии и телекоммуникации, 2016. – Т. 4. № 4. – С. 33-48.

АРХИТЕКТУРА СОТОВОЙ СИСТЕМЫ 5G НА БАЗЕ MEC

Атея А.А., Мутханна А.С., Кучерявый А.Е.

*Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
atmarexpress@gmail.com*

Ожидается, что к 2020 году начнется новая эра системы мобильной связи с большими и эффективными возможностями, объявив пятое поколение систем мобильной связи (5G). Основной проблемой, связанной с разработкой сотовой системы 5G, является крайняя низкая задержка. 5G система и ее приложения, такие как Тактильный Интернет, потребовали задержки цикла в мс. Одним из важных решений является децентрализация облачных вычислений и перемещение вычислительных устройств на край сотовой сети. Mobile Edge Computing (MEC) - появляющаяся парадигма, которая обеспечивает вычислительные ресурсы, хранилища и сетевые ресурсы на краю мобильной сети радиодоступа (RAN). В этой статье мы исследуем основные функции и преимущества технологии MEC и обеспечиваем структуру для сотовой системы 5G.

Ключевые слова: Мобильны сети пятого поколения, MEC, 5G, облако, задержка.

Введение

Ожидается, что сети 5G предоставят возможность запускать эффективно и экономически эффективно многочисленные новые услуги, создавая экосистему для технических и бизнес-инноваций. Существуют некоторые проблемы, связанные с разработкой и реализацией сотовой системы 5G, подробно описанные в [1]. Одна из этих проблем - крайне низкая задержка, требуемая для 5G системы, которая имеет порядок мс.

Задержка - критическое требование для многих мобильных приложений. По мере того, как технологии стали более совершенными, более низкая задержка сервиса стала более

желательной. Широкий интерес представляют услуги, чувствительные к задержкам (например, приложения реального времени, потоковое видео, автономное вождение и межмашинное взаимодействие), и спрос сильно возрастает. Такие услуги обещают улучшить качество жизни во многих областях человеческого общества [2].

Существующих централизованных облачных центров обработки данных недостаточно для достижения сверхнизкой задержки, требуемой сотовой системой 5G. Некоторым приложениям системы 5G, таким как Тактильный Интернет, потребуется задержка цикла обработки в 1 мс, что ускоряет децентрализацию облачных центров обработки данных и создает новую распределенную облачную систему на краю сети. Физическое расстояние между серверами и пользователями иногда будет слишком велико, чтобы обеспечить быструю реакцию на границе времени обслуживания.

Mobile Edge Computing (MEC) обеспечивает эффективный путь к преодолению проблемы высокой задержки и решению проблемы сверхнизкой задержки. Вместо длинных расстояний между пользователями и облачными модулями MEC предоставляет облачные узлы на краю сети радиодоступа на расстоянии одного хопа от пользователей [3]. Общая задержка для пользователя вычислена как сумма задержки передачи и задержки обработки. Таким образом, чтобы достигнуть более высокой эффективности задержки, оба типа задержек должны быть минимальными. В этой работе мы исследуем особенности MEC и обеспечиваем структуру для сотовой системы 5G.

Постановка задачи

Mobile Edge Computing (MEC) - это новая тенденция, установленная операторами сотовой сети для повышения эффективности всей сети путем разгрузки ее операций на близлежащие облака. Европейский институт стандартов электросвязи (ETSI) является одной из основных организаций, занимающихся MEC [4]. ETSI объявила группу отраслевых спецификаций (ISG), известную как MEC, для исследования и

стандартизации новых технологий. Просто MEC можно определить как способ перемещения облачных вычислительных возможностей на край мобильных сетей. Перемещение облачных вычислений на край мобильного телефона дает много преимуществ, которые можно суммировать в следующих пунктах [5]:

- 1-уменьшает задержку цикла обработки переданных данных,
- 2- обеспечивают эффективный способ разгрузки данных, передаваемых в основную сеть,
- 3- обеспечивает высокую пропускную способность,
- 4- вводит новые службы и приложения, получая доступ к информации о сетевом контексте

Переход от больших, массивных и дорогостоящих центров обработки данных в небольшие распределенные облачные блоки на основе небольшой аппаратной платформы откроет путь для достижения требуемого ограничения времени для тактильной реализации. Предложенная архитектура системы 5G основана на уменьшении задержки в оба конца, при перемещении облака на край мобильной сети. Только один или два хоба от мобильного устройства будут эффективны для достижения задержки в 1 мс. Как правило, сотовая система 5G может рассматриваться как мобильный пользователь, облачный модуль, базовая мобильная сеть, текущий Интернет или удаленное облако. В поиске лучшего места для введенного облачного модуля исследователи идут различными путями. Основываясь на отчете ETSI MEC, существует множество сценариев для места работы облачных вычислительных устройств.

Существует вариантов размещения серверов MEC [4]:

- 1- Серверы облаков подключены к базовой станции LTE (eNB).
- 2- Облачный модуль может быть помещен в контроллер радиосети 3G / 4G (RNC).
- 3- Облачный модуль может быть подключен к нескольким сайтам (несколько eNB).

4- Облачный модуль может находиться на краю базовой сети.

Существует множество исследований по внедрению небольших облачных модулей, которые могут использоваться в мобильных сетях. Некоторые используют термин «cloudlet» для обозначения любых вторичных и малых облачных единиц. Небольшие облачные единицы такие, как Nebula [6] и Wang и др. микрооблака [7].

Кроме того, парадигма туманных вычислений, объявленная Cisco, была расширена до края беспроводных сетей и может использоваться в сотовых сетях [8]. Очевидно, что облачные вычисления являются основной базой для построения системы 5G и Тактильного интернета. На рисунке 1 представлена структура системы 5G, основанная на MEC.

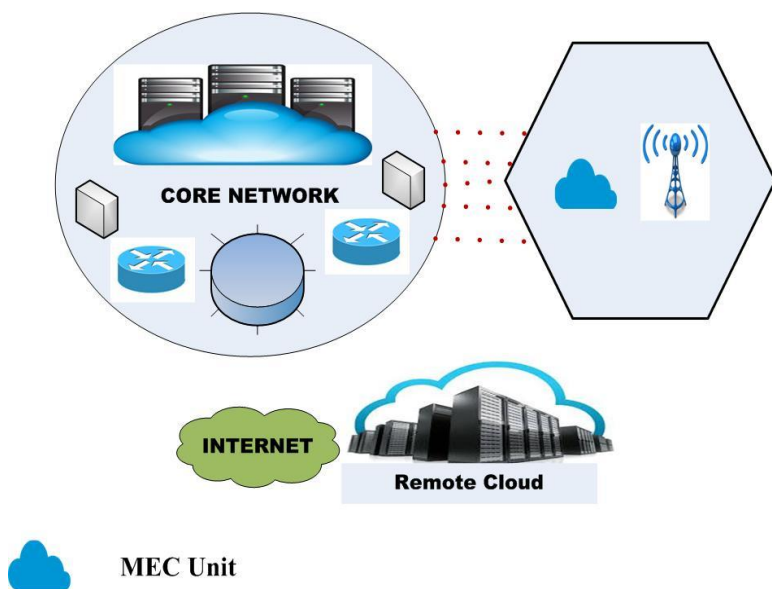


Рис. 1. Общий вид системы 5G на основе MEC.

Моделирование и результаты

В этом разделе мы анализируем производительность простой сотовой системы 5G на базе MEC. Наша среда моделирования уровня системы реализована с использованием MATLAB (R2015a). Мы используем математическую модель для микрооблачных модулей, представленных в []. Система моделируется для различных сценариев поступающей скорости, а производительность исследуется с точки зрения средней задержки. На рисунке 2 показана средняя задержка для системы с частотой поступления, как для теоретической, так и для предлагаемой системы.

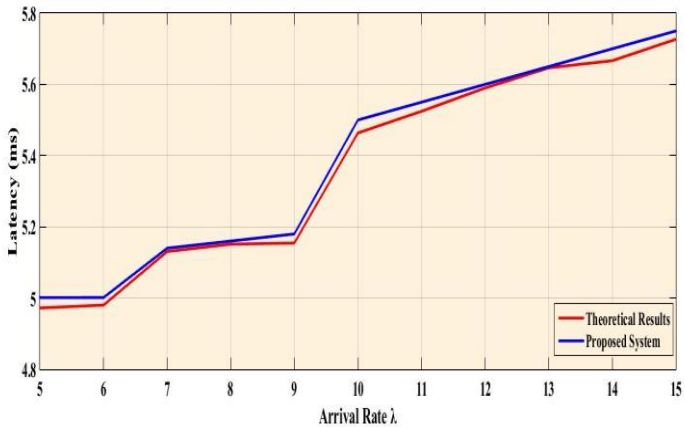


Рис. 2. Задержка для различных частот поступления.

Таблица 1. Параметры моделирования.

Параметр	Описание	значение
WCmax	Максимальная рабочая нагрузка микрооблачного модуля в секунду	30 событий/с
A	Градиент вычислительной функции	10
B	Постоянная вычислительной	0

	функции	
Dcell	Коммуникационная задержка внутри сотовой ячейки	5 мс/хоп
μi	Скорость обслуживания микрооблачного модуля	5Mbps
Λi	Частота поступления	5,10,15

Выводы

MEC - это ключевое решение для преодоления проблемы сверхнизкой задержки, связанной с реализацией мобильной системы 5G и ее приложений, особенно разработанной системы Тактильного Интернета. Кроме того, MEC обеспечивает способ выгрузки вычислений из ядра сотовой сети. Переход от централизованных огромных центров обработки данных к распределенным микрооблачным модулям, без сомнения, будет главной особенностью будущих 5G и Тактильных интернет-систем.

Литература

1. 5G PPP Architecture Working Group white paper, "View on 5G Architecture," July 2016.
2. *Атея, А.А., Выборнова, А.И. and Кучерявый, А.Е., 2017.* Многоуровневая облачная архитектура для услуг тактильного интернета. Электросвязь, (2), pp.26-30.
3. *A. Ateya, A. Vybornova, R. Kirichek and A. Koucheryavy,* "Multilevel cloud based Tactile Internet system", IEEE-ICACT2017 international conference, Korea, Feb.2017.
4. "Mobile Edge Computing A key technology towards 5G," ETSI White Paper, No. 11, September 2015.
5. *B.P. Rimal, D.P. Van, and M. Maier,* "Mobile edge computing empowered fiber-wireless access networks in the 5G era", IEEE Communications Magazine, 55(2), pp.192-200, Feb. 2017.
6. *M.Ryden, K.Oh, A.Chandra, and J. Weissman,* "Nebula: Distributed Edge Cloud for Data-Intensive Computing," IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 2014.

7. *S. Wang et al.*, “Mobile Micro-Cloud: Application Classification, Mapping, and Deployment,” Proc. Annual Fall Meeting of ITA (AMITA), New York, NY, Oct. 2013.
8. *Guenter I. Klas*, “Fog computing and Mobile Edge Cloud Gain Momentum Open Fog Consortium, ETSI MEC and Cloudlets”, Nov.22, 2015.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ КОНФЛИКТОВ, СВЯЗАННЫХ С РАСПОЗНАВАНИЕМ НОМЕРНЫХ ЗНАКОВ³

Ахметханова Д.М.

Российский университет дружбы народов,

little-diana@mail.ru

При помощи статистических и вероятностных методов исследуется работа автоматизированной парковочной системы.

Ключевые слова: автоматизированная парковочная система, распознавание номерных знаков, скрытые марковские модели.

Введение

Количество автомобилей растет изо дня в день, а с ними и актуальность автоматизированных платных парковок.

Автоматизированная парковочная система (коротко АПС) представляет собой комплекс оборудования, который используется для организации процесса въезда и выезда на огражденную территорию парковки или паркинга, а также для оплаты за услуги парковки.

Автоматизированные парковочные системы имеют такие преимущества, как передовые технологии по считыванию номеров, уникальное программное обеспечение, запись и хранение видео, и т.д. Автоматизированная парковочная система является максимально доступным и удобным вариантом для использования на предприятиях с большой нагрузкой транспортного движения, например, в Московском аэропорту Домодедово [5].

Описание модели и задачи

Целью работы является разработка оптимального алгоритма обработки конфликтов, соотношенного с заданной вероятностью

³ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

распознавания номерных знаков с помощью использования как методов математической статистики [1, 2], так и теории скрытых цепей Маркова [3, 4].

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

- рассмотреть модель функционирования въезда/выезда;
- собрать и изучить статистические данные по следующим факторам, которые могут влиять на качество распознавания номерного знака: время суток, погодные условия, расположение считывающей камеры – влияют на степень освещенности номерного знака; длина подъездного пути (острова), угол подъезда транспортного средства, угол расположения считывающей камеры – влияют на качество распознавания номерного знака;
- вычисление средней вероятности распознавания номерного знака;
- определение по собранной статистике факторов, наиболее влияющих на качество распознавания номерных знаков;
- построение математической модели на основе скрытых цепей Маркова для более качественной обработки (разрешения) конфликтов с возможностью обучения (перенастройки);
- определение оптимальных входных параметров для алгоритма изменения оперативного контура управления системой, обмен сигналами, программное обеспечение, какая камера должна быть, ручное управление, освещённость.

Выводы

В данной работе была сформулирована задача применения статических и вероятностных методов при разработке оптимального алгоритма обработки конфликтов, связанных с распознаванием номерных знаков.

По результатам исследований были сформулированы следующие предложения по оптимизации работы парковочных систем, направленные на повышение вероятности распознавания номерных знаков, снижение количества конфликтов и, за счет этого, снижение нагрузки с операторов парковок и повышение пропускной способности

1. Удлинить острова, что бы исключить некорректный подъезд транспортного средства

2. Привести освещение в соответствии со стандартом или выше на въездных и выездных группах всех парковок

3. Заменить все камеры верхнего исполнения на камеры нижнего исполнения.

Литература

1. *Бочаров П.П., Печинкин А.В.* Теория вероятностей. Математическая статистика. – М.: Гардарика. – 1998.

2. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа – 1997.

3. *Малькова А. М., Зарядов И. С.* Скрытые марковские модели, их применение и моделирование в пакете R. // Сборник тезисов «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем», РУДН. —2017. — 350 с.

4. *J. Raviv.* Decision making in Markov chains applied to the problem of pattern recognition. // IEEE Trans. Inform. — 1967. — pp. 536–551.

5. Аэропорт Домодедово - <http://www.domodedovo.ru>

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ СТРАХОВАНИЕ ДОГОВОРОВ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРОКОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ⁴

Багаева Н.В.

Российский университет дружбы народов,
nvbagaeva@mail.ru

Разнообразие областей, которые позволяет исследовать современный математический аппарат, с каждым годом стремительно увеличивается. Методы теории массового обслуживания, существующей уже на протяжении века, ориентированы на анализ систем (СМО) и сетей массового обслуживания (СеМО). Практическому применению способствуют простота и естественность, с которыми они отображают структуры моделируемых систем и процессы обработки в системах объектов различных типов. В статье рассматривается модель страхования договора (СК) с ограниченным сроком страхования, которой соответствует открытая сеть (ОСеМО), имеющая пуассоновский поток заявок и дисциплину обслуживания First Come First Served (FCFS).

Ключевые слова: страховая компания, договор страхования, иск, сеть массового обслуживания, доход.

Введение

В настоящий момент большой интерес вызывают модели актуарной математики, т.е. математики, которая связана со страховым делом. В числе этих вопросов находится проблема математической модели процессов функционирования страховой компании. К сожалению, в работе [1, с. 137-146] рассмотрена модель страхового договора, имеющая ограничения на количество клиентов, не дающая возможность рассмотреть ситуацию максимально приближенную к реальности. Ей соответствует замкнутая сеть. В данной работе построена модель, предусматривающая произвольное число

⁴ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

клиентов k , $k = \overline{0, \infty}$. А также применены способы исследования открытой сети, полученные в [3, 276-278]. При описании маршрутов заявок используется теория марковских блужданий [2, с. 500-511]. В исследуемой модели рассматривается экспоненциальное обслуживание.

Постановка задачи

Задача анализа модели страхового договора с ограниченным сроком страхования и неограниченным числом клиентов является новой. Для составления модели подробно были изучены виды договоров и типы страхования. [4, с. 124-185]. Рассматривается процесс функционирования СК, заключающей договоры страхования $(n - 1)$ -го типов.

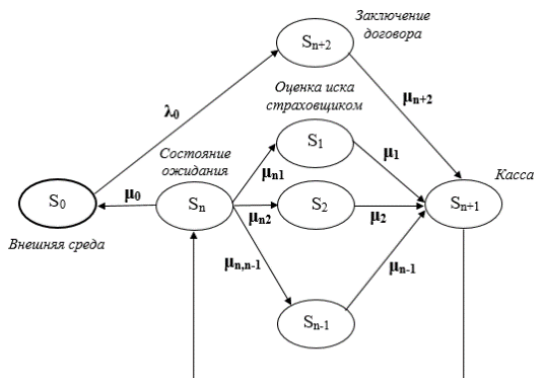


Рис. 1. Структура сети

- S_1 – договор краткосрочного страхования;
- \vdots
- S_{n-1} – договор страхования на дожитие.

Возможное число клиентов компании равно k , $k = \overline{0, \infty}$. Заключением договором занимаются m_{n+2} сотрудников компании – страховщики. При предъявлении иск проходит две

стадии обработки: стадию оценки и стадию выплаты. Оценкой исков типа i занимается m_i , сотрудников компании – оценщики, $i = \overline{1, n-1}$. Выплатой по предъявленным и уже оцененным искам, а также приемом платежей по заключенным договорам страхования занимаются m_{n+1} кассиров. (Рис. 1).

Для удобства обозначим нашу сеть, как N . Каждый из клиентов компании может находиться в одном из следующих состояний: C_n – в состоянии ожидания, предъявлять иск не требуется; C_i – на стадии оценки иска i -ого типа; $i = \overline{1, n-1}$; C_{n+1} – на этапе осуществления кассовых операций; C_{n+2} – на этапе заключения договора; C_0 – пребывания потенциально возможного клиента во «внешней среде».

Состояние СК в момент времени t опишем с помощью вектора $k(t) = (k, t) = (k_1(t), k_2(t), \dots, k_{n-1}(t), k_n(t), k_{n+1}(t), k_{n+2}(t))$, где $k_i(t)$ – количество исков типа i , находящихся в состоянии C_i , $i = \overline{1, n-1}$; $k_j(t)$ – общее число заявок, находящихся в состоянии C_j , $j = \overline{n, n+2}$.

Времена обработки исков оценщиками, обслуживания клиентов кассирами и заключения договоров страховщиками распределены по показательному закону с параметром $\mu_i, \mu_{n+1}, \mu_{n+2}$ соответственно $i = \overline{1, n-1}$. Переход клиента из состояния C_0 в состояние C_{n+2} происходит в случайные моменты времени, независимо от того, на каком этапе обслуживания находятся другие клиенты, и независимо от времени, таким образом, что вероятность перехода на интервале времени $[t, t+\Delta t]$ равна $\lambda_0 \Delta t + o(t)$, где λ_0 – интенсивность такого перехода. Дисциплина обслуживания First Come First Served (FCFS). После окончания обслуживания в узле i с вероятностью θ_j , также не зависящей от состояния сети, клиент мгновенно переходит в узел j , $i, j = \overline{1, n}$, и с вероятностью

$$\theta_{i0} = 1 - \sum_{j=1}^n \theta_{ij}, \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

покидает сеть (2). Стохастическая матрица $\theta_0 = (\theta_{ij})_{i, j = \overline{0, n}}$ — является матрицей переходов (или маршрутной матрицей), осуществляемой на множестве из $(n+2)$ -ух узлов.

Для данной модели необходимо получить стационарное распределение числа заявок в каждом узле сети, а также найти среднее число заявок в каждом узле сети.

Выводы

Рассмотрена многолинейная экспоненциальная сеть. Её узлами являются СМО с пуассоновским входящим потоком, неограниченным накопителем, с пуассоновским распределением времени обслуживания заявки и дисциплиной обслуживания FCFS. Выписаны основные характеристики модели. Полученные соотношения могут быть использованы для вывода стационарных характеристик.

Литература

1. *Русилко Т., Матылыцкий М.* Сетевые вероятностные модели обработки заявок в страховых компаниях, 2012.
2. *Бочаров П.П., Печинкин А.В.* Теория массового обслуживания, 1995
3. *Митрофанов, Ю. И.* Анализ сетей массового обслуживания, 2005
4. *Иванова Л. В., Звездина Н. В.* Актуарные расчеты в страховании жизни и пенсионном страховании, 2012

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФЛЯЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ⁵

Байло Н.В., Матюшенко С.И.

*Российский университет дружбы народов,
mrs.natali.bailo@gmail.com, matushenko@list.ru*

На основе статистических данных за период с января 2008 года по декабрь 2016 года исследуется зависимость темпа роста инфляции в России от ряда макроэкономических показателей, среди которых цена на нефть, курс доллара, уровень безработицы, величина ВВП, среднедушевые доходы населения. Исследование проводится с помощью методов многомерного статистического анализа с применением статистического пакета SPSS. В результате установлен характер и сила связи между темпом роста инфляции и перечисленными выше показателями, построено уравнение регрессии, на основании которого может быть составлен прогноз на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: темп роста инфляции, корреляционно-регрессионный анализ, уравнение регрессии.

Введение

Под инфляцией понимают длительную и устойчивую тенденцию к повышению среднего уровня цен и обесцениванию денег. Инфляционный процесс традиционно выступает как один из показателей эффективности экономики. В этой связи большую роль играет четкое понимание того, что и в какой мере оказывает влияние на темп роста инфляции и какие меры необходимо принять для его снижения. Наличие статистических данных позволяет использовать методы многомерного статистического анализа для ответа на поставленные вопросы. В частности, в данной работе мы будем использовать метод корреляционно-регрессионного анализа для выявления зависимости темпа от рядом макроэкономических показателей.

⁵ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Корреляционно-регрессионный анализ

Введем обозначения:

$S(t)$ - стоимость потребительской корзины в месяце t по данным Федеральной службы государственной статистики [1], где $t=1,2,\dots,n$; $t = 1$ соответствует январю 2008 года, а $t = n$ - декабрю 2016 года;

$Z_1(t)$ - среднее значение курса доллара в рублях в месяце t ;

$Z_2(t)$ - средняя цена барреля нефти марки Brent в месяце t ;

$Z_3(t)$ - процент числа безработных в месяце t ;

$Z_4(t)$ - величина ВВП в месяце t ;

$Z_5(t)$ - величина среднедушевого денежного дохода в месяце t ;

$Y(t)$ - темп инфляции, определяемый по формуле:

$$Y(t) = \frac{(S(t) - S(t-1))}{S(t-1)} \cdot 100, \quad t = 2, \dots, n \quad (1)$$

В качестве факторов, влияющих на Y , рассмотрим следующие показатели: X_1 - увеличение стоимости доллара по отношению к рублю; X_2 - темп роста цены на нефть марки Brent; X_3 - темп роста числа безработных; X_4 - темп изменения показателя ВВП; X_5 - среднедушевые денежные доходы населения. Значения этих факторов будем получать из соответствующих статистических данных по формулам:

$$X_i(t) = \frac{(Z_i(t) - Z_i(t-1))}{Z_i(t-1)} \cdot 100, \quad i = \overline{1,5} \quad (2)$$

Для определения связи между данными строим матрицу парных корреляций (Таблица 1). Связь между параметрами $X_i, i = \overline{1,5}$ и Y по шкале Чеддока можно характеризовать как

умеренную и положительную для X_1, X_2, X_3 и как умеренную отрицательную для X_4, X_5 .

Таблица 1. Матрица парных корреляций

		Y	x1	x2	x3	x4	x5
Y	Корр.Пирсона	1	,249* *	0,14 6	,269* *	- *,395*	- *,345*
	Знач.		0,01	0,13 2	0,005	0	0
x1	Корр.Пирсона	,249* *	1	0,00 5	0,113	- *,405*	- 0,081
	Знач.	0,01		0,95 9	0,248	0	0,406
x2	Корр.Пирсона	0,146	0,005	1	- 0,035	0,127	0,063
	Знач.	0,132	0,959		0,717	0,194	0,518
x3	Корр.Пирсона	,269* *	0,113	0,03 5	1	- *,312*	0,105
	Знач.	0,005	0,248	0,71 7		0,001	0,283
x4	Корр.Пирсона	- *,395*	- *,405*	0,12 7	- *,312*	1	0,151
	Знач.	0	0	0,19 4	0,001		0,122
x5	Корр.Пирсона	- *,345*	- 0,081	0,06 3	0,105	0,151	1
	Знач.	0	0,406	0,51 8	0,283	0,122	

** . Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

После определения степени и характера связи, перейдем к построению уравнения регрессии. Из результатов, представленных в таблице 1 можно утверждать об отсутствии мультиколлинеарности между факторами $X_i, i = \overline{1,5}$, поэтому на первом этапе используем все факторы для определения линии регрессии. Построение производим с помощью статистического пакета SPSS Statistics 23 с использованием рекомендаций работы [2]. Результаты расчетов представлены в таблицах 2 – 4

Таблица 2. Коэффициенты^а

Модель	Нестандартизованные коэффициенты		Стандартизованные коэффициенты	t	Значимость
	B	Стандартная ошибка	Бета		
1 (Конс т.)	0,841	0,078		10,777	0
	x1 0,016	0,016	0,087	0,981	0,329
	x2 0,023	0,009	0,209	2,538	0,013
	x3 3,902	1,555	0,218	2,509	0,014
	x4 -	0,024	-0,268	2,815	0,006
	x5 -	0,004	-0,334	4,002	0
2 (Конс т.)	0,864	0,074		11,613	0
	x2 0,023	0,009	0,214	2,606	0,011

x3	3,88 3	1,555	0,217	2,49 8	0,014
x4	- 0,07 6	0,022	-0,304	- 3,46 4	0,001
x5	- 0,01 4	0,004	-0,336	- 4,02 6	0

а. Зависимая переменная: Y

В итоге на первом этапе получаем следующее уравнение регрессии:

$$Y(X) = 0,841 + 0,016 \cdot X_1 + 0,023 \cdot X_2 + 3,902 \cdot X_3 - 0,067 \cdot X_4 - 0,014 \cdot X_5 \quad (3)$$

Однако, как следует из таблицы 2, коэффициент при X_1 не является значимым, поэтому мы исключили соответствующий фактор из модели и получили второе уравнение регрессии:

$$Y(X) = 0,864 + 0,023 \cdot X_2 + 3,883 \cdot X_3 - 0,076 \cdot X_4 - 0,014 \cdot X_5 \quad (4)$$

Таблица 3. ANOVA^a

Модель	Сумма квадратов	ст.св	Средний квадрат	F	Значимость	
1	Регрессия Остаток Всего	27,324 54,955 82,28	5 101 106	5,465 0,544	10,04 4	,000 ^b
2	Регрессия Остаток Всего	26,801 55,479 82,28	4 102 106	6,7 0,544	12,31 9	,000 ^c

а. Зависимая переменная: Y ; б. Предикторы: (константа), x_5 , x_2 , x_1 , x_3 , x_4

с. Предикторы: (константа), x_5 , x_2 , x_3 , x_4

Таблица 4. Сводка для модели^с

Модел ь	R	R- квадр ат	Скорректирован ный R-квадрат	Стандартн ая ошибка оценки	Дарби н- Уотсо н
1	,576 _a	0,332	0,299	0,7376405 57	
2	,571 _b	0,326	0,299	0,7375011 47	1,486

а. Предикторы: (константа), x_5 , x_2 , x_1 , x_3 , x_4

б. Предикторы: (константа), x_5 , x_2 , x_3 , x_4

с. Зависимая переменная: Y

Согласно результатам, представленным в таблицах 3 и 4, для уравнения (4) можно сделать следующие выводы: уравнение значимо, связь темпа инфляции за месяц со всеми факторами, входящими в правую часть уравнения умеренная; примерно 33% вариации темпа инфляции учтено в модели и обусловлено влиянием включенных факторов. При этом следует заметить, что относительно невысокое значение коэффициента R-квадрат свидетельствует скорее не о неудачном выборе факторов, а наличии эффекта запаздывания, суть которого, по нашему мнению, состоит в следующем. С ростом инфляции состояние экономики ухудшается, что приводит к ослаблению рубля, росту безработицы, снижению ВВП, падению реального дохода на душу населения. Полученное нами уравнение не противоречит этому очевидному выводу, а подтверждает его. Однако все эти события происходят не одновременно, а с некоторым сдвигом во времени. Поэтому для исследования проблем, связанных с инфляцией, по-видимому, необходимо

также использовать аппарат временных рядов. Однако эта задача выходит за рамки данной работы.

Литература

1. Федеральной службы государственной статистики – <http://www.gks.ru/>.
2. Многомерный статистический анализ в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS. Учеб. пособие/ Под. ред. И. В. Орловой. - М.: Вузовский учебник, 2014. - 310 с

ПОСТРОЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ С ГРУППОВЫМИ ЗАЯВКАМИ ДЛЯ АНАЛИЗА СХЕМ ДОСТУПА К РЕСУРСАМ В СЕТЯХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ⁶

Бесчастный В.А.¹, Наумов В.А.²

¹*Российский университет дружбы народов,
beschastnyu_va@rudn.university,*

²*Исследовательский Институт Инноваций г. Хельсинки
valeriy.naumov@pfu.fi*

В работе рассматривается производительность сетей на базе технологии LTE при передаче сообщений между транспортными средствами в условиях различных конфигураций сети и параметров нагрузки. С помощью методов теории массового обслуживания получены выражения для расчета показателей надежности и задержек в сети, а также проведен их численный анализ.

Ключевые слова: сети транспортных средств, дискретное моделирование, LTE.

Одной из главных задач сетей транспортных средств (СТС) является обеспечение безопасности дорожного движения: специальные приложения позволяют оповещать водителей об опасностях, возникающих на их пути, или даже предпринимать необходимые действия в автоматическом режиме для предотвращения происшествий [1]. В то же время такие приложения могут позволить обмен данными на более высоких скоростях с минимальными задержками [2]. Активное внедрение СТС ожидается в начале 2020—х годов, когда будет построена дорожная инфраструктура, и подготовлена регулятивная база. Технологии транспортных сетей основаны на технологиях прямого взаимодействия устройств (D2D, англ.

⁶ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Device-to-Device communications). Один из наиболее простых способов организации транспортных сетей описан в стандарте IEEE 802.11p для самоорганизующихся СТС (VANET, англ. Vehicular Ad hoc Network). Однако согласно этому стандарту требуется дорогостоящее оборудование, способное поддерживать технологии беспроводных сетей малого радиуса действия (DSRC, англ. Dedicated Short-Range Communications) и включающее большое количество дополнительных точек доступа, называемых единицами дорожной инфраструктуры (RSU, англ. Road Side Unit). В качестве альтернативного подхода можно предложить использовать инфраструктуру существующих сетей LTE (англ. Long Term Evolution), которые обладают преимуществами широкополосных сетей, такими как надежность, широкое покрытие и невысокая стоимость. Но в этом случае необходимо решить несколько важных задач, в том числе распределение ресурсов сети, обеспечение качества обслуживания и влияние СТС на обычных пользователей сетей LTE [3]. В этой работе мы проводим анализ отказов в обслуживании и среднее время передачи сообщений [4]. Мы рассматриваем две наиболее распространённые дисциплины обслуживания: FCFS (англ. First-Come First-Serve) и SJF (англ. Shortest Job First). В нашем сценарии ТС равномерно распределены на плоскости, и предполагается, что их перемещением в условиях кратковременного обслуживания можно пренебречь. Для построения математической модели применяются методы стохастической геометрии и теории массового обслуживания, позволяющие получить точные оценки рассматриваемых характеристик [5].

Выводы

В работе проведен анализ дисциплин обслуживания, предложенная математическая модель позволяет получить точные оценки вероятности потерь и средней длительности передачи пакетов данных без необходимости в ресурсоемких вычислениях имитационного моделирования.

Литература

1. *Giuseppe Araniti, Claudia Campolo, Massimo Condoluci, Antonio Iera, and Antonella Molinaro*. LTE for vehicular networking: a survey. *IEEE Communications Magazine*, 51(5):148–157, (2013).
2. *Sergey Andreev, Alexander Pyattaev, Kerstin Johnsson, Olga Galinina, and Yevgeni Koucheryavy*. Cellular traffic offloading onto network-assisted device-to-device connections. *IEEE Communications Magazine*, 52(4):20–31, (2014).
3. *Alessandro Bazzi, Barbara M. Masini, and Ilaria Zanella, Alberto adn Thibault*. Beaconing from Connected Vehicles: IEEE 802.11p vs. LTE-V2V. *IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1–6, (2016).
4. 3GPP. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Networks; Radio Frequency (RF) system scenarios (Release 9). Technical Report 25.942 v9.0.0, 12. (2009).
5. Attahiru Sule Alfa. *Queueing Theory for Telecommunications* (2010).

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАХОВОЙ КОМПАНИИ В ВИДЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ $M, GI|GI|_{\infty}$ С КАТАСТРОФАМИ

Бронер В.И., Зайцев А.В.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
zaytsevantosio@yandex.ru*

В данной работе построена имитационная модель системы массового обслуживания $M, GI|GI|_{\infty}$ с отрицательными заявками.

Ключевые слова: имитационное моделирование, системы массового обслуживания, страхование.

Введение

Существуют различные модели страховых компаний. Классическая модель страховой компании рассматривается в работе [1]. В [2] рассматривается страховая компания при дважды стохастическом потоке страховых выплат и малой нагрузке страховой премии.

В данной работе будет построена математическая модель страховой компании в виде системы массового обслуживания $M, GI|GI|_{\infty}$ с катастрофами и исследована методом имитационного моделирования.

Постановка задачи

Рассмотрим (рис. 1) страховую компанию в виде системы массового обслуживания с неограниченным числом приборов и отрицательными заявками.

Моменты прихода клиентов компании, желающих заключить договор страхования имущества от катастроф, образуют пуассоновский поток положительных заявок с параметром λ . Положительная заявка, поступившая в систему, встает на прибор и начинает обслуживание. Время обслуживания заявки, то есть время действия договора, заключенного с каждым

клиентом, будем считать случайной величиной с функцией распределения $B(x)$.

Моменты наступления страховых случаев образуют поток отрицательных заявок, длины интервалов между событиями которого являются независимыми случайными величинами, имеющими функцию распределения $G(x)$. При наступлении события из отрицательного потока заявок с вероятностью $1 - r$ для клиента наступает страховое событие, компания исполняет свои обязательства по договору и договор считается закрытым, заявка завершает обслуживание и покидает систему. С вероятностью r для клиента компании страховое событие не наступает, следовательно, заявка продолжает обслуживание на приборе.

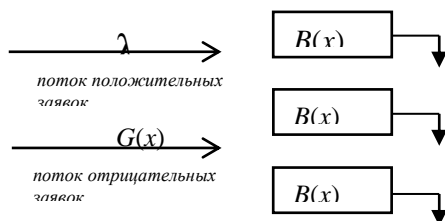


Рис. 1. Система управления запасами массового обслуживания $M, GI|GI|\infty$ с отрицательными заявками

Следует отметить, что в случае, когда $r = 0$, исследование данной системы массового обслуживания возможно аналитическими методами, а при $r = 1$, данная система сводится к известной системе массового обслуживания $M|GI|\infty$. В остальных случаях исследование данной системы является затруднительным.

Ставится задача нахождения стационарного распределения числа занятых приборов в системе путем имитационного моделирования.

Имитационная модель

В ходе данной работы была построена имитационная модель системы массового обслуживания с неограниченным числом

обслуживающих приборов, с простейшим потоком положительных заявок, рекуррентным потоком отрицательных заявок, длины интервалов между наступлениями событий которого реализованы со следующими видами распределений: экспоненциальное, равномерное, гамма, логнормальное.

Результатом работы имитационной модели является ряд распределения числа активных договоров компании, построенный на основе данных моделирования, и количество положительных заявок, поступивших в систему за время T .

Для проверки адекватности имитационной модели, сравнивались численные результаты и результаты имитационного моделирования с помощью расстояния Колмогорова между эмпирической функцией распределения, полученной на основе имитационного моделирования, и функцией распределения, полученной аналитически.

При простейшем потоке положительных заявок, рекуррентном потоке отрицательных заявок и различных распределениях $B(x)$ расстояние Колмогорова составило менее 0,05, что говорит об адекватности имитационной модели.

Выводы

В данной работе построена имитационная модель системы массового обслуживания $M,GI|GI|_{\infty}$ с отрицательными заявками. Получены эмпирические ряды распределений числа занятых приборов системы при равномерном, гиперэкспоненциальном, логнормальном и гамма распределениях времени обслуживания положительной заявки.

Литература

1. Глухова Е. В., Змеев О. А., Лившиц К. И. Математические модели страхования. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. -180 с.
2. Бублик Я.С. Вероятность разорения страховой компании при дважды стохастическом потоке страховых выплат / К.И. Лившиц, Я.С. Бублик // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – № 1 (10). – С. 66–77.

ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ НА ВИДЕО С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ⁷

Буйко А.Ю.

*Российский университет дружбы народов,
sas6092@yandex.ru*

Исследование методов компьютерного зрения и глубокого обучения в рамках задачи распознавания действий на видео.

Ключевые слова: компьютерное зрение, дескрипторы, глубинное обучение, рекуррентные нейронные сети, LSTM RNN, анализ видео.

Введение

Сегодня, в условиях стремительного возрастающего объёма накапливаемой информации, анализируется менее одного процента всего объёма. С каждым днём, всё более актуальной становится задача автоматического анализа видеопотоков и выделения из них значащей семантической информации. Например, видео с дорожных и уличных камер могут содержать как моменты рядовых событий, так и моменты правонарушений, которые требуют своевременной фиксации и передачи в правоохранительные органы. Автоматическая идентификация, при помощи камер наружного наблюдения, преступников и террористов по характерным жестам, позволит существенно упростить работу правоохранительных органов и, потенциально, спасти множество жизней.

В рамках данной работы был проведён анализ существующих методов, обработки и классификации видеопотоков и выявления на них определённых типов действий.

Алгоритмы компьютерного зрения и глубокого обучения

В большинстве работ, связанных с рассматриваемой темой, используются методы компьютерного зрения, либо машинного обучения.

⁷ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

В данной работе предполагается использование подхода, схожего со схемами, приложенными в работах [1], [2], [3]. В этих работах использовались комбинации методов компьютерного зрения и машинного обучения. Все видео были представлены наборами дескрипторов, полученных с помощью алгоритма компьютерного зрения SIFT. Дескриптором называется числовой или бинарный вектор описывающий ключевую точку, который отражает особенности её окрестности, такие как форма, цвет или текстура. Непосредственно для классификации использовались методы машинного обучения: опорные вектора (SVM) в [1], k-ближайших соседей (kNN) в [2] и рекуррентная нейронная сеть (RNN) в [3]. В данной работе, дескрипторы будут вычисляться с помощью алгоритмов SIFT, BRISK, ORB, AKAZE, а в качестве классификатора была выбрана рекуррентная нейронная сеть (PHC, англ. Recurrent neural network; RNN) с ячейкой долгой краткосрочной памяти (англ. Long short-term memory; LSTM) – LSTM RNN.

PHC отличаются от традиционных искусственных нейронных сетей наличием обратных связей (как внутри, так и между слоями), что позволяет при анализе текущего набора входных значений учитывать результаты предыдущих итераций. Данная особенность позволяет говорить о наличии «эффекта памяти», позволяющего анализировать последовательности подаваемых на вход данных. Ячейка LSTM позволяет обычной PHC учитывать долгосрочные зависимости между подаваемыми на вход данными.

Дополнительно, предполагается использование метода представления информации: «мешок слов» (Bag of Words; BoW). Основная идея BoW заключается в том, чтобы представлять изображения (кадры видео) с помощью гистограммы встречаемости визуальных слов, соответствующих каждому набору локальных признаков (дескрипторов), извлеченных из изображений. Такой метод позволяет работать непосредственно с частями действующего на видео объекта, что

позволит сократить время обработки, нежели при анализе каждой отдельно взятой точки.

Модель, распознающая действия на видео

Предполагается, что изначально имеется ограниченный набор известных действий (классов) и размеченный набор видеофайлов, где каждое видео содержит фон и объект, совершающий некоторое действие, например, прогулка, бросок мяча и т.д. Постановка задачи заключается в том, чтобы научиться классифицировать видео по критерию действия, совершаемого объектом, а именно, найти наиболее вероятный класс действия на видео.

На рисунке 1 представлена общая схема предлагаемого подхода и ниже следует описание.

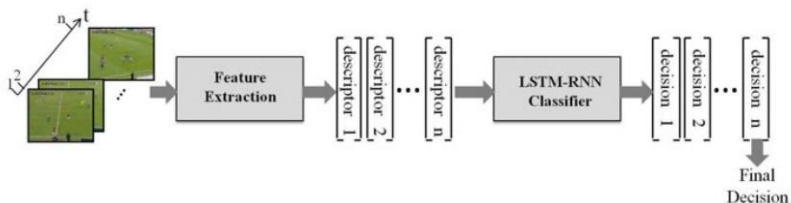


Рис. 1. Схема модели распознающей действия на видео.

Изначально, чтобы уменьшить объем обрабатываемой информации, все видео переводятся в последовательность векторов с помощью алгоритмов поиска дескрипторов. Дескрипторы позволяют сохранить основную информацию с минимальными потерями. В результате, один видеофайл будет представлять собой массив из дескрипторов кадров.

Далее, для каждого кадра составляется «справочник», состоящий из близлежащих дескрипторов. Затем, для каждого видео связываются одинаковые значения из «справочников» изображений одного видео и составляется «мешок слов», который представляет собой упорядоченный массив из наиболее часто встречающихся дескрипторов (визуальный контент) и массив смещений (набор переходов между кадрами).

Полученные «мешки слов» являются набором базовых движений.

Затем, для классификации «мешков слов» используется рекуррентная нейронная сеть с LSTM-ячейкой. Использование такой сети обусловлено её способностью работать с длинными последовательностями данных. Далее, такая нейронная сеть обучается методом обратного распространения ошибки по времени. На вход сети передаются видео из обучающей выборки (представленные «мешками слов») и на выходной слой передается информация о классах, к которым принадлежат эти видео. После некоторого числа итераций (подбирается эмпирически), обученный классификатор, должен выдавать вероятность, того к какому из известных классов принадлежит переданное на вход видео.

Выводы

В ближайшее время планируется проверить работоспособность предлагаемого подхода, а в случае успеха оценить эффективность работы. В частности, будет проведена оценка влияния используемых алгоритмов вычисления дескрипторов на точность распознавания действий. После нахождения наиболее эффективной конфигурации (подбора оптимальных коэффициентов: размера «мешка слов», итераций обучения сети и размера слоев) будет проведено сравнение предлагаемого подхода с т.н. «state-of-art» работами.

Литература

1. *Ekin, A., Tekalp, A., Mehrotra, R.* Automatic Soccer Video Analysis and Summarization. // IEEE Transactions on Image Processing 12(7) (2003)
2. *Ballan, L., Bertini, M., Del Bimbo, A., Serra, G.* Action categorization in soccervideos using string kernels. // In: Proc. of IEEE CBMI, Chania, Crete (2009)
3. *Moez Baccouche and Franck Mamalet* Action Classification in Soccer Videos with Long neural networks. // Technical Report IDSIA-07-02, IDSIA / USI-SUPSI.

МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТ LSA В СЕТИ 3GPP LTE ⁸

Булычев А.А., Острикова Д.Ю.

*Российский университет дружбы народов,
andbulychev@yandex.ru, ostrikova_dyu@rudn.university*

Построена математическая модель доступа к ресурсам совместного использования в беспроводной сети 3GPP LTE. Выведены формулы для расчетов основных характеристик моделей (средняя длина очереди, вероятность блокировки, вероятность того, что приборы ненадежны).

Ключевые слова: беспроводные сети связи стандарта 5G, LSA (Licensed Shared Access), модель совместного использования ресурсов.

Введение

Предполагается, что системы связи пятого поколения (5G) обеспечат увеличение мощности от 1000 до 10 000х по сравнению с технологией 4-го поколения (4G). Для этой амбициозной цели необходимо определить новый спектр частот для применения 5G [1]. Были внедрены новые механизмы управления использованием спектра частот, например, технология TV White Space (TVWS).

Основной принцип связан с идеей предоставления нелицензированным вторичным устройствам доступа к спектру в определенных географических точках и / или в течение определенных временных интервалов, в ограниченной географической области спектра частот, где он не будет мешать передаче или приему наземного телевидения.

Благодаря урокам, извлеченным из внедрения системы TVWS, в Европе и США развивается усовершенствованная технология разделения спектра второго поколения, так называемая схема лицензированного общего доступа (Licensed Shared Access - LSA). Ожидается, что эта система станет ключевым

⁸ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

компонентом управления спектром частот в сетях будущих поколений.

Обзор использования лицензионного совместного доступа (LSA)

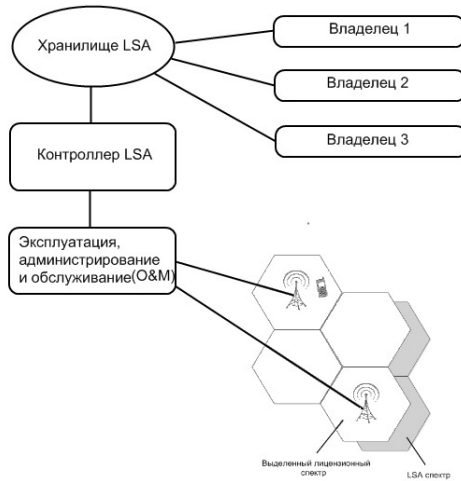


Рис.1. Архитектура LSA

На рисунке 1 предоставлена архитектура LSA. По соглашению между сторонами, владелец обязан освободить полосу в установленной геолокации, установленного частотного диапазона на заданный промежуток времени. Управление использованием спектра в основном опирается на централизованную базу данных, известную как Хранилище LSA. Должностные лица обязаны предоставлять априорную информацию об использовании в базе данных о доступности спектра LSA в пространстве и времени. В зависимости от этой информации система LTE либо получает доступ, либо запрашивает освобождение соответствующих полос через механизмы управления в контроллере LSA.

Математическая модель

На систему, состоящую из C ненадежных приборов, а также очередь размера r , поступает пуассоновский поток заявок с

интенсивностью λ . Предполагается, что находящиеся заявки на ненадежных приборах резервируют за собой место в очереди. При этом ненадежные приборы могут отказать с интенсивностью α , а затем через некоторое время восстановиться с интенсивностью β . Отказ и восстановление приборов распределены по экспоненциальному закону. Если в момент поступления заявки в система имеются свободные приборы, то заявка поступает на свободный прибор и обслуживается на нем в течение некоторого времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром μ . Если же при поступлении заявки в систему свободных приборов нет, то заявка занимает место в очереди. В случае если в очередь нет свободных мест, то заявка теряется. Если ненадежные приборы отказывают, то заявка возвращается в очередь на место, которое она зарезервировала. Когда ненадежные приборы восстанавливаются, заявки немедленно занимают свободные приборы и продолжают обслуживаться с того места, на котором они были прерваны.

Заявка будет обслуживаться без прерывания, если за время ее обслуживания не произойдет отказ приборов. Если же за время обслуживания заявки приборы откажут, то возникнет задержка в обслуживании до момента их восстановления, далее заявка будет обслуживаться с того момента, на котором была прервана. Таким образом, данную систему можно описать в виде многолинейной СМО с ненадежными приборами [2,3].

Пусть $M_1(t)$ – число заявок в очереди, ожидающих начала обслуживания в момент t , $M_2(t)$ – число заявок в очереди с прерванным обслуживанием в момент t , а $N(t)$ – число заявок на ненадежных приборах в момент t . Тогда функционирование системы можно описать составным марковским СП $\{(N(t), M_1(t), M_2(t)), t \geq 0\}$ над пространством состояний:

$$X := \{(n, m_1, m_2) : (n, 0, 0), n = 0, 1, \dots, C; (C, m_1, 0), m_1 = 1, \dots, r - C; (0, m_1, m_2), m_1 \geq 0, 1 \leq m_2 \leq C, m_1 + m_2 \leq r\}.$$

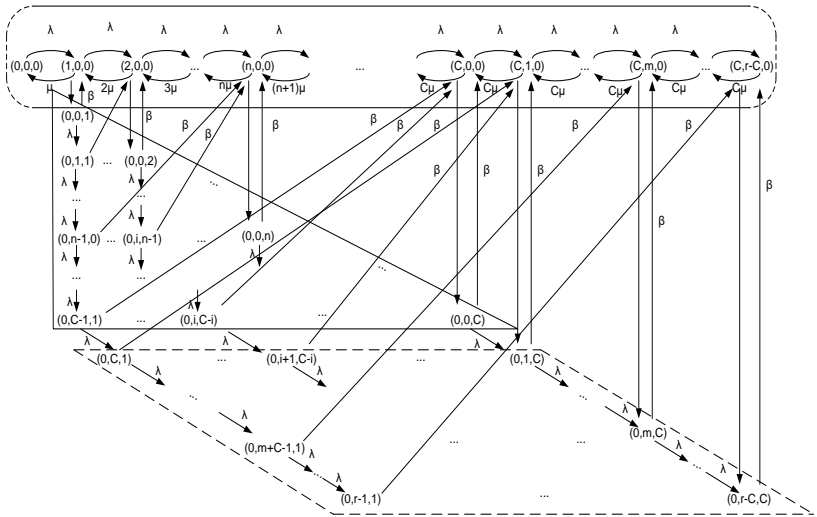


Рис. 1. Диаграмма интенсивностей переходов СП

$$\{(N(t), M_1(t), M_2(t)), t \geq 0\}$$

Получим основные характеристики:

$$Q = \sum_{m_1=1}^{r-C} m_1 p(C, m_1, 0) + \sum_{m_2=1}^C \sum_{m_1=0}^{r-m_2} m_1 p(0, m_1, m_2) + \sum_{m_2=1}^C \sum_{m_1=0}^{r-m_2} m_2 \cdot p(0, m_1, m_2), \quad (1)$$

где Q – средняя длина очереди.

$$B = p(C, r - C, 0) + \sum_{m_2=1}^C p(0, r - m_2, m_2), \quad (2)$$

где B – вероятность блокировки.

$$P\{s = 0\} = \sum_{m_2=1}^C \sum_{m_1=0}^{r-m_2} p(0, m_1, m_2), \quad (3)$$

где $P\{s = 0\}$ – вероятность того, что приборы ненадежны.

Выводы

Таким образом, в работе была рассмотрена математическая модель доступа к ресурсам совместного использования в беспроводной сети LTE, а также выведены формулы основных характеристик – средняя длина очереди, вероятность блокировки, вероятность того, что приборы ненадежны.

Литература

1. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С. Перспективы сетей 5G и требования качеству их обслуживания // Электросвязь. – 2014. – № 11. – С. 40–43
2. Печинкин А.В., Соколов И.А., Чаплыгин В.В. Многолинейные системы массового обслуживания с независимыми отказами и восстановлениями приборов // Системы и средства информатики. – 2006. – Спец. вып. – С. 101–125.
3. Gudkova I., Samouylov K., Ostrikova D., Mokrov E., Ponomarenko-Timofeev A., Andreev S., and Koucheryavy E. Service failure and interruption probability analysis for licensed shared access regulatory framework // Proc. of the 7th Int. Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2015 (October 3–5, 2012, St. Petersburg, Russia). – IEEE. – 2015. – 123-131.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА И ПУБЛИЧНО ДОСТУПНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ФОРМУЛИРОВАНИЯ И ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ О СТАТИСТИЧЕСКОЙ ВЗАИМОСВЯЗЯХ ЗНАЧИМЫХ ПРОБЛЕМ И ЯВЛЕНИЙ⁹

Васильев С.А., Фролов А.В.

*Российский университет дружбы народов,
vasilyev_sa@rudn.university*

В работе исследованы возможности и практическое применение свободно доступных средств статистического анализа гипотез непрофессиональными исследователями.

Ключевые слова: статистика, эконометрика, проверка гипотез, анализ данных, автоматизация исследований.

Введение

Жизнь в информационную эпоху предоставляет возможность сбора и накопления сведений в практически любой области знаний и со скоростью, совершенно недостижимой во времена отсутствия интернета, электронных библиотек, теле- и радиовещания. К сожалению, колоссальный объем доступной информации делает все более актуальной проблему оценки качества получаемых сведений, их полноты и достоверности [1].

Использование открытых инструментов анализа и публично доступных данных

В общественных дискуссиях и медиа пространстве ежедневно циркулирует множество заблуждений, распространяются утверждения, основанные на недостоверной или неправильно интерпретированной информации. Данная ситуация обуславливается как действием существующих средств маркетинга и пропаганды, особенностями человеческого

⁹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

мышления и психологии, так и неизбежным различием в степени подготовленности, эрудированности и объективности источников и получателей информации в условиях, когда создавать и распространять новые сведения стало проще, чем когда-либо прежде. Широкий пласт суждений неочевидной достоверности, ошибочно принимаемых получателем информации за апостериорно истинные, может быть подвергнут статистическому и эконометрическому исследованию для доказательства или опровержения. Однако принято считать, что такие средства анализа доступны только профессионалам, прошедшим многолетнюю подготовку или использующие какие-то особенные (чрезвычайно дорогие или трудные для понимания обывателем) средства.

В данной работе предлагается методика использования открытых инструментов анализа и публично доступных данных для формулирования и проверки гипотез о статистической взаимосвязях значимых проблем и явлений.

Выводы

Использование предлагаемых инструментов, источников данных и способов анализа представляет большой интерес с точки зрения рационализации собственных убеждений или проверки качества поступающей информации и ее источника.

Литература

1. *Черепанов Е.В.* Стохастические методы анализа данных выборочных маркетинговых и социальных обследований. // Прикладная эконометрика. Научно-практический журнал. М.: ЦЭМИ РАН. - 2 (22). – 2011. - С.48-61.

ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ УСЛУГ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G¹⁰

Васильев С.А., Царева Г.О.

*Российский университет дружбы народов,
vasilyev_sa@rudn.university*

Исследуется система массового обслуживания для мобильных сетей стандарта 5G и строится схема ценообразования услуг с условием максимизации прибыли телекоммуникационных компаний.

Ключевые слова: мобильная сеть 5G, экономичное моделирование.

Введение

Серьезной проблемой в сфере телекоммуникационных услуг стало наличие «нетерпеливых» пользователей, которые отказываются от передачи данных, когда время их передачи превышает некоторое значение. Такое явление отрицательно сказывается как на качество предоставления услуг, так и для компаний, поскольку радиоресурсы сети бесполезно расходуются «нетерпеливыми» пользователями. Эта проблема станет более остро в случае внедрения сетей 5G.

Построение модели ценообразования на услуги мобильных сетей 5G

Специалистами были разработаны приложения моделей теории массового обслуживания, которые включают в себя концепцию с «нетерпеливыми» пользователями, и эти подходы имеют особое значение для экономического анализа, так как они оказывает очень большое влияние на понимание механизмов получения доходов телекоммуникационными компаниями. Все склонны считать, что удержание пользователей является ключевым вопросом для любых телекоммуникационных компаний, сталкивающихся с проблемой «нетерпеливых» клиентов.

¹⁰ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Наличие «нетерпеливых» клиентов стало объектом исследования в нескольких работах, посвященных фиксированной и мобильной связи. Понятие «нетерпеливый» клиент появилось в теории массового обслуживания в работе Ф.Хэйта [1]. В работе [2] была получена версия формулы Эрланга, которая исторически применялась в предположении, что продолжительность обслуживания не зависит от количества ресурсов, выделяемых пользователю, для случая, когда продолжительность обслуживания пропорциональна количеству ресурсов, полученных пользователем. В работе [3] была построена модель и проанализирован трафик для случая наличия «нетерпеливых» пользователей в случае перегрузки, когда средняя интенсивность заявок превышает среднюю скорость их обслуживания. В работе [4] рассмотрен показатель качества (QoE) для мобильных сетей связи, который менялся из-за наличия нетерпеливых пользователей.

В этой работе предложен метод анализа нагрузки в сетях 5G при наличии «нетерпеливых» пользователей. Исследуется система массового обслуживания с наличием «нетерпеливых» абонентов в случае мобильных сетей 5G и строится схема ценообразования на услуги с условием максимизации прибыли телекоммуникационными компаниями.

Выводы

Так как серьезной проблемой в сфере телекоммуникационных услуг стало наличие «нетерпеливых» пользователей, то можно построить экономический механизм удержания «нетерпеливых» абонентов с помощью методов ценообразования.

Литература

1. *Haight F. A.* Queueing with Reneging // *Metrika* - Vol. 2. – 1959. - Pp. 186-197.
2. *Baccelli F., Hebuterne G.* On queues with impatient customers // *Performance*. - Vol. 81. - 1981. - Pp. 159–179.
3. *Bonald J.R.T.* Congestion at flow level and the impact of user behavior // *Computer networks*. - Vol. 42. – 2003. - Pp. 521–536.

4. *Elayoubi S. E., Fricker C., Guillemin F., Robert P., Sericola B.* Impatience in mobile networks and its application to data pricing // 2014. - [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1411.2102>.
5. *Kumar R., Sharma S.K.* Queuing with renegeing, balking and retention of renegeed customers // International journal of mathematical models and methods in applied sciences. - Issue 7, Vol. 6. - 2012. - Pp. 819–828.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ФЕРХЮЛЬСТА В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ SYMPY¹¹

Велиева Т.Р., Завозина А.В.

*Российский университет дружбы народов,
velieva_tr@rudn.university, zavozinaa@bk.ru*

В работе описывается реализация алгоритма стохастизации для модели Ферхюльста в системе компьютерной алгебры SymPy.

Ключевые слова: модель Ферхюльста, метод стохастизации.

Введение

Модель ограниченного роста Ферхюльста описывает динамику численности популяции [1-2]. Для реализации операции стохастизации модели Ферхюльста [1-2] используется система компьютерной алгебры SymPy[3].

Обоснование выбора системы компьютерной алгебры

В статье [4] рассматривается вопрос выбора системы компьютерной алгебры для решения подобных задач. В этой работе остановимся на построении данной модели в системе компьютерной алгебры SymPy, так как в ней реализована парадигма REPL (Read-Eval-Print Loop), есть возможность интегрирования результатов в другие программные продукты и получение численных расчетов посредством NumPy.

Стохастизация модели Ферхюльста

Алгоритм получения стохастического дифференциального уравнения для модели Ферхюльста заключается в выполнении однотипных ресурсоемких операций над векторными данными при использовании в качестве исходных данных схем взаимодействия [1-2]. Основные вычисления реализуются в виде четырех функций: нахождение элемента, вычисление вероятностей переходов, получение вектора сноса и матрицы

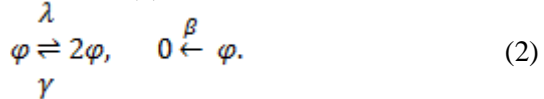
¹¹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и частично при поддержке грантами РФФИ № 15-07-08795, 16-07-00556.

диффузии. Все четыре функции можно реализовать в системе компьютерной алгебры SymPy.

Детерминистическая модель имеет вид:

$$\dot{\varphi} = \lambda\varphi - \beta\varphi - \gamma\varphi^2 \quad (1)$$

где λ – коэффициент интенсивности размножения, β – коэффициент интенсивности вымирания, γ – коэффициент интенсивности уменьшения популяции. На основании (1) запишем схему взаимодействия (2):



Первое прямое соотношение (2) означает репродукцию особи, первое обратное соотношение – соперничество между особями, второе соотношение – гибель особи.

Поскольку задача одномерна, то вектор сноса и диффузии являются скалярами:

$$A(\varphi) = \lambda\varphi - \beta\varphi - \gamma\varphi^2, \quad B(\varphi) = \lambda\varphi + \beta\varphi - \gamma\varphi^2. \quad (3)$$

После некоторых вычислений выпишем стохастическое дифференциальное уравнение, соответствующее уравнению (1):

$$d\varphi(t) = (\lambda\varphi - \beta\varphi - \gamma\varphi^2)dt + \sqrt{(\lambda\varphi + \beta\varphi - \gamma\varphi^2)}dW(t). \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой стохастизированную модель Ферхюльста.

В системе компьютерной алгебры SymPy функция получения вектора сноса и матрицы диффузии выглядят следующим образом:

```
def drift_vector(X, K, I, F):
    Вектор"""" сноса""""
    res = sp.zeros(r=len(X), c=1)
    R = F.T - I.T
    for i in range(len(K)):
        res += R[:, i] * S(X, K, I)[i]
    return res
```

```
def diffusion_matrix(X, K, I, F):
    Матрица"""" диффузии""""
```

```

res = sp.zeros(r=len(X), c=len(X))
R = F.T - I.T
R = sp.Matrix(R)
for i in range(len(K)):
res += R[:, i] * R[:, i].T * S(X, K, I)[i]
return res

```

Выводы

Простейшая реализация алгоритма стохастизации модели Ферхюльста по заданным схемам взаимодействия существенно повышает производительность труда исследователя.

Литература

1. *Eferina E. G., Hnatich M., Korolkova A. V., Kulyabov D. S., Sevastianov L. A., Velieva T. R.* Diagram Representation for the Stochastization of Single-Step Processes // Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2016. Communications in Computer and Information Science / Ed. by V. M. Vishnevskiy, K. E. Samouylov, D. V. Kozyrev. — Cham : Springer, 2016. — Vol. 678. — P. 483–497
2. *Hnatič M., Eferina E. G., Korolkova A. V., Kulyabov D. S., Sevastyanov L. A.* Operator Approach to the Master Equation for the One-Step Process // EPJ Web of Conferences. — 2015. — Vol. 108. — P. 58–59.
3. *Eferina E. G., Kulyabov D. S.* Implementation of Diagram Technique for Statistical Systems in Sympy // 6th International conference “Problems of Mathematical Physics and Mathematical Modelling”. — Moscow : NRNU MEPhI, 2017. — P. 125–127.
4. *Eferina E. G., Korolkova A. V., Gevorkyan M. N., Kulyabov D. S., Sevastyanov L. A.* One-Step Stochastic Processes Simulation Software Package // Вестник РУДН. Серия: Математика. Информатика. Физика.— 2014. — №. 3. — P. 46–59.

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА SYMPY МОДЕЛИ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРРЫ¹²

Велиева Т.Р., Платонова А.А.

Российский университет дружбы народов,
velieva_tr@rudn.university, anuta_platonova@mail.ru

Целью данной работы является разработка программной реализации средствами компьютерной алгебры метода стохастизации одношаговых процессов. В работе предложено использовать систему компьютерной алгебры SymPy. Результаты работы программы продемонстрированы на модели Лотки-Вольтерры.

Ключевые слова: математическое моделирование, компьютерная алгебра, стохастические процессы.

Введение

Существует множество систем, описывающих взаимодействие двух популяций типа «хищник-жертва». Первой моделью данного типа считается модель Лотки-Вольтерры [1-3]. В данной работе применяется метод стохастизации к модели Лотки-Вольтерры. Метод стохастизации одношаговых процессов рассматривается в [4-5].

Средства компьютерной алгебры для реализации модели Лотки-Вольтерры

Для реализации метода стохастизации одношаговых процессов нами была выбрана система компьютерной алгебры SymPy. Данная система удовлетворяет всем требованиям: имеется возможность использовать блокнот Jupyter, являющийся компонентом системы iPython [6], в котором реализована идеология REPL (Read-Eval-Print Loop); выходные данные SymPy можно естественным образом передать для численных расчетов в библиотеку NumPy [7].

Алгоритм получения уравнения из схемы взаимодействия реализован как последовательность операций над векторными

¹² Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

данными. Исходными данными являются схемы взаимодействия, представленные в следующем виде: символьный вектор X представляет собой вектор состояния системы φ ; символьный вектор K представляет собой интенсивности взаимодействия, числовые матрицы I и F представляют собой начальное и конечное состояния.

Стохастизация модели Лотки-Вольтерры

Детерминистическую систему модели Лотки-Вольтерры можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{x} = k_1x - k_2xy, \\ \dot{y} = k_2xy - k_3y, \end{cases} \quad (1)$$

где x, y – взаимодействующие сущности (x – жертва, y – хищник), коэффициенты k_1, k_2, k_3 – интенсивности взаимодействия.

Вводим вектор состояний $\phi^i = (x, y)^T$. На основании (1) запишем схему взаимодействия:

$$\begin{aligned} x &\xrightarrow{k_1} 2x, \\ x + y &\xrightarrow{k_2} 2y, \\ y &\xrightarrow{k_3} 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Первое соотношение в схеме (2) означает, что жертва, употребившая единицу пищи, немедленно размножается. Второе описывает репродуцирование хищника после поглощения жертвы. Последнее соотношение – это естественная смерть хищника.

В программу передаются следующие значения:

$I = sp.Matrix([[1, 1, 0], [0, 1, 1]])$

$F = sp.Matrix([[2, 0, 0], [0, 2, 0]])$

$X = sp.Matrix(['x', 'y'])$

$K = sp.Matrix(['k_{0}'.format(i+1) for i in range(3)])$

Выводы

В данной работе рассмотрена простейшая реализация алгоритма стохастизации одношаговых процессов по заданным схемам взаимодействия модели Лотки-Вольтерры.

Литература

1. *Lotka A. J.* Contribution to the Theory of Periodic Reaction // The Journal of Physical Chemistry A. – 1910. – Vol. 14, no. 3. – P. 271-274.
2. *Lotka A. J.* Elements of Physical Biology // Williams and Wilkins Company. – 1925. – P. 435.
3. *Volterra V.* Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together // Journal du Conseil permanent International pour l' Exploration de la Mer. – 1928. – Vol. 3, no. 1 – P. 3-51.
4. *Гардинер К.В.* Стохастические методы в естественных науках. – Мир, 1986.
5. *Демидова А.В., Геворкян М.Н., Егоров А.Д., Королькова А.В., Кулябов Д.С., Севастьянов Л.А.* Влияние стохастизации на одношаговые модели// Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». 2014. № 1. С. 71–85.
6. *Perez F., Granger B.E.* IPython: A System for Interactive Scientific Computing // Computing in Science & Engineering. – 2007. Vol. 9, no. 3. P. 21-29.
7. *Oliphant T. E.* Guide to NumPy. – 2 edition. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. – P.364.

АНАЛИЗ ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИВЕЩАНИЯ И СВЯЗИ УСТРОЙСТВА С УСТРОЙСТВОМ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ¹³

Власкина А.С., Семенова О.В.

*Российский университет дружбы народов,
vlaskina.anastasia@yandex.ru, okvsemenova@mail.ru*

Работа описывает математическую модель для расчета задержки передачи данных с помощью мультимовещания и D2D соединения.

Ключевые слова: D2D, мультимовещание, беспроводные сети.

Введение

В настоящее время актуальной задачей исследования беспроводных сетей связи является выбор способа передачи информации от базовой станции ко всем пользователям, находящимся в соте. Показателем эффективности является задержка соединения, которая зависит от расположения устройств в соте и способа передачи информации. Таким образом, оптимизационной задачей исследования является сокращение времени передачи данных всем устройствам соты.

Алгоритм выбора разделения устройств на ресиверы и трансмиттеры

Дано:

$C = \{1, \dots, C\}$ – множество значений CQI.

$K = \{1, \dots, K\}$ – множество устройств.

$c_k \in C, k \in K$ – значения CQI от eNodeB до каждого устройства.

c_{kj} (k – трансмиттер, j – ресивер, $k, j \in K$) – значения CQI для каждого D2D соединения между устройствами.

¹³ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

$c_{kj} \in C \cup \{0\}$, $k \neq j \in K$ – между устройствами может отсутствовать возможность D2D соединения, в этом случае $c_{kj} = 0$.

$c_{kk} = 0$, $k \in K$ – устройство не осуществляет передачу файла самому себе.

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & \cdots & \cdots & \cdots & c_{1k} \\ \vdots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ \vdots & & c_{kj} & & \vdots \\ \vdots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ c_{k1} & \cdots & \cdots & \cdots & c_{kk} \end{pmatrix}$$

Постановка задачи:

$m \in C$ – заданный уровень CQI.

$K = K_m^{mul} \cup R_m$ – множество всех устройств делится на два подмножества K_m^{mul} и R_m , подмножество ресиверов, которые получают файл от eNodeB по мультивещанию и подмножество ресиверов, которые получают файл по D2D соединению, соответственно.

$T_m \subseteq K_m^{mul}$ – в свою очередь, T_m является подмножеством транмиттеров, которые могут передавать файл множеству ресиверов R_m .

$R_m(t)$, $t \in T_m$ – каждому транмиттеру на заданном уровне CQI m может соответствовать свое множество ресиверов.

$$R_m = \bigcup_{t \in T_m} R_m(t)$$

$T_m(r) = \{t \in K_m^{mul} : c_{tr} > 0\}$, $r \in R_m$ – для каждого ресивера существует множество транмиттеров, таких что уровень CQI между транмиттером t и ресивером r имеет значение отличное от 0. Т.е. существует возможность соединения.

$c_m^{max}(r) = \max_{t \in T_m(r)} c_{tr}$, $r \in R_m$ – максимальное значение CQI для

каждого ресивера по всем возможным трансмиттерам (при условии, что между устройствами возможно установление соединения), т.е. значение наилучшего соединения.

$T_m^{max}(r) = \{t \in T_m(r) : c_{tr} = c_m^{max}(r)\}$, $r \in R_m$ – трансмиттер для

каждого ресивера, такой что между ними возможно установление наилучшего соединения.

$$\begin{cases} |T_m| \rightarrow \min \\ T_m \subseteq \bigcup_{r \in R_m} T_m^{max}(r) \\ \forall r \in R_m \exists t \in T_m^{max}(r) \subset T_m \end{cases}$$

$T_m \subseteq \bigcup_{r \in R_m} T_m^{max}(r)$ – подмножество объединения всех

«наилучших» трансмиттеров для каждого ресивера составляет множество устройств, которые могут быть задействованы для передачи файла всему множеству ресиверов (с наибольшей скоростью).

$|T_m| \rightarrow \min$ – для обеспечения наибольшей результативности, мощность множества трансмиттеров необходимо минимизировать, при этом должно выполняться условие обслуживания всех устройств $\forall r \in R_m \exists t \in T_m^{max}(r) \subset T_m$.

$T_m^{max} = \bigcup_{r \in R_m} T_m^{max}(r)$ – множество трансмиттеров, которые

являются наилучшими по скорости передачи для ресиверов.

$R_m(t) = \{r \in R_m : t \in T_m^{max}(r)\}$, $t \in T_m^{max}$ – множество ресиверов

такое, что каждому ресиверу соответствует наилучший по скорости передачи трансмиттер.

$\square_m(t) = |R_m(t)|$, $t \in T_m^{max}$ – количество ресиверов для каждого трансмиттера.

Алгоритм нахождения минимизированного множества трансмиттеров и соответствующих им множеств ресиверов:

```

begin
i = 0
while  $R_m \neq \emptyset$ 
do  $i \leftarrow i + 1$ 
 $t_m(i) \leftarrow \arg \max_{t \in T_m^{max}} \square_m(t)$ 
 $R_m(t_m(i))$ 
 $T_m^{max} \leftarrow T_m^{max} \setminus \{t_i\}$ 
 $R_m \leftarrow R_m \setminus R_m(t_i)$ 
 $R_m(t) \leftarrow R_m(t) \setminus R_m(t_i), \quad t \in T_m^{max}$ 
 $\square_m(t) \leftarrow |R_m(t)|, \quad t \in T_m^{max}$ 
end

```

$(t_m(1), \dots, t_m(i))$ – вектор с минимизированным набором трансмиттеров, способных передать файл всем ресиверам (с наибольшей скоростью).

$(R_m(t_m(1)), \dots, R_m(t_m(i)))$ – вектор множеств ресиверов, соответствующих определённому трансмиттеру.

Задержка передачи данных

$$V^* = \min_{m \in \{1, 2, \dots, 15\}} \left\{ V_m = \frac{S}{b_m^{ul} N_m^{ul}} + \frac{S}{b_m^{dl} N_m^{dl}} \right\} \quad - \text{ суммарное время}$$

передачи видео-файла всем устройствам. V_m – суммарное время передачи видео-файла на заданном уровне m . b_m^{ul} – (min. gate cellular) диапазон для передачи сигнала от базовой станции к передатчикам (uplink) на определенном уровне качества CQI. b_m^{dl} – (min. rate D2D) диапазон для передачи сигнала от передатчика к устройствам через D2D соединение на определенном уровне качества CQI. N_m^{ul} – количество ресурсных блоков, выделенных под мультивещание. N_m^{dl} – количество ресурсных блоков, выделенных под D2D соединения. S – размер видео-файла.

Литература

1. *L. Militano, M. Condoluci, G. Araniti, A. Molinaro, A. Iera, and Gabriel-Miro Muntean.* Single Frequency-Based Device-to-Device-Enhanced Video Delivery for Evolved Multimedia Broadcast and Multicast Services. In: *IEEE Transactions on Broadcasting*, pp. 1–16 (2015).

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУЛИНЕЙНОЙ RQ-СИСТЕМЫ С НЕТЕРПЕЛИВЫМИ ЗАЯВКАМИ¹⁴

Выговская О.А., Федорова Е.А.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Osipovich.olga@bk.ru, moiskate@mail.ru

В работе получен вид асимптотической характеристической функции для числа заявок на орбите RQ-системы при условии долгой «терпеливости» заявок.

Ключевые слова: RQ-система, асимптотический анализ, нетерпеливые заявки.

Введение

Системы массового обслуживания с повторными вызовами или RQ-системы (Retrial Queueing System) – математические модели, широко применяемые для анализа и оптимизации различных телекоммуникационных систем, сетей мобильной связи, call-центров и др. Характерной чертой таких систем является наличие повторных обращений заявок к обслуживающему прибору спустя некоторое случайное время после неудачной попытки обслуживания. Такие ситуации могут быть вызваны не только отсутствием свободных серверов в моменты поступления заявок, но некоторыми техническими причинами. Детальное описание RQ-систем и результатов их исследований представлены в монографиях [1,2].

Постановка задачи

Рассмотрим систему с повторными вызовами (RQ) с двумя обслуживающими приборами. На вход поступает простейший поток заявок с параметром λ , время обслуживания каждой заявки распределено по экспоненциальному закону с параметром μ . Если поступившая заявка застает хотя бы один из приборов свободным, то она занимает его для обслуживания. Если оба прибора заняты,

¹⁴ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00292 мол_а.

то заявка переходит в ИПВ, где осуществляет случайную задержку, продолжительность которой имеет экспоненциальное распределение с параметром σ . Из ИПВ после случайной задержки заявка вновь обращается к приборам с повторной попыткой обслуживания. Заявки в ИПВ являются нетерпеливыми [3], то есть после случайного времени, распределенного по экспоненциальному закону с параметром α заявка покидает систему.

Ставится задача нахождения распределения вероятностей числа заявок в источнике повторных вызовов такой системы.

Рассмотрим марковский процесс $\{k(t), i(t)\}$ изменения состояний исследуемой RQ-системы, где $i(t)$ – число заявок в ИПВ в момент времени t , $i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$, $k(t)$ определяет состояние прибора в момент времени t и принимает одно из двух значений

$$k(t) = \begin{cases} 0, & \text{если прибор свободен,} \\ 1, & \text{если один прибор занят} \\ 2, & \text{если оба прибора заняты.} \end{cases}$$

Вероятность того, что прибор в момент времени t находится в состоянии k и на орбите находится i заявок, обозначим как $P(k, i, t) = P\{k(t) = k; i(t) = i\}$.

Тогда для распределения вероятностей $P(k, i, t)$ состояний рассматриваемой RQ-системы составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова, которая в стационарном режиме примет вид Для получения распределения вероятностей $P(k, i, t)$ состояний рассматриваемой RQ-системы составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова

при $i \geq 1$

$$\begin{cases} 0 = -(\sigma + \lambda + \alpha)\Pi_0(i) + \mu\Pi_1(i) + \alpha(i+1)\Pi_0(i+1), \\ 0 = -(\sigma + \lambda + \alpha + \mu)\Pi_1(i) + \lambda\Pi_0(i) + \sigma(i+1)\Pi_0(i+1) + \alpha(i+1)\Pi_1(i+1) + 2\mu\Pi_2(i), \text{ ГДЕ} \\ 0 = -(\lambda + \alpha + 2\mu)\Pi_2(i) + \lambda\Pi_1(i) + \sigma(i+1)\Pi_1(i+1) + \alpha(i+1)\Pi_2(i+1) + \lambda\Pi_2(i-1). \end{cases}$$

$$\Pi_k(i) = \lim_{t \rightarrow \infty} P_k(i, t), \quad i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Для частичных характеристических функций $H_k(u) = H(k, u) = \sum_{i=0}^{\infty} e^{ju} P(k, i)$, система примет вид

$$\begin{cases} 0 = j(\sigma + \alpha(1 - e^{-ju}))H'_0(u) + \mu H_1(u) - \lambda H_0(u), \\ 0 = j(\sigma + \alpha(1 - e^{-ju}))H'_1(u) - \lambda H_1(u) - \mu H_1(u) + \lambda H_0(u) - \\ - j\sigma e^{-ju} H'_0(u) + 2\mu H_2(u), \\ 0 = j\alpha(1 - e^{-ju})(H'_0(u) + H'_1(u) + H'_2(u)) + -\lambda(1 - e^{ju})H_2(u) + j\sigma(1 - e^{-ju})(H'_0(u) + H'_1(u)) \end{cases} \quad (1)$$

Асимптотика первого порядка

Решение системы уравнений (1) будем находить методом асимптотического анализа при условии длительного времени ожидания на орбите.

Введем обозначения: $\alpha = \varepsilon$, $u = \varepsilon w$, $H_0(u) = \varepsilon^2 F_0(w, \varepsilon)$, $H_1(u) = \varepsilon F_1(w, \varepsilon)$, $H_2(u) = F_2(w, \varepsilon)$ где $\varepsilon \downarrow 0$.

Ранее [4] доказано, что асимптотическая характеристическая функция первого порядка распределения вероятностей числа заявок на орбите в RQ-системе M|M|2 с конфликтами и нетерпеливыми заявками имеет вид

$$h^{(1)}(u) = R_2 \exp\left\{ju \frac{\lambda - 2\mu}{\alpha}\right\} \text{ где } R_2 = h^{(1)}(0).$$

Асимптотика второго порядка

Для нахождения асимптотической характеристической функции второго порядка в систему (1) подставим функцию вида $H_k(u) = H_k^{(2)}(u) \exp\left\{ju \frac{\lambda - 2\mu}{\alpha}\right\}$, после чего сделаем замены: $\alpha = \varepsilon^2$,

$u = \varepsilon w$, $H_0^{(2)}(u) = \varepsilon^4 F_0(w, \varepsilon)$, $H_1^{(2)}(u) = \varepsilon^2 F_1(w, \varepsilon)$, $H_2^{(2)}(u) = F_2(w, \varepsilon)$ где $\varepsilon \downarrow 0$.

$$\begin{cases} 0 = j(\sigma + \varepsilon^2 j\varepsilon w)(\varepsilon F_0'(w, \varepsilon) + F_0(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu) + \mu F_1(w, \varepsilon) - \lambda \varepsilon^2 F_0(w, \varepsilon), \\ 0 = j(\sigma + \varepsilon^2 j\varepsilon w)(\varepsilon F_1'(w, \varepsilon) + F_1(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu) - \lambda \varepsilon^2 F_1(w, \varepsilon) - \mu \varepsilon^2 F_1(w, \varepsilon) + \lambda \varepsilon^4 F_0(w, \varepsilon) - \\ - j\sigma(1 - j\varepsilon w)(\varepsilon^3 F_0'(w, \varepsilon) + \varepsilon^2 F_0(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu)) + 2\mu F_2(w, \varepsilon), \\ 0 = j\varepsilon^2 \left(\varepsilon^3 F_0'(w, \varepsilon) + \varepsilon F_1'(w, \varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon} F_2'(w, \varepsilon) + \varepsilon F_0(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu) + F_1(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu) + F_2(w, \varepsilon) j \frac{\lambda - 2\mu}{\varepsilon^2} \right) + \\ + \lambda(1 + j\varepsilon w) F_2(w, \varepsilon) + j\sigma(\varepsilon^3 F_0'(w, \varepsilon) + \varepsilon F_1'(w, \varepsilon) + \varepsilon^2 F_0(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu) + F_1(w, \varepsilon) j(\lambda - 2\mu)) \end{cases} \quad (2)$$

Осуществив предельный переход при $\varepsilon \rightarrow 0$, получим систему уравнений

$$\begin{cases} 0 = -\sigma F_0(w) (\lambda - 2\mu) + \mu F_1(w), \\ 0 = -\sigma F_1(w) (\lambda - 2\mu) + 2\mu F_2(w), \\ 0 = 2\mu F_2(w) - \sigma F_1(w)(\lambda - 2\mu) \end{cases} \quad (3)$$

В (2) сделаем замены $F_k(w, \varepsilon) = F_k(w) + jw\varepsilon f_k(w) + O(\varepsilon^2)$, раскрыв скобки и учитывая (3) и устремив $\varepsilon \rightarrow 0$, нетрудно показать, что

$$F_2(w) = R_2 \exp\left\{-\frac{\lambda w^2}{2}\right\}$$

Так как допредельная характеристическая функция приближенно равна:

$$h^{(2)}(u) = H_2^{(2)}(u) + H_1^{(2)}(u) + H_0^{(2)}(u) = F_2\left(\frac{u}{\varepsilon}\right) + O(\varepsilon) \approx F_2\left(\frac{u}{\varepsilon}\right) = R_2 \exp\left\{-\frac{\lambda u^2}{2\varepsilon^2}\right\}.$$

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о том, что характеристическая функция числа заявок на орбите для рассматриваемой системы имеет асимптотически нормальное распределение с параметрами: математическое ожидание $\frac{\lambda - 2\mu}{\alpha}$

и дисперсией $\frac{\lambda}{2\alpha^2}$.

Для RQ-системы M|M|1 с конфликтами и нетерпеливыми заявками были получены асимптотическая функция первого порядка (6) и асимптотическая функция второго порядка (9), что позволило.

Следующим этапом будет построение имитационной модели описанной системы и определение области применимости полученных асимптотик.

Литература

1. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial Queueing Systems. A Computational Approach. Springer, 2008.
2. *Falin G.I., Templeton J.G.C.* Retrial queues. London : Chapman & Hall, 1997.

3. Назаров А.А., Фёдорова Е.А. Асимптотический анализ RQ-системы M|M|1 с нетерпеливыми заявками в условии долгой терпеливости // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016): материалы Девятнадцатой международной научной конференции, 21-25 ноября 2016 г.: в 3 т. – Т. 3: Молодежная школа-семинар. – 2016. – С. 342–348.
4. Осипович О.А. Асимптотический анализ RQ-системы вида M|M|2 с нетерпеливыми заявками в условии долгой терпеливости // Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем: материалы V Всероссийской молодежной научной конференции. Томск, 19–20 мая 2017. – Труды Томского государственного университета. Серия физико-математическая. Томск: Издательский Дом ТГУ, 2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАЗНОЙ РЕСУРСНОЙ СМО С ММРР ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ¹⁵

Галилейская А.А., Лисовская Е.Ю., Моисеева С.П.

Национальный исследовательский
Томский государственный университет,
lusta.nastya@mail.ru, ekaterina_lisovs@mail.ru,
smoiseeva@mail.ru

В работе рассмотрена математическая модель многофазной ресурсной системы массового обслуживания. Получена аппроксимация распределения вероятностей исследуемого процесса.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, ресурсные СМО, многофазные СМО, метод многомерного динамического просеивания, метод асимптотического анализа, высокая интенсивность.

Введение

Ресурсные системы массового обслуживания (СМО) представляют широкий интерес для моделирования систем передачи данных и других инфокоммуникационных систем. Известны работы российских и зарубежных авторов в данной тематике. Подробный обзор известных результатов приведен в работе [1]. Там же показана актуальность исследования многофазных ресурсных СМО. В данной работе рассматривается математическая модель M -фазной ресурсной СМО с произвольной функцией распределения времени обслуживания на фазах и ММРР-входящим потоком. Важным моментом в данной модели является то, что по окончании обслуживания заявка освобождает ровно то количество ресурса, которое занимала, поступая в систему.

Модель многофазной ресурсной системы обслуживания

Рассмотрим многофазную ресурсную СМО с неограниченным

¹⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00292 мол_а.

числом приборов и неограниченным объемом предоставляемого ресурса. На вход системы поступает ММРР-поток заявок управляемый цепью Маркова $k(t) = 1, 2, \dots, K$, заданной матрицей инфинитезимальных характеристик $\mathbf{Q} = \|q_{ij}\|$ размера $K \times K$ и диагональной матрицей условных интенсивностей $\Lambda = \text{diag}\{\lambda_1, \dots, \lambda_K\}$. Каждая заявка занимает один из свободных приборов первой фазы для обслуживания и некоторый случайный объем ресурса с функцией распределения $G(y)$. Время обслуживания на первой фазе является случайной величиной с функцией распределения $B_1(x)$. По окончании обслуживания на первой фазе каждая заявка переходит на вторую, освобождая занимаемый ресурс на первой фазе, и, занимая такое же его количество на второй, где находится в течение случайного времени с функцией распределения $B_2(x)$. Далее заявка переходит на третью фазу и т.д., пока не дойдет до последней M -й фазы, на которой она обслуживается в течение времени с функцией распределения $B_L(x)$, и по окончании обслуживания на которой заявка покидает систему и освобождает занимаемый ресурс на M -й фазе.

Обозначим $i_m(t)$ – число занятых приборов, $V_m(t)$ – суммарно занимаемый ресурс на m -й фазе системы в момент времени t , $m = \overline{1, M}$. Ставится задача поиска многомерного распределения вероятностей случайного процесса $\{\mathbf{i}(t), \mathbf{V}(t)\}$ числа занятых приборов и суммарно занимаемого ресурса на фазах системы.

Аппроксимация распределения вероятностей

Аппроксимация распределения вероятностей случайного процесса $\{\mathbf{i}(t), \mathbf{V}(t)\}$ была построена с помощью метода многомерного динамического просеивания и метода асимптотического анализа в условии высокой интенсивности и предельно частых изменений состояний управляющей цепи входящего ММРР-потока ($\Lambda = N\Lambda^1$, $\mathbf{Q} = N\mathbf{Q}^1$, где $N \rightarrow \infty$ – теоретический параметр) [2].

Утверждение. *Стационарное распределение вероятностей числа занятых приборов и суммарно занятого ресурса на фазах системы ММРР^(N)/(GI/∞)^M при условии высокой интенсивности*

входящего потока и предельно частых изменений состояний управляющей цепи можно аппроксимировать $2M$ -мерным гауссовским распределением с вектором средних значений $[N\lambda_1\mathbf{e} \ N\lambda_2\mathbf{e}]$, и матрицей ковариаций

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} N\lambda_1\mathbf{Y} + N\kappa\mathbf{V} & N\lambda_1\mathbf{Y} + N\kappa_1\mathbf{V} \\ N\lambda_1\mathbf{Y} + N\kappa_1\mathbf{V} & N\lambda_2\mathbf{Y} + N\kappa_1^2\mathbf{V} \end{bmatrix}$$

где

$$\mathbf{Y} = \left\| \int_0^{\infty} (B_{m-1}^*(\tau) - B_m^*(\tau)) d\tau \right\|_{M \times M}, \quad \mathbf{V} = \left\| \int_0^{\infty} (B_{m-1}^*(\tau) - B_m^*(\tau))(B_{v-1}^*(\tau) - B_v^*(\tau)) d\tau \right\|_{M \times M},$$

$\lambda = \mathbf{r}\Lambda^1\mathbf{e}$, $\kappa = 2\mathbf{g}(\Lambda^1 - \Lambda)\mathbf{e}$, вектор-строка \mathbf{g} удовлетворяет линейным матричным уравнениям $\mathbf{g}\mathbf{Q}^1 = \mathbf{r}(\lambda\mathbf{I} - \Lambda^1)$, $\mathbf{g}\mathbf{e} = \text{const}$, \mathbf{r} – вектор-строка стационарного распределения управляющей цепи Маркова, определяемая системой линейных уравнений $\mathbf{r}\mathbf{Q} = \mathbf{0}$, $\mathbf{r}\mathbf{e} = 1$, a_1 и a_2 – первый и второй начальные моменты случайной величины с функцией распределения $G(y)$.

Выводы

В работе рассмотрена математическая модель многофазной ресурсной системы массового обслуживания. Показано, что распределение вероятностей $2M$ -мерного случайного процесса числа занятых приборов и суммарно занятого ресурса на фазах системы может быть аппроксимировано гауссовским распределением в условии высокой интенсивности и предельно частых изменений состояний управляющей цепи входящего ММРР-потока.

Литература

1. Lisovskaya E., Moiseeva S., Pagano M. Infinite-Server Tandem Queue with Renewal Arrivals and Random Capacity of Customers // CCIS, Vol. 700. – 2017. – P. 201-216.
2. Мусеев А.Н. Исследование математических моделей систем и сетей массового обслуживания с высокоинтенсивными непуассоновскими входящими потоками: Дис. ... д-р физ.-мат. наук. – Томск, 2016. – 333 с.

АНАЛИЗ МОДЕЛИ СХЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ РАДИОРЕСУРСОВ БЕСПРОВОДНОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ С ИСТОЧНИКАМИ ЗАЯВОК, РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ НА ПЛОСКОСТИ¹⁶

Гольская А.А., Маркова Е.В.

Российский университет дружбы народов,
feduro.nastya@yandex.ru, markova_ev@rudn.university

В последние годы нехватка имеющегося радиочастотного спектра стала серьезным препятствием для развития современных технологий беспроводной связи. Этот недостаток приводит к нехватке системных ресурсов и может стать причиной несоответствия предоставляемых услуг требуемым уровням качества обслуживания (Quality of Service, QoS) и качества восприятия (Quality of Experience, QoE) для пользователей. Как следствие, конечные пользователи услуг мобильного оператора страдают от более низких скоростей передачи данных и сниженных показателей QoS / QoE

Ключевые слова: LSA, управление доступом, разделение ресурсов, равномерное распределение.

Описание модели

Согласно данным отчета Cisco Systems [1], объем трафика, генерируемого пользователями широкополосных услуг, а также требования к качеству предоставления этих услуг быстро растут. В связи с чем операторы мобильной связи сталкиваются с проблемой увеличения объема передаваемого трафика. Одним из возможных решений этой проблемы является использование структуры с лицензированным общим доступом (LSA, Licensed shared access) [2], которая была разработана при поддержке Европейской комиссии (ЕС). Система LSA является примером эффективного использования спектра частот, который оператор

¹⁶ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и при финансовой поддержке РФФИ рамках научного проекта № 16-37-00421 мол_а.

мобильной связи берет в аренду у собственника, который использует этот диапазон частот не постоянно. В любой момент времени частотный спектр LSA используется либо только владельцем, либо оператором мобильной связи. Владелец имеет абсолютный приоритет при использовании своих частот. Управление доступом к радиоресурсам может быть реализовано с помощью различных сценариев, например, снижение скорости передачи данных при обслуживании пользователей мобильного оператора. Рассматривается модель схемы управления радиодоступом с системой совместного использования лицензированного частотного спектра LSA в сети LTE оператора мобильной связи. Мобильный оператор имеет доступ к так называемой индивидуальной полосе частот (свой собственный спектр частот) и к полосе совместного использования или LSA-полосе (спектр арендованных частот). Владелец имеет доступ только к LSA-полосе. Управление сетевыми радиоресурсами основано на реализации механизма снижения скорости передачи данных для пользователей мобильного оператора, обслуживаемых на LSA-полосе, в случае необходимости освобождения ресурсов этой полосы для владельца. Если владелец частотного спектра не использует LSA-диапазон, передача данных может выполняться с максимально возможной скоростью. В этом случае LSA-диапазон имеет «доступный» режим. Когда владельцу нужны ресурсы LSA-диапазона, оператор должен ограничить создаваемые им помехи путем снижения скорости передачи данных [3]. В этом случае LSA-диапазон переходит в режим «недоступен». После того как владелец освобождает LSA-диапазон, он переходит из режима «недоступен» в режим «доступен», и скорость передачи данных для подключенных пользователей мобильного оператора снова увеличивается. В качестве примера реализации сценария LSA рассматривается воздушная телеметрия. Основными параметрами качества обслуживания модели являются вероятность блокировки, средняя скорость передачи данных и среднее число

пользователей в системе. Для расчета этих характеристик предлагается инфинитезимальная матрица, которая имеет блочный трехдиагональный вид.

Литература

1. Cisco – Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2016–2020, In: CISCO White paper, pp. 2016–2020 (2016).
2. Gudkova I., Markova E., Masek P., Andreev S., Hosek J., Yarkina N., Samouylov K., and Koucheryavy Y. Modeling the utilization of a multi-tenant band in 3GPP LTE system with Licensed Shared Access. In: Proc. of the 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2016, USA, New Jersey, Piscataway, IEEE, pp. 179–183 (2016).
3. Samouylov K., Gudkova I., Markova E., and Yarkina N. Queuing model with unreliable servers for limit power policy within Licensed Shared Access framework. In: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9870, pp. 404–413 (2016).

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА SSA ДЛЯ ARM ПРОЦЕССОРОВ В РАМКАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА СОСТАВА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА¹⁷

Грачев Д.А., Емельянова Е.Ю., Попова Е.В.

*Российский университет дружбы народов,
grachev_da@rudn.university, emelyanova_eu@rudn.university,
popova_ev@rudn.university.*

Авторами предлагается использовать алгоритм SSA для анализа биоимпедансных данных и оптимизировать его для портативных устройств.

Ключевые слова: Гусеница, SSA.

Алгоритмы

Существует алгоритм анализа временных рядов SSA (Singular Spectrum Analysis), иначе называемый «метод Гусеница» [5,6]. Он используется для того, чтобы разложить временной ряд на составляющие (тренды) и изучать вклад каждой составляющей в общий тренд, а также делать другие выводы об исходных данных.

Опишем алгоритм стандартного метода SSA. Из исходного одномерного временного ряда строится траекторная матрица, размерность которой определяется важным параметром, зависящим от условий конкретной задачи – длина гусеницы («окно»). Выбор окна гусеницы - важный этап решения задач: чем больше длина – тем больше вычислительных ресурсов требуется. Столбцами траекторной матрицы являются скользящие отрезки длиной, равной длине гусеницы. После некоторых преобразований, строится квадратная матрица, содержащая в себе информацию об исходном временном ряде. Далее производится сингулярное разложение этой матрицы на сумму элементарных матриц, каждая из которых задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов — собственного и факторного. Таким образом, исходный

¹⁷ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

временной ряд разлагается на интерпретируемые аддитивные составляющие. В зависимости от условий задачи производится отбор главных компонент, по которым при помощи процедуры ганкелизации восстанавливается временной ряд.

В последнее время данный алгоритм стали применять не только для анализа временных рядов с экономическими данными, но также и в других сферах и областях.

Авторами предлагается использовать алгоритм SSA для анализа результатов, полученных с биоимпедансометров с возможностью обработки данных на портативном оборудовании.

Оптимизация SSA для ARM процессов

Перед авторами стоит задача оптимизировать алгоритм SSA таким образом, чтобы он мог выполняться на портативных устройствах с ARM процессорами.

Те или иные части алгоритма (например, нормирование или центрирование) могут отсутствовать, но его неотъемлемой частью является решение задачи нахождения собственных значений и собственных векторов для матрицы, полученной из траекторной. Известно, что эта задача является достаточно сложной, особенно для случая кратных собственных значений и необходимо со всей ответственностью подходить к выбору метода диагонализации матрицы.

Одним из наиболее точных и устойчивых методов для нахождения собственных значений и собственных векторов матриц является метод вращений Якоби [12], поэтому он используется авторами при вычислительной реализации алгоритма SSA. Однако, в то же время, метод Якоби достаточно ресурсоемкий, что в некоторой степени ограничивает его использование на мобильных устройствах: не всегда удастся провести анализ ряда с необходимой длиной окна гусеницы, что, в свою очередь, не позволяет точно выбирать диапазоны частот фильтрации данных и другие параметры анализа. Помимо этого, для некоторых наборов исходных данных,

алгоритм Якоби не обеспечивает сходимость за приемлемое число итераций, поэтому в работе используется устойчивая модификация алгоритма, разработанная коллективом кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН для эффективного решения задач компьютерного дизайна многослойных оптических покрытий нанометровых размеров [10].

Авторами проводится работа по оптимизации алгоритма SSA для эффективной работы на ARM процессорах, в том числе изучены и учтены рекомендации производителей процессоров для обеспечения эффективной работы с регистрами [11]. Также подобран наиболее эффективный набор флагов компиляции программы, что позволило значительно увеличить производительность метода (до 30%).

Ниже представлены некоторые конкретные шаги ускорения выполнения работы алгоритма.

Во-первых, в случае, если в коде программы используются циклы, особенно вложенные, то необходимо явно дать процессору команду на векторизацию. Делается это таким образом. Если известно (как это часто бывает), что в цикле производится работа с массивами дины, кратной четырем, то при написании кода для ARM процессора конструкцию вида:

```
1   for (i = 0; i < n; i ++)  
2   {  
3       //...  
4   }
```

необходимо заменить на

```
1   for (i = 0; i < ((n / 4) * 4); i ++)  
2   {  
3       //...  
4   }
```


Описанная выше конструкция укажет компилятору, что необходимо применять векторизацию, и это существенно уменьшает время выполнения операций с массивами внутри цикла.

Если в алгоритме часто производится работа с небольшими циклами, то можно дать явную команду компилятору для «разворачивания» данных циклов. Для этого можно воспользоваться следующей конструкцией:

```
1 #pragma unroll(n)
```

Особенно это полезно для вложенных циклов (отметим, что в используемой реализации алгоритма Якоби уровень вложенности достигает пяти). Развернув внутренний цикл в набор последовательно выполняемых команд, компилятор применяет векторизацию к «развернутым» из цикла данным, что также может дать ощутимый прирост в производительности.

Сравнительные результаты времени работы для оптимизированного и неоптимизированного алгоритмов представлены на рис. 1.

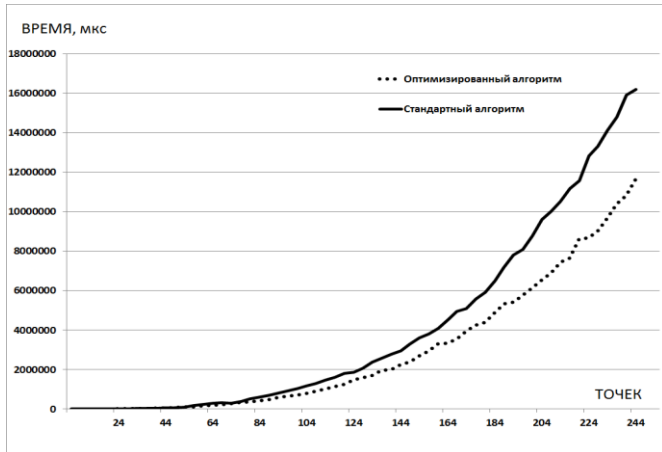


Рис. 1. Сравнение оптимизированного и неоптимизированного алгоритмов диагонализации матрицы методом вращений Якоби.

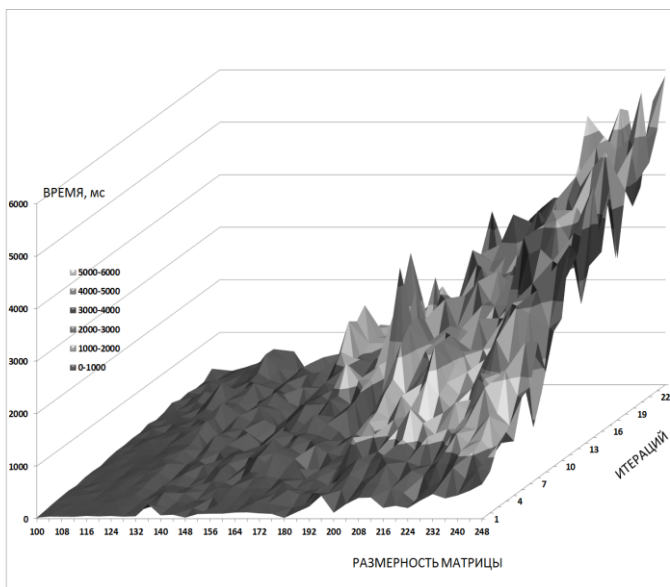


Рис. 2. Разница времени работы оптимизированного и неоптимизированного алгоритмов в зависимости от количества итераций и размерности матрицы.

Далее было проведено сравнение скорости работы оптимизированного и неоптимизированного алгоритмов диагонализации методом вращений Якоби в зависимости от количества итераций метода и размерности матрицы, получаемой из траекторной. Заметим, что количество итераций задается изначально и является одним из условий остановки метода – если необходимая точность не достигается за заданное количество итераций, вычисления прекращаются. На рис. 2 представлена разница времени работы оптимизированного и неоптимизированного алгоритмов.

Помимо алгоритма Якоби, в методе SSA неоднократно производится суммирование элементов массивов различной длины (в частности, при преобразовании траекторной матрицы

и при выполнении ганкелизации). Благодаря применению оптимизации работы с регистрами процессора, производительность процедур, выполняющих данные операции, удалось увеличить до двух раз, что также положительно сказалось на скорости работы алгоритма SSA.

В частности, для ускорения суммирования массивов большой длины можно использовать SIMD (Single instruction, Multiple data), а также векторные регистры. В ARM процессорах SIMD расширение реализовано в виде дополнительного набора инструкций и называется ARM NEON. Рассмотрим пример, в котором происходит суммирование элементов массива длины n . Стоит отметить, что значение переменной n должно быть кратно четырем.

```
1    double sum = 0;
2    for (i = 0; i < n; i += 1)
3    {
4    sum += someArray[i];
5    }
```

Данный программный код можно переписать в ином виде:

```
1    double sum1 = 0;
2    double sum2 = 0;
3    double sum3 = 0;
4    double sum4 = 0;
5    for (i = 0; i < n; i += 4)
6    {
7    sum1 += someArray [i];
8    sum2 += someArray [i+1];
9    sum3 += someArray [i+2];
10   sum4 += someArray [i+3];
11   }
12   sum1 += sum2;
```

```
13    sum3 += sum4;
```

```
14    sum1 += sum3;
```

В реализованном примере переменные, суммируемые внутри цикла, будут складываться в векторный регистр, содержащий в себе 4 32-битных значения. Далее временные регистры выполняют операции суммирования, используя SIMD инструкции, что дает ощутимый прирост в производительности.

Также с помощью векторных регистров, оптимизируются операции умножения. Таким образом нетрудно заметить, что с помощью технологии NEON в разы ускоряются операции сложения и умножения, что влечет за собой существенное уменьшение времени работы выполнения вычислительных алгоритмов. Сравнительные результаты времени работы представлены на рис. 3.

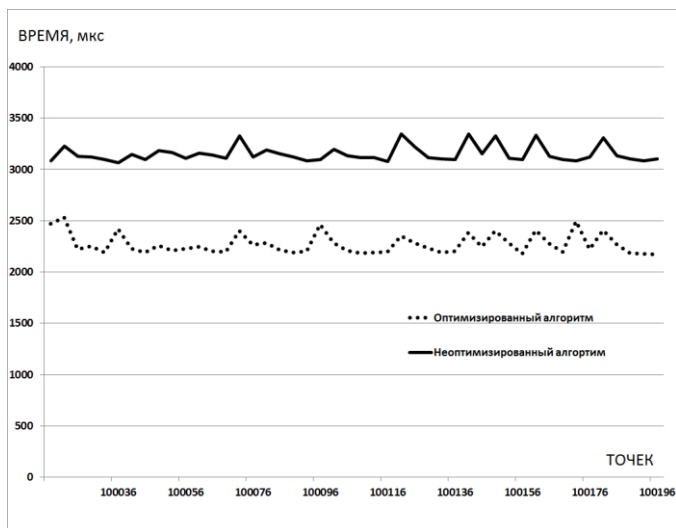


Рис. 3. Сравнение времени работы оптимизированного и неоптимизированного алгоритмов при выполнении операций суммирования больших массивов.

Представленные результаты показывают, что оптимизация вычислительных алгоритмов позволила достичь заметного прироста производительности при работе на устройствах с ARM процессорами, что позволит использовать этот алгоритм в дальнейшей работе.

Выводы

В данной работы сделаны предпосылки и поставлена задача для разработки аппаратно-программного комплекса, который позволит проводить исследования тела человека в домашних условиях.

Литература

1. *Савин А.С., Хохлов А.А.* «Оптимизация алгоритма SSA для ARM процессоров мобильных устройств» //Интернет-журнал «Науковедение» в.2, март – апрель 2014
2. *Мартиросов Э. Г., Николаев Д. В., Руднев С. Г.* «Технологии и методы определения состава тела человека» - М.: Наука, 2006. – 248 с.
3. *Николаев Д. В. и др.* «Биоимпедансный анализ состава тела человека» - М.: Наука, 2009. – 392 с.
4. *Зуев А. Л. и др.* «Эквивалентные электрические модели биологических объектов» //Российский журнал биомеханики. 2012. №1 С.110-1201.
5. *Данилов Д. Л., Жиглявский А. А.* Главные компоненты временных рядов: метод "Гусеница". Под редакцией Санкт-Петербургский университет, 1997.
6. *Golyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A.* Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques, CHAPMAN & HALL/CRC, 2001.
7. *Knaster S., Malik W., Dalrymple M.* Learn Objective-C on the Mac For OS X and iOS 2nd Edition. Apress, 2012. ISBN: 978-1-4302-4188-1.
8. *Golyandina N., Zhigljavsky A.* Singular Spectrum Analysis for Time Series, Springer, 2013.

9. Уилкинсон Дж. Х., Райни С. Справочник алгоритмов на языке Алгол. Линейная алгебра. М.: Машиностроение, 1976. 390 с.
10. Хохлов А. А. Устойчивый метод восстановления тензора диэлектрической проницаемости по спектрофотометрическим данным. Письма в ЭЧАЯ. 2011, Т.8 №5 (168). С. 828-832.
11. ARM NEON support in the ARM compiler. September 2008. http://www.arm.com/files/pdf/neon_support_in_the_arm_compiler.pdf
12. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра: Учеб. Для вузов — 4-е изд. — М. Наука. Физматлит, 1999 — 296 с.
13. Trevor Martin. The insider's guide to the STM 32 ARM Based Microcontroller //Hitex (UK) Ltd., 21/04/2008.

ДИСКРЕТНОСТЬ ДИОН-ДИЛАТОННЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР¹⁸

Давыдов Е.А

Российский университет дружбы народов,
davydov@theor.jinr.ru

Гипотеза «треугольных чисел» дилатонной константы связи опровергнута. Черные дыры могут иметь дискретный дилатонный заряд.

Ключевые слова: черные дыры, цепочки Тоды, численные методы.

Введение

Концепция черных дыр, как областей пространства, откуда ничто не может вернуться, была предложена более пятидесяти лет назад и воспринималась изначально исключительно как экзотическая идея. Однако в настоящее время непосредственное наблюдение черных дыр становится реальностью. Уже несколько лет успешно работает интерферометр LIGO, позволивший обнаружить гравитационные волны, излучаемые в процессе слияния черных дыр. В 2017 г. начал работу Телескоп горизонта событий (ЕНТ), который позволит наблюдать в микроволновом диапазоне черную дыру в центре нашей галактики, а также в одной из ближайших галактик. В течение нескольких лет вступит в строй космический лазерный интерферометр eLISA с феноменальными характеристиками, благодаря которому можно будет предсказывать слияние черных дыр за несколько лет до события и соответственно подготовиться к всестороннему изучению этого уникального высокоэнергетического явления. Но за последние двадцать лет, благодаря развитию теории голографии, теория черных дыр перешла из области чистой астрофизики и в прикладную науку. Оказалось, что процесс формирования черных дыр и похожих на них объектов позволяет описать явления, происходящие в различных сильно связанных системах. Таких, как столкновение

¹⁸ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

высокоэнергетических тяжелых ядер на ускорителях, возникновение сверхпроводимости, принципы максимально плотной упаковки и передачи информации.

Хотя изучение решений типа черных дыр и является более простой задачей, чем исследование сильно связанных систем, однако и эта задача далека от завершения. Собственно, в нашем исследовании мы рассматриваем одну из задач, которая была поставлена более двадцати лет назад, но оставалась не решенной. Речь идет о так называемых дионных черных дырах. Дело в том, что черная дыра может набрать электрический заряд за счет поглощения различной материи. Однако первоначальные черные дыры, рожденные в ранней вселенной при различных фазовых переходах (а не впоследствии при коллапсе звезд) могут иметь также и магнитный заряд. Это не меняет принципиально их характер, но только до тех пор, пока в системе не появляется поле дилатона. Это поле практически неизбежно возникает в теории струн, при размерных редукциях дополнительных измерений, в различных моделях супергравитации. Поэтому, включение его в рассмотрение физики черных дыр является полезным и важным, однако это делает систему уравнений неинтегрируемой. Точные решения были найдены лишь для двух уникальных значений дилатонной константы связи a (задающей силу взаимодействия между дилатоном и остальной материей), а именно:

$$a^2 = n(n + 1)/2, \quad (1)$$

где n равно единице или двойке. Однако численные эксперименты позволили предположить, что при выполнении этого соотношения для любых целых n , соответствующее решение для черной дыры будет «регулярным», то есть, похожим на решение Райсснера-Нордстрема для обычной черной дыры с магнитным и электрическим зарядами. Эта идея получила название гипотезы «треугольных чисел», предложенной в работе [1]. Она была частично подтверждена в работе [2], где авторы рассмотрели разложение решений на горизонте экстремальной черной дыры. Оказалось, что условие

(1) является условием аналитичности решений на горизонте. Однако никак не удавалось найти симметрию, которая бы обеспечивала выполнение соотношения (1), что вызывало все возрастающее сомнение в ее верности. Поэтому, мы поставили целью нашей работы проверку гипотезы «треугольных чисел».

Эффективная модель

Дион-дилатонные черные дыры задаются лагранжианом, зависящим от метрики, поля дилатона и двух калибровочных полей, порождающих два сохраняющихся заряда: электрический и магнитный. Однако получающаяся динамическая модель оказывается очень громоздкой. Нам удалось разделить переменные и разбить ее на две независимые подсистемы. Первая система легко интегрируется и решение нетрудно написать в явном виде. А вторая подсистема, хотя и вероятнее всего не является интегрируемой, имеет исключительно понятную аналогию: движение частицы на двумерной плоскости в потенциале

$$U = \exp(x + ay) + \exp(x - ay), \quad (2)$$

где x и y – это соответствующим образом преобразованные метрическая и дилатонная переменные.

Системы с потенциалами подобного вида всесторонне изучались в рамках исследования цепочек Тоды, поэтому мы обратились к этому разделу математической теории [3]. Как было показано для подобных систем, они являются интегрируемыми если матрица

$$C_{ik} = 2 \frac{\{q_k, \{q_i, H\}\}}{\{q_k, \{q_k, H\}\}} \quad (3)$$

где $q_1 = x + ay$, $q_2 = x - ay$, H – гамильтониан системы, $\{ \}$ – скобка Пуассона, является матрицей Картана некоторой алгебры. В нашем случае оказалось, что матрица C_{ik} может удовлетворить всем требованиям, которые предъявляются для матрицы Картана, только если a^2 равно первым двум треугольным числам. Ранее связь между интегрируемыми решениями в этой модели и цепочками Тоды была указана в литературе, но мы получили новый результат: указание на то, что симметрия,

которой обладают решения, соответствующие двум первым треугольным числам, не может быть обобщена на другие треугольные числа.

Однако требовалось прояснить, почему в численных расчетах и в разложениях на горизонте наблюдались некоторые подтверждения гипотезы треугольных чисел. Для этого мы рассмотрели предел малых значений дилатона на фоне метрики Райсснера-Нордстрема и провели соответствующую линеаризацию уравнения движения для дилатонной переменной. Оказалось, что это уравнение сводится к уравнению Лежандра, которое, как известно, имеет дискретный спектр. И условие на спектр – в точности совпало с условием (1). Это объяснило кажущуюся выполнимость гипотезы – она верна лишь в пределе малых значений дилатона.

Значит, для настоящего исследования полной нелинейной системы необходимо рассматривать достаточно большие значения дилатона и дилатонной константы связи, что не было реализовано в предшествующих численных экспериментах. Для удобства, вместо константы a мы используем константу λ , связанную с a такой же формулой, как (1), но с заменой целочисленной величины n на вещественную величину λ . Значение дилатона мы задаем на горизонте событий черной дыры и обозначаем буквой B . Точки на плоскости (λ, B) , при которых возникают регулярные решения (подобные черной дыре Райсснера-Нордстрема), приведены на рис.1. Нетрудно заметить, что они образуют семейство линий. Действительно, потенциал (2) имеет форму долины, и движение частицы в нем характеризуется осцилляциями. Поэтому, решения можно разбить на семейства, по числу осцилляций. Число осцилляций по определению меняется дискретно, что и является истинной причиной дискретной зависимости решений дион-дилатонной системе от параметров. Однако эта зависимость не соответствует гипотезе треугольных чисел. Если бы она была справедлива, на рис.1. все кривые должны бы были быть вертикальными прямыми $\lambda = n$. И поведение решений

определялось бы только параметром λ , а параметр B мог быть любым. Но в действительности мы наблюдаем лишь две вертикальные прямые $\lambda=1$ и $\lambda=2$, что соответствует двум интегрируемым случаям. Остальные линии не являются вертикальными прямыми, хотя для небольших значений параметра λ они довольно близки к прямым линиям. Именно это небольшое отклонение не было замечено ранее. Однако для больших значений параметра λ мы наблюдаем уже очень заметное отклонение.

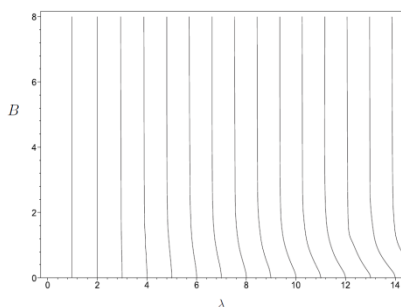


Рис. 1. Значения параметров, которым соответствуют регулярные решения.

Фактически, семейства решений объединяются в два класса с принципиально разными спектрами для дилатонной константы связи и значения дилатона на горизонте. В первом классе находятся два интегрируемых случая. Спектр является непрерывным для B и дискретным для λ . Во втором классе находится счетное множество семейств решений. Спектр является дискретным для B и непрерывным для λ .

Выводы

Гипотеза треугольных чисел для дилатонной константы связи оказалась неверной. Модель дион-дилатонных черных дыр содержит в себе два существенно разных класса решений. Первый был известен ранее, а второй изучен в рамках этого исследования. Он описывает другие физические процессы. Например, можно показать, что для него невозможен несингулярный переход к экстремальным черным дырам,

дилатонный заряд также должен принимать дискретные значения. Эти явления могут быть обнаружены в рамках будущих астрофизических наблюдений, но также позволят применять в рамках голографического подхода эту модель для описания новых явлений в сильно связанных системах. Работа поддержана министерством науки и образования Российской Федерации (соглашение №02.а03.21.0008).

Литература

1. *Poletti S.J. et.al.* Dyonic dilaton black holes // *Class. Quant. Grav.* – Vol. 12. – 1995. - p.2355.
2. *Gal'tsov D.V. et.al.* Triangular extremal dilatonic dyons // *Phys. Lett. B.* – Vol. 743. – 2015. – p.87.
3. *Constant. B.* The solution to a generalized Toda lattice and representation theory // *Adv. Math.* – Vol. 34. - 1984. – p.98.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЛИНЕЙНОЙ RQ-СИСТЕМЫ M|M|1 С КОНФЛИКТАМИ И НЕТЕРПЕЛИВЫМИ ЗАЯВКАМИ

Данилюк Е.Ю.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, daniluc_elen@yandex.ru,

В работе доказано, что распределение числа заявок на орбите в RQ-системе с конфликтами при условии длительной задержки и долгой «терпеливости» заявок является асимптотически гауссовским.

Ключевые слова: RQ-система, асимптотический анализ, конфликты заявок, нетерпеливые заявки.

Введение

Системы массового обслуживания с повторными вызовами, или RQ-системы (Retrial Queueing Systems), представляют собой математические модели, широко применяемые для анализа и оптимизации различных телекоммуникационных систем, сетей мобильной связи, call-центров и других технических и экономических систем. Характерной чертой таких моделей является наличие повторных обращений заявок к прибору после неудачной попытки обслуживания спустя некоторое случайное время. Такие ситуации могут быть вызваны не только отсутствием свободных серверов в моменты поступления заявок в систему, но техническими причинами [1–7].

Постановка задачи

Рассматривается (рис. 1) RQ-система с одним обслуживающим прибором, на вход которого поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ . Требование, заставшее прибор свободным, занимает его для обслуживания в течение случайного времени, распределенного по экспоненциальному закону с параметром μ . Если прибор занят, то поступившая заявка и находящаяся на приборе заявка вступают в «конфликт» и обе переходят на орбиту, или источник повторных вызовов (ИПВ). На орбите каждая из

заявок осуществляет случайную задержку, продолжительность которой имеет экспоненциальное распределение с параметром σ , после чего вновь обращается к прибору с повторной попыткой его «захвата». Если прибор свободен, то заявка из ИПВ занимает его на случайное время обслуживания, если прибор занят – заявка мгновенно возвращается на орбиту для реализации следующей задержки случайной продолжительности [8]. При этом находящаяся в ИПВ заявка после случайного времени, имеющего экспоненциальное распределение с параметром α , покидает систему, демонстрируя свойство «нетерпеливости» [9].

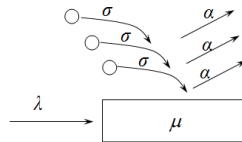


Рис.1. RQ-система M|M|1 с конфликтами и нетерпеливыми заявками

Для описанной системы необходимо найти распределение числа заявок на орбите в момент времени t .

Предварительные результаты

Рассмотрим марковский процесс $\{k(t), i(t)\}$ изменения состояний исследуемой RQ-системы, где $i(t)$ – число заявок в ИПВ в момент времени t , $i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$, $k(t)$ определяет состояние прибора в момент времени t и принимает одно из двух значений

$$k(t) = \begin{cases} 0, & \text{если прибор свободен,} \\ 1, & \text{если прибор занят.} \end{cases}$$

Вероятность того, что прибор в момент времени t находится в состоянии k и на орбите находится i заявок, обозначим как $P(k, i, t) = P\{k(t) = k; i(t) = i\}$.

Для получения распределения вероятностей $P(k, i, t)$ состояний рассматриваемой RQ-системы составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{\partial P(0,i,t)}{\partial t} = -(\lambda + i\sigma + i\alpha)P(0,i,t) + \lambda P(1,i-2,t) + \mu P(1,i,t) + \\ + (i-1)\sigma P(1,i-1,t) + (i+1)\alpha P(0,i+1,t), \\ \frac{\partial P(1,i,t)}{\partial t} = -(\lambda + \mu + i\sigma + i\alpha)P(1,i,t) + \lambda P(0,i,t) + \\ + (i+1)\sigma P(0,i+1,t) + (i+1)\alpha P(1,i+1,t), \end{cases} \quad (1)$$

$i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$

Полагая $\lim_{t \rightarrow \infty} P(k,i,t) = P(k,i)$, $k = \{0;1\}$, запишем систему (1) в стационарном режиме

$$\begin{cases} -(\lambda + i\sigma + i\alpha)P(0,i) + \lambda P(1,i-2) + \mu P(1,i) + (i-1)\sigma P(1,i-1) + (i+1)\alpha P(0,i+1) = 0, \\ -(\lambda + \mu + i\sigma + i\alpha)P(1,i) + \lambda P(0,i) + (i+1)\sigma P(0,i+1) + (i+1)\alpha P(1,i+1) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

$i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$

Введем в рассмотрение частичные характеристические функции

$$H_k(u) = H(k,u) = \sum_{i=0}^{\infty} e^{ju} P(k,i), \quad H_k(u) = H(k,0) = R_k, \quad (3)$$

где $j = \sqrt{-1}$, $k = \{0;1\}$, $i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$

Тогда система (2) примет вид (4) и будет являться основной системой для допредельного исследования RQ-системы с конфликтами и нетерпеливыми заявками

$$\begin{cases} \lambda H_0(u) - (\lambda + \mu)H_1(u) - j\sigma e^{-ju} H_0'(u) + j(\alpha + \sigma - \alpha e^{-ju})H_1'(u) = 0, \\ \lambda H_0(u) + (\lambda e^{ju} - \mu)H_1(u) + j\alpha e^{-ju} H_0'(u) + j\alpha H_1'(u) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где

$$H_k'(u) = dH(k,u)/du = j \sum_{i=0}^{\infty} i e^{ju} P(k,i), \quad (5)$$

$k = \{0;1\}$, $i(t) = 0, 1, 2, 3, \dots$

Асимптотика первого порядка

Записанную в (4) систему уравнений будем решать методом асимптотического анализа при условии длительной задержки между обращениями заявок из ИПВ и длительного времени ожидания на орбите. Введя в рассмотрение бесконечно малую величину ε , сформулированное условие может быть записано как $\sigma = \varepsilon$ и $\alpha = q\sigma = q\varepsilon$, q – положительная константа.

Теорема 1. Асимптотическая характеристическая функция первого порядка распределения вероятностей числа заявок на

орбите в RQ-системе M|M|1 с конфликтами и нетерпеливыми заявками имеет вид

$$h_1(u) = \exp\left\{\frac{G_1}{\sigma} ju\right\}, \quad (6)$$

где параметр G_1/σ будем называть асимптотическим семиинвариантом первого порядка для числа заявок на орбите, при этом

$$G_1 = G_1(\lambda, \mu, q) = \frac{2\lambda R_1}{1+q-2R_1} = \frac{2\lambda R_1 - \lambda + \mu R_1}{1-2R_1}, \quad (7)$$

где $R_0, R_1 \in [0;1]$, $R_0 = 1 - R_1$, а R_1 – корень уравнения (14)

$$2\mu R_1^2 - [(2\lambda + \mu)(1+q)]R_1 + \lambda(1+q) = 0. \quad (8)$$

Асимптотика второго порядка

Область применения асимптотики первого порядка достаточно узка, поэтому для предложенной RQ-системы целесообразно получить асимптотику второго порядка, позволяющую расширить область применения результатов.

Теорема 2. Асимптотическая характеристическая функция второго порядка распределения вероятностей числа заявок на орбите в RQ-системе M|M|1 с конфликтами и нетерпеливыми заявками имеет вид

$$h_2(u) = \exp\left\{\frac{G_1}{\sigma} ju + \frac{G_2}{\sigma} \frac{(ju)^2}{2}\right\}, \quad (9)$$

где параметр G_2/σ будем называть асимптотическим семиинвариантом второго порядка для числа заявок на орбите, при этом $G_2 = A_1/B_1 = A_2/B_2$, константы $A_1, A_2, B_1, B_2, f_0, f_1, a, b$ определяются (10)–(13)

$$\begin{cases} A_1 = (\lambda + G_1)(f_0 - f_1) - (\mu f_1 + G_1) + (1-q)G_1 R_1, & B_1 = 2R_1 - 1, \\ A_2 = (\lambda - qG_1)(f_0 + f_1 + R_1) - (\mu f_1 - qG_1), & B_2 = q, \end{cases} \quad (10)$$

$$f_1 = af_0 + b, \quad f_0 + f_1 = 0, \quad (11)$$

$$a = \frac{\lambda(1+q) + 2R_1(qG_1 - \lambda)}{q(\lambda + \mu + G_1) + (1-2R_1)(\mu + qG_1 - \lambda)}, \quad (12)$$

$$b = \frac{[qG_1(1+q) + (1-2R_1)(qG_1 - \lambda)]R_1}{q(\lambda + \mu + G_1) + (1-2R_1)(\mu + qG_1 - \lambda)}. \quad (13)$$

Выводы

Для RQ-системы $M|M|1$ с конфликтами и нетерпеливыми заявками были получены асимптотическая функция первого порядка (6) и асимптотическая функция второго порядка (9), что позволило сделать вывод: число заявок на орбите для такой системы в момент времени t имеет асимптотически гауссовское распределение.

Следующим этапом будет построение имитационной модели описанной системы и определение области применимости полученных асимптотик.

Литература

1. *Wilkinson R.I.* Theories for toll traffic engineering in the USA // The Bell System Technical Journal. – Vol. 35, No. 2. – 1956. – P. 421–507.
2. *Cohen J.W.* Basic problems of telephone traffic and the influence of repeated calls // Philips Telecommunication Review. – Vol. 18, No. 2. – 1957. – P. 49–100.
3. *Gosztony G.* Repeated call attempts and their effect on traffic engineering // Budavox Telecommunication Review. – Vol. 2. – 1976. – P. 16–26.
4. *Elldin A., Lind G.* Elementary Telephone Traffic Theory. Ericsson Public Telecommunications, 1971.
5. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial Queueing Systems. A Computational Approach. Springer, 2008.
6. *Falin G.I., Templeton J.G.C.* Retrial queues. London : Chapman & Hall, 1997.
7. *Artalejo J.R., Falin G.I.* Standard and retrial queueing systems: A comparative analysis // Revista Matematica Complutense. – Vol. 15. – 2002. – P. 101–129.
8. *Судыко Е.А., Назаров А.А.* Исследование марковской RQ-системы с конфликтами заявок и простейшим входящим потоком // Вестник ТГУ. УВТиИ. – 3(12). – 2010. – С. 97–106.
9. *Назаров А.А., Фёдорова Е.А.* Асимптотический анализ RQ-системы $M|M|1$ с нетерпеливыми заявками в условии долгой

терпеливости // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016): материалы Девятнадцатой международной научной конференции, 21-25 ноября 2016 г.: в 3 т. – Т. 3: Молодежная школа-семинар. – 2016. – С. 342–348.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ¹⁹

Дараселия А.В.

Российский Университет дружбы народов,
nastyadar6@gmail.com

Построена математическая модель облачной системы для анализа условий, при которых имеет смысл, с точки зрения энергопотребления, я не переводить сервер в режим ожидания как он опустел.

Ключевые слова: облачные вычисления, энергоэффективность, теория массового обслуживания.

Введение

Поскольку, простаивающий без нагрузки, сервер потребляет свыше 50% энергии, затрачиваемой при его полной нагрузке [3], для повышения энергоэффективности облачной системы сервера могут быть переведены в режим ожидания при низкой нагрузке. С одной стороны, перевод в режим ожидания позволяет снизить энергопотребление, а с другой стороны, приводит к дополнительным затратам на включение/выключение сервера. Поэтому важно понимать, при каких условиях будет выгодно перевести сервера в режим ожидания, а при каких – оставить их в рабочем состоянии. В работе была рассмотрена система облачных вычислений с учетом разогрева и выключения серверов, причем считалось, что сервер выключается по прошествии некоторого случайного времени после того, как он остался пустым.

Математическая модель

Рассматривается система массового обслуживания, состоящая из S приборов. На систему поступает пуассоновский поток с интенсивностью λ , времена обслуживания заявок, а также периоды разогрева и выключения распределены экспоненциально с параметрами μ , α и β соответственно [1], γ -

¹⁹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

экспоненциальное время ожидания новой заявки, в течение которого система не уходит в спящий режим, когда заявок не остается. Пространство состояний описывается вектором (s, k) , где k - количество заявок на сервере, s - состояние сервера, где $s=0$ в состоянии ожидания, 1 - включение сервера, 2 - работа и 3 - выключение соответственно. Система переходит в режим выключения, когда остается пуста дольше γ .

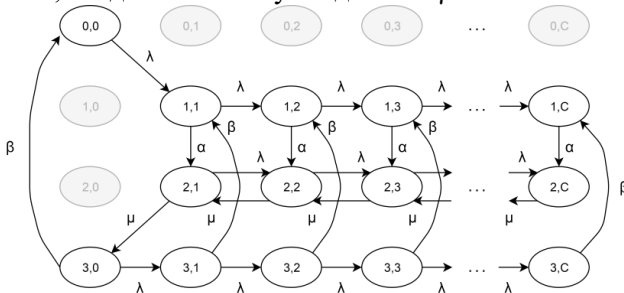


Рис. 1. Диаграмма интенсивностей переходов.

На основе диаграммы интенсивностей переходов (рис. 1) была выписана система уравнений равновесия [4], которая позволяет получить стационарные вероятности системы.

Показатели энергопотребления

Получив стационарное распределение системы, вычислим показатели энергопотребления. Будем считать, что в режиме включения/выключения энергопотребление постоянно и равно среднему значению. В режиме обслуживания заявок, потребляемая мощность зависит от загрузки сервера. По аналогии с приведенной в работах [3,4] формулой, выведем формулу средней потребляемой сервером мощности:

$$P = P_0 \sum_{i=0}^C p_{0,i} + P_1 \sum_{i=0}^C p_{1,i} + P_3 \sum_{i=0}^C p_{3,i} + \sum_{i=0}^C P_{2,i} p_{2,i}, \text{ где } P_{2,k} = P_{2,\min} + \frac{P_{2,\max} - P_{2,\min}}{V_1} k. \quad (13)$$

Значения P_i были взяты из статьи [2], согласно которой $P_0=10$ Вт, $P_1=170$ Вт, $P_3=120$ Вт, $P_{2,\min}=105$ Вт и $P_{2,\max}=268$ Вт.

Среднее число заявок в системе равно произведению интенсивности входного потока на среднее время пребывания заявки в системе.

$$N = \lambda(1 - \pi)T, \quad (14)$$

Где вероятность блокировки π вычисляется как

$$\pi = p_{1,c} + p_{2,c} + p_{3,c}. \quad (15)$$

Среднее число заявок N можно представить выражением

$$N = \sum_{k=0}^3 \sum_{i=1}^C i p_{k,i} \quad (16)$$

Среднее время пребывания заявки T напрямую следует из формул (14) и (16):

$$T = \frac{\sum_{k=0}^3 \sum_{i=1}^C i p_{k,i}}{\lambda(1 - \pi)}. \quad (17)$$

Результаты численного анализа для значений $V_1=7$, $\mu=20$, $\alpha=1$, $\beta=2$ представлены на рисунках 2-3.

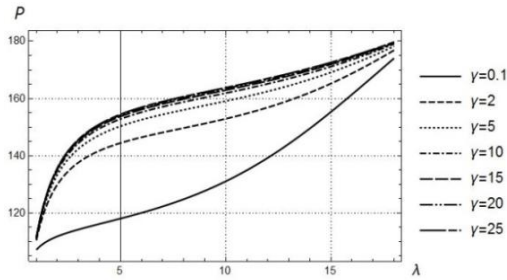


Рис. 2. Графики зависимости мощности P от интенсивности нагрузки λ .

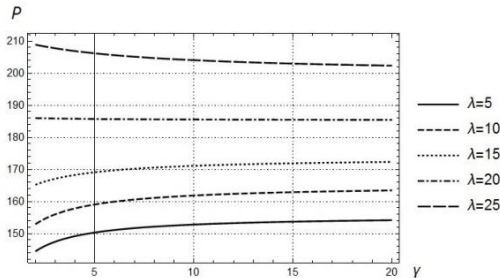


Рис. 3. Графики зависимости мощности P от времени γ , в течение которого система не уходит в спящий режим.

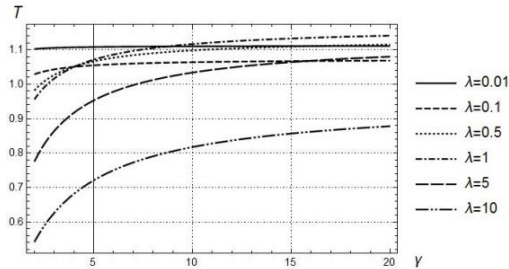


Рис. 4. График зависимости среднего времени T от времени γ , в течение которого система не уходит в спящий режим.

Выводы

В этой работе мы рассмотрели систему облачных вычислений, в которой сервер выключается по прошествии некоторого случайного времени после того, как он остался пустым. Параметр γ монотонно влияет на параметры энергопотребления, поэтому нужно учитывать время пребывания заявки, как с точки зрения энергопотребления, так и с точки зрения производительности.

Литература

1. Дараселия А.В., Сопин Э.С., Анализ энергопотребления системы облачных вычислений с учетом разогрева и выключения серверов // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. — 2012. — С. 119-121.
2. Javier Conejero, Omer Rana, Peter Burnap, Jeffrey Morgan, Blanca Caminero, Carmen Carrion, Analysing Hadoop Power Consumption and Impact on Application QoS // Future Generation Computer Systems. — Vol.55 Issue C. — Feb. 2016. — С. 213-223.
3. Anton Beloglazov, Jemal Abawajy, Rajkumar Buyya, «Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for Cloud computing » // Future Generation Computer Systems. — vol.28. — 2012. — С. 755 – 768.

4. Дараселия А.В., Сопин Э.С., О задаче оптимизации энергопотребления облачной инфраструктуры // XVI Международная конференция имени А.Ф. Терпугова «Информационные технологии и математическое моделирование» (ИТММ – 2017). — 2007. — Т.1, — С. 255-261

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕТАЮЩИХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ШЛЮЗОВ В СЕТЯХ 5G/ИМТ-2020

Динь Ч.З., Киричек Р.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
duydt.sut@gmail.com, kirichek.sut@mail.ru*

Статья предлагает подходы к использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) со шлюзом на борту как летающие гетерогенные шлюзы в Интернете Вещей.

Ключевые слова: Летающая сенсорная сеть, БПЛА, интернет вещей, 5G, шлюз.

Введение

В настоящее время развитие сетей связи осуществляется на основе концепции Интернета Вещей [1]. Технологической базой для реализации концепции Интернета Вещей являются всепроникающие сенсорные сети (ВСС) [2]. Одними из новых актуальных областей применения технологий ВСС являются летающие сенсорные сети (ЛСС) [3].

Согласно прогнозам Международного союза электросвязи, в 2020 году начнется повсеместная эксплуатация сетей пятого поколения (5G/ИМТ-2020) [4]. В рамках концепции 5G предполагается бесшовная связь между устройствами Интернета вещей, взаимодействующими на базе различных технологий. Для обеспечения такой связности необходимо полное покрытие участков местности с большим количеством устройств [5].

Основные определения

Интернет вещей - Глобальная инфраструктура информационного общества, обеспечивающая передовые услуги путем объединения (физического и виртуального) вещей на основе существующих и развивающихся, интероперабельных информационных и коммуникационных технологий. Благодаря использованию идентификации, сбора данных, обработки и коммуникационных возможностей, Интернет вещей

предоставляет услуг для всех видов приложений, обеспечивая безопасность и конфиденциальность. В широком перспективе, Интернет вещей может восприниматься как видение с технологическими и социальными последствиями.

В Интернете вещей, устройство - это часть оборудования с обязательными возможностями связи и дополнительные возможности считывания, активации, сбора данных, хранения данных и обработки данных. Шлюз - блок в Интернете вещей, который соединяет устройства с сетями связи, выполняет необходимый перевод между протоколами, используемыми в сетях связи, и протоколами, используемыми устройствами. Сервис - набор функций и возможностей, предлагаемых пользователю провайдером [6].

Летающая сенсорная сеть – строится на базе общедоступных беспилотных летающих аппаратов (БПЛА), которые применяются для сбора данных с сенсорных полей и доставки этих данных в сеть связи общего пользования [7]. В летающей сенсорной сети предполагается разделение на два сегмента: наземный и летающий, которые взаимодействуют между собой. В качестве летающих узлов используются беспилотные летающие аппараты (БПЛА), которые собирают данные с удаленных сенсорных узлов.

Основные задачи

Статья предлагает подходы к использованию БПЛА со шлюзом на борту как летающие гетерогенные шлюзы в Интернете Вещей. Такой шлюз, который может поддерживать многие технологии передачи данных как: ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN, LoRa, LTE (adv), Wimax, WiGig (802.11ad), Wifi (802.11ax), будет выполнять роль связующего звена между устройствами и сетью связи общего пользования. Поэтому летающие гетерогенные шлюзы могут считаться, как базовые станции или точки ретрансляция соединений для последующей передачи данных (рис.1).

Задача покрытия с использованием БПЛА. Когда базовая станция повреждена или количество устройств Интернета вещей на местности слишком большое так, что базовая станция не может обслужить всех клиентов (либо находится далеко), тогда летающие гетерогенные шлюзы (БПЛА) прилетают, собирают все данные от устройств и передают к базовой станции.

Задача ретрансляции данных с использованием БПЛА. Когда отсутствует связь между устройствами Интернета вещей, летающие гетерогенные шлюзы сотрудничают (организуется летающий сегмент сети) для обеспечения временной связи между устройствами Интернета вещей в одной области и устройствами Интернета вещей в другой отдаленной области.

Задача распространения информации и сбор данных с использованием БПЛА. В сетях толерантных к задержкам, передача данных не лимитирована по параметру времени. Поэтому, в данных сетях для организации передачи данных могут быть использованы БПЛА, создающие сегмент сети, зависящий от многих стохастических и трудно определяемых заранее параметров, например, погодных условий.

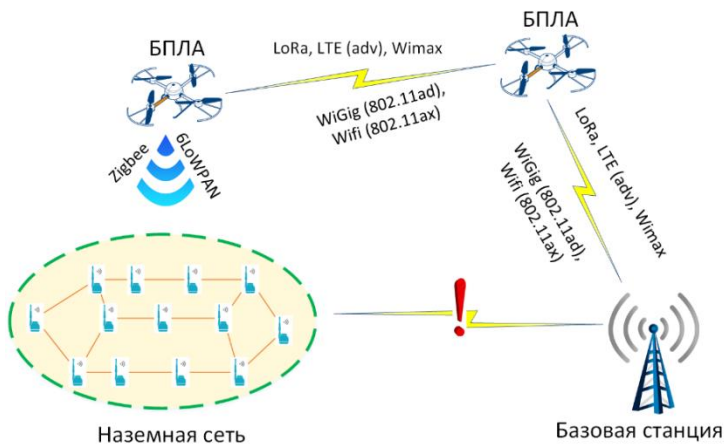


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов сети

Выводы

В сетях 5G/ITM-2020, одной из самых важных задач является обеспечение бесшовной связи между устройствами Интернета вещей, взаимодействующими на базе различных технологий. Можно сказать, что наступает век конвергенции всех существующих технологий. Для решения этой задачи, разработаны некоторые подходы к использованию БПЛА со шлюзом на борту как летающего гетерогенного шлюза в Интернете Вещей.

Литература

1. *Кучерявый А.Е.* Интернет Вещей // Электросвязь – 2013 - №1 – С. 21-24
2. *Кучерявый А. Е., Кучерявый Е. А.* От e-России к u-России: тенденции развития электросвязи // Электросвязь – 2005 - № 5.
3. *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 // Электросвязь. - 2014. - № 9. - С. 2-5.
4. *Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N.* Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. 18(3). 1617-1655.
5. *Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R.* State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. pp. 299-308.
6. ITU-T Recommendations by series - <http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=Y>
7. *Киричек Р. В., Владыко А. Г., Захаров М. В., Кучерявый А.Е.* Модельные сети для Интернета Вещей и программируемых сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2015. — №3(11). — С. 17-26.

К АНАЛИЗУ БИЗНЕС-ПРОЦЕСС УДАЛЕННОГО ОФОРМЛЕНИЯ ИПОТЕЧНОГО КРЕДИТА²⁰

Дымова П.И., Зимина М.М., Куцазли А.И., Гудкова И.А.

*Российский университет дружбы народов,
pdimova14@gmail.com, zimina.mari@inbox.ru,
aikushch@yandex.ru, gudkova_ia@rudn.university*

В работе проводится построение в нотации BPMN бизнес-процесса удаленного оформления ипотечного кредита, а также его имитационное моделирование для расчета и анализа показателей эффективности, в том числе среднего времени его выполнения.

Ключевые слова: BPMN, бизнес-процесс, имитационное моделирование, показатель эффективности

Рассмотрим бизнес-процесс удаленного оформления ипотечного кредита. Он находится между заявителем (заказчиком услуги) и представителем данной услуги (кредитная компания). В выполнении этого процесса задействованы четыре участника: финансовый директор (заботится о проверке кредитной истории заявителя); оценщик (несет ответственность за оценку имущества); страховой торговый представитель (отправляет расценки на страхование жилья заявителю, если это необходимо). Все остальные действия выполняет кредитный инспектор, который является главным в общении с заявителем.

Процесс оценки кредита начинается с получения заявки от заявителя. После того как кредитная заявка получена начинается проверка. Как только любая заявка будет считаться завершенной (т.е. она заполнена правильно), то она будет утверждена, но только после прохождения определенных проверок. Первое это оценить кредитный риск, данное действие происходит автоматически в системе. Вторая проверка – это оценка имущества, собственно для которого и требуется сам

²⁰ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

кредит. Перед проведением оценки рисков, проходит проверка кредитной истории, которую выполняет финансовый директор. После того, как оценка кредитного риска и оценка имущества были выполнены, кредитный эксперт может оценить правоспособность заявителя.

Кроме того, процесс оценки кредита взаимодействует с внутренней службой у поставщика кредита для оценки кредитных рисков (через задачу «оценка кредитного риска»). Эта служба определяет возможный процент риска, который пропорционален кредитной оценке, содержащейся в отчете о кредитной истории, на основе бизнес-правил. Процесс завершается уведомлением заявителя о конечном результате, он может быть, как положительным, так и отрицательным.

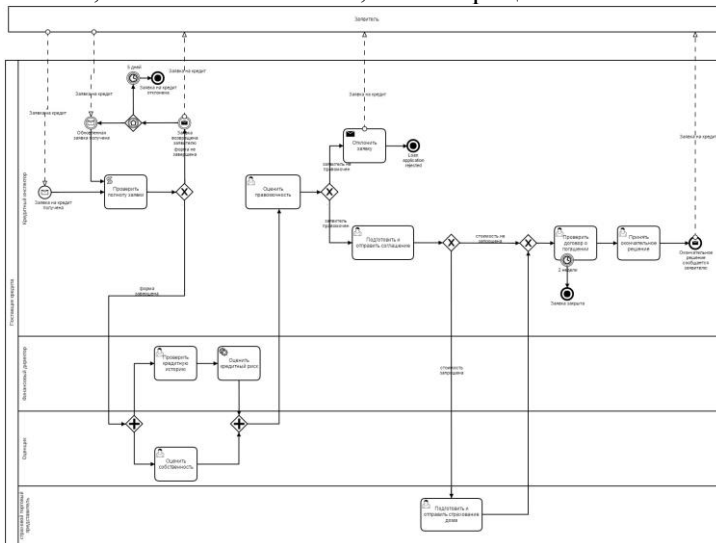


Рис. 1. Процесс оформления ипотечного кредита

В докладе приведены результаты имитационного моделирования бизнес-процесса удаленного оформления ипотечного кредита.

Литература

1. *Dumas, M., Mendling, J. et al.* Fundamentals of Business Process Management//Springer.-2013.- 414.
2. *Samouylov, K., Gaidamaka, Y., Zaripova, E.* Analysis of business process execution time with queueing theory models // (2016) Communications in Computer and Information Science, 638, pp. 315-326.

К ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ УЗКОПОЛОСНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ²¹

*Жданков А.Н., Конькова Е.В., Карнаухова К.Д., Халина В.А.,
Гайдамака Ю.В.*

*Российский университет дружбы народов,
a.zhdankov@inbox.ru, katikonkova1997@yandex.ru,
karnauxova_kristina@mail.ru, viktoriya.khalina@gmail.com,
gaydamaka_yuv@rudn.university*

NB-IoT (NarrowBand Internet of Things) – технология беспроводной узкополосной передачи данных, разработанная специально для приложений Интернета вещей. Стандартизация технологии NB-IoT произошла летом 2016 года консорциумом 3GPP, а в сентябре 2017 года увидел свет документ, в котором были указаны основные рабочие характеристики для NB-IoT. К тому же в программе «Цифровая экономика», разработанной Минкомсвязи по поручению Владимира Путина, после утверждения Правительством появился ряд новых пунктов. В их числе пункт раздела «Информационная инфраструктура» о строительстве стандарта LPWAN. Согласно программе, до конца 2017 года будет разработана концепция развития сетей узкополосной сети связи сбора телеметрической информации в городах с территорией более 100 кв. км. Также будут определены потребности в услугах, подходы к созданию и использованию сети LPWAN. Именно к такому типу сетей и относится NB-IoT. Ниже рассмотрены основные показатели данной технологии и сформулирована задача по поиску показателей качества в беспроводных сетях связи.

²¹ Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-03608, 16-07-00766 и при поддержке Программы РУДН «5-100».

Ключевые слова: NB-IoT, LPWAN, миллиметровые сети, LTE, NarrowBand Internet of Things, SINR, интерференция, M2M.

Разработкой стандартов для технологии узкополосного интернета вещей NB-IoT занимается организация 3GPP. В число компаний, которые принимают участие в стандартизации данной технологии входят Huawei, Ericsson, Qualcomm, Vodafone, Orange Cisco, Nokia, в России – Мегафон, МТС. Основным преимуществом технологии NB-IoT является то, что оператор LTE может развернуть NB-IoT внутри существующей сети LTE для передачи данных межмашинного взаимодействия (M2M, machine-to-machine communications). Это может помочь решить проблему загрузки сети большим количеством устройств, для которых не нужна большая пропускная способность. К таким устройствам относятся датчики телеметрии, сигнальные устройства, сенсоры, применяемые в логистике, измерительные приборы для «умных зданий», датчики для «умного сельского хозяйства», носимые устройства, включая «умные очки», фитнес-браслеты, медицинские сенсоры удаленного контроля самочувствия, и датчики для управления дорожным движением и безопасностью транспорта. Например, телекоммуникационная компания Huawei и предприятие China Telecom объявили о завершении проекта Smart Water, который базируется на NB-IoT. Данный проект заключался том, чтобы установить 1200 автоматизированных счетчиков воды, которые передавали бы данные в облако E-Cloud 3.0. С помощью таких датчиков можно оптимизировать расход воды, ее эффективную циркуляцию. Для того, чтобы развернуть подобную сеть стандарта NB-IoT, компаниям пришлось установить более 500 базовых станций, поддерживающих NB-IoT [1-2].

Полоса пропускания для технологии NB-IoT составляет всего лишь 180 кГц, тогда как для технологии LTE составляет от 1.4 МГц до 20 МГц. В настоящее время спектр частот для

сетей NB-IoT не лицензирован, поэтому сегодня реализованы три технологических варианта развертывания NB-IoT. Первый вариант заключается в развертывании «внутри полосы» (in band NB-IoT), где NB-IoT развертывается внутри существующего LTE спектра, используемого для MBB (Mobile broadband) услуг. Второй вариант, т.н. «защищенная полоса» (guard band NB-IoT), использует спектр по краям канала существующих LTE, что в свою очередь не гарантирует отсутствие помех от смежного канала на границах сот LTE. «Защищенные полосы» могут быть использованы без учета мощностей основных базовых станций LTE. Последний, третий вариант заключается в развертывании NB-IoT непосредственно в выделенных частотах, а также в использовании совокупности различных выделенных базовых станций специально для LTE и MBB (stand alone NB-IoT).

Возможность развертывания на базе существующих сетей 4G, а также сетей 2G и 3G является одним их существенных преимуществ технологии NB-IoT. Для GSM операторов достаточно заменить один носитель GSM (200 кГц) на NB-IoT. Оператор LTE может развернуть NB-IoT внутри носителя LTE путем выделения одного из ресурсных блоков (physical resource block, PRB) от 180 кГц в соответствующей полосе частот от 450 МГц до 3.5 ГГц. При этом максимальные скорости (download/upload) равны примерно 250 kbps/250 kbps для мультитональной и 20 kbps для однотоновой модуляции [3].

Технология NB-IoT только набирает обороты, но согласно исследованиям [4], прогнозируется увеличение IoT трафика ежегодно на 23% в период с 2015 по 2023 года. Из этого следует, что необходимо уметь оценивать качество связи для NB-IoT при различных условиях развертывания [5]. При вариантах «защищенная полоса» и «внутри полосы» показателями, существенно влияющими на качество связи, являются расстояние от базовой станции до устройства и шум. При этих случаях развертывания необходимо также оценить,

насколько трафик NB-IoT будет влиять на производительность сети LTE. Для третьего варианта развертывания к основным показателям качества связи может добавиться интерференция. Под интерференцией понимается взаимодействие сигналов, передаваемых различными источниками на одном и том же или на близких радиоканалах. Интерференция вызывает искажения сигнала рассматриваемого источника под воздействием сигналов сторонних источников. Традиционным показателем качества данных в радиоканале является отношение сигнала к интерференции плюс шум ОСШ (Signal to interference and noise ratio, SINR) [6], которое измеряется на приемнике. Показатель качества беспроводной связи ОСШ напрямую зависит от расстояния между базовой станцией и датчиком, передающим данные, и имеет обратную зависимость от мощности интерферирующего сигнала. Подобный случай тоже требует построения математической модели [7], которая бы учитывала особенности новой технологии NB-IoT, к тому же, как показывают исследования [8], интерференция при подобном развертывании уменьшает срок работы батареи, так как трафик отправляется повторно. Поэтому задачей исследования является создание модели, с помощью которой можно было бы проводить анализ качества связи для NB-IoT и оценить максимальное количество устройств для одной соты, при котором производительность сети не уменьшалась, а качество связи не становилось хуже.

На данный момент на региональном и глобальном уровне отсутствует решение в отношении отдельно установленного спектра; представляется наиболее вероятным, что ближайшее развертывание NB-IoT будут следовать «внутрисетевой» модели, предложенной компанией Vodafone [9]. Но несмотря на это уже сейчас ясно, что данная технология очень перспективна и сумеет существенно увеличить производительность сетей нового поколения, что делает исследования передачи данных с использованием технологии узкополосного интернета вещей NB-IoT актуальными.

Литература

1. IoT, Driving Verticals digitization, Smart Waret / Режим доступа – свободный:
<http://www.huawei.com/minisite/iot/en/smart-water.html>
2. Первый проект «умного» городского водоснабжения на базе NB-IoT (NarrowBand-IoT), 17.04.17 / Режим доступа – свободный:
<http://www.xdsl.ru/pervyj-proekt-umnogo-gorodskogo-vodosnabzheniya-na-baze-nb-iot-narrowband-iot/>
3. Standards for the IoT. 3GPP, 02.12.2016 / Режим доступа – свободный: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1805-iot_r14
4. Ericsson mobility report, on the pulse of the networked society, Ericsson White Paper, Jun. 2016
5. An Overview of 3GPP Enhancements on Machine to Machine Communications, Alberto Rico-Alvariño, Madhavan Vajareyam, Hao Xu, Xiaofeng Wang, Yufei Blankenship, Johan Bergman, Tuomas Tirronen, and Emre Yavuz. Publisher: IEEE (date of publication: 26 june 2016) / Режим доступа <http://ieeexplore.ieee.org/document/7497761>, закрытый (дата обращения 15.12.2016).
6. *Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К.* Метод расчёта характеристик интерференции двух взаимодействующих устройств в беспроводной гетерогенной сети // Информатика и ее применения. – 2015. – Т. 9. – Вып. 1. – С. 9-14.
7. A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things (NB-IoT), Y.-P. Eric Wang, Xingqin Lin, Ansuman Adhikary, Asbjörn Grövlén, Yutao Sui, Yufei Blankenship, Johan Bergman, and Hazhir S. Razaghi Ericsson Research, Ericsson AB. (date of publication: 13 jun 2016) / Режим доступа <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.04171.pdf>, свободный (дата обращения 15.12.2016).
8. Coverage Analysis of NB-IoT in the Presence of Radar Interference. Vaka, Pradeep Reddy; Bhattarai, Sudeep; Park, Jung-

Min (Jerry) – 01.05/2017 / Режим доступа – свободный:
<http://www.arias.ece.vt.edu/pdfs/TR-ECE-17-05.pdf>

9. Successful deployment of NB-IoT will depend on spectrum choices, Janett Stewart, 07.02.2017 / Режим доступа – свободный:
<https://iotbusinessnews.com/2017/02/07/79484-successful-deployment-nb-iot-will-depend-spectrum-choices/>

О ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ МЕТОДАМИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ²²

Жданков А.Н., Москалева Ф.А., Мигдалов П.В., Медведева Е.Г.

Российский университет дружбы народов,
a.zhdankov@inbox.ru, peter1996@mail.ru,
moskaleva.faina@mail.ru, egmedvedeva@gmail.com

В последнее время технологии в нашем мире стремительно развиваются. Люди уже не могут представить жизнь без интернета, без социальных сетей, развлечений в виде онлайн игр и просмотра видео. Но вместе с этим растут и потоки информации, которые требуется передавать между хостом и клиентом. Это затрагивает в огромной степени беспроводные технологии передачи данных. Для того, чтобы услуги связи предоставлялись с надлежащим уровнем качества, необходимо создавать математические модели, которые бы помогли оценить качество беспроводной сети при различных допущениях. Используя методы стохастической геометрии, мы исследуем совокупные помехи (интерференцию) со всех передатчиков, работающих на одинаковой радиочастоте или на смежных частотах. В данной работе рассмотрена постановка задачи для взаимодействия нескольких базовых станций в \mathbb{R}^3 . При этом учитывается не только расстояние между устройствами, но и высота, на которой они находятся.

Ключевые слова: прямое взаимодействие устройств, качество беспроводного канала, отношение сигнал/интерференция, моделирование, метод Монте-Карло, SINR, D2D.

В настоящее время основные мобильные системы связи работают на частотах до 3 ГГц, например, системы связи 4G ограничиваются рабочей частотой 2665 МГц (сети LT, Long

²² Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-03051 и 17-07-00845 и при поддержке Программы РУДН «5-100».

Term Evolution), при этом обеспечивая скорость передачи данных до 100 Мб/с [1]. Несмотря на то, что подобной пропускной способности достаточно для обслуживания абонентов на заявленном уровне качества, потребности пользователей растут с каждым годом и уже сейчас нужно готовиться к запросу значительного увеличения скорости передачи данных. На сегодняшний день очень перспективными выглядят системы связи миллиметрового диапазона для создания сверхвысокоскоростных беспроводных транспортных сетей мобильного трафика с возможностью передачи в канале миллиметрового диапазона длин волн гигабитных потоков. Технология mmWave уже используется в стационарных сценариях, например, внутри помещений, однако по ряду причин ее использование в мобильных сетях с перемещающимися приемопередающими устройствами, где требуется координация нескольких движущихся устройств, является проблематичным.

Весь спектр частот 30-300 ГГц считается диапазоном миллиметровых волн (ММВ; то же, что крайне высокие частоты, КВЧ, англ. extremely-high frequency, EHF) с длиной волны от 1 до 10 мм. Для миллиметровых волн выделяют несколько перспективных полос частот: 71-76, 81-86, 92-95 ГГц. Такое разделение спектра возникло благодаря особенностям распространения mmWave в диапазоне 60-100 ГГц. Как показали исследования, на волнах 2,5 мм (120 ГГц) и 5 мм (60 ГГц) наблюдается интенсивное поглощение для кислорода, а также на волнах 1,8 мм (167 ГГц) и 13,5 мм (22 ГГц) для водяного пара, поэтому наиболее перспективными являются частоты 71-76, 81-86 и 92-95 ГГц [2]. Кроме проблемы затухания сигнала, которая ограничивает использование технологии относительно небольшими, до сотен метров, расстояниями, в сетях миллиметрового диапазона остро стоит проблема чувствительности соединения к блокировке прямой видимости устройств. Передатчик ультракоротких диапазонов направлен на приемник, при этом радио канал подобен узкому конусу

света, и при перекрытии его посторонними объектами - людьми, автомобилями, деревьями, столбами и линиями передачи - связь блокируется. Таким образом, необходимо учитывать эти ограничения при моделировании передачи данных по технологии MMB для анализа показателей качества предоставления услуг в беспроводных сетях последующих поколений.

Одной из основных характеристик качества канала в беспроводных сетях связи является отношение уровня сигнала к интерференции плюс шум (ОСИ, англ. Signal to Interference and Noise Ratio, SINR), которое определяется отношением мощности принимаемого сигнала от соответствующего передатчика к суммарной мощности шума и принимаемого сигнала от интерферирующих передатчиков. При этом мощности принимаемого сигнала как от «своего», так и от каждого из интерферирующих передатчиков определяется с соответствии с классической моделью распространения сигнала - прямо пропорционально базовой мощности сигнала передатчика и обратно пропорционально расстоянию между передатчиком и приемником в некоторой постоянной степени, зависящий от среды распространения сигнала (т.н. коэффициент затухания - от 2 в условиях прямой видимости до 6 в худшем случае, при котором возможна связь) [3-8]. Узкая направленность антенны для передачи данных по технологии mmWave делает необходимым при моделировании учитывать не только расположение приемников и передатчиков на плоскости, как это было сделано при анализе качества передачи в радиоканале сетей LTE [6-8], но и высоту расположения передатчиков и приемников [9], а также расположение других объектов, которые могут стать блокираторами распространения сигнала. Первые шаги в этом направлении сделаны в [9], откуда взята постановка задачи. В этой работе высота передатчиков и приемников имеет экспоненциальное распределение с некоторым параметром, то есть мобильное устройство может быть расположено не только в руке пользователя, но и в любом

месте на теле, а точки доступа на высоте роста человека и выше. Расположение устройств на плоскости задается равномерным распределением. В данной работе предполагается, что чувствительность приемника является всенаправленной, а направленность передающих антенн моделируется как коническая зона с некоторым углом. Задачей исследования является оценка ОСШ на приёмнике при воздействии интерферирующих сигналов.

Использование волн миллиметрового диапазона приведёт к снижению габаритов антенных систем и увеличению скорости передачи данных примерно в 100 раз по сравнению с сегодняшними показателями. Несмотря на недостатки, такие как высокая чувствительность к среде передачи и блокировке прямой видимости между объектами даже сравнительно небольшого размера, mmWave является перспективной технологией, которая играет важную роль в разработке мобильных технологий пятого поколения (5G). Задачей дальнейших исследований станет разработка программного средства для анализа интерференции в случае подвижных абонентских устройств и наличия в модели блокаторов.

Литература

1. *Михалев Н.Е.* Будущее миллиметровых волн // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления": сборник докладов. – Екатеринбург: [УрФУ], 2015. — С. 60-64.
2. *Тихомиров А.В., Омелянчук Е.В.* Особенности проектирования систем связи миллиметрового диапазона радиоволн // Инженерный вестник Дона. – Вып. 2(25). – 2013.
3. *Andrews J. G., Singh S., Ye Q., Lin X., Dhillon H. S.* An overview of load balancing in hetnets: old myths and open problems // IEEE Wireless Communications, 2014. Vol. 21. No. 2. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=6812279>.
4. *Erturk M. C., Mukherjee S., Ishii H., Arslan H.* Distributions of transmit power and SINR in device-to-device networks // IEEE

- Communications Letters, 2013. Vol. 17. No. 2. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=6472443>.
5. Kim M., Han Y., Yoon Y., Chong Y., Lee H. Modeling of adjacent channel interference in heterogeneous wireless networks // IEEE Communications Letters, 2013. Vol. 17. No. 9. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=6604524>.
6. Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К. Метод расчёта характеристик интерференции двух взаимодействующих устройств в беспроводной гетерогенной сети // Информатика и ее применения. – 2015. – Т. 9. – Вып. 1. – С. 9-14.
7. Samuylov A., Molchanov D., Gaidamaka Yu., Andreev S., Koucheryavy Y. Random Triangle: A Baseline Model for Interference Analysis in Heterogeneous Networks // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2015. – Vol.65. – Issue 8. – Pp. 6778-6782.
8. Etezov Sh., Gaidamaka Yu., Samuylov K., Molchanov D., Samuylov A., Andreev S. On Distribution of SIR in Dense D2D Deployments // 22nd European Wireless conference (EW 2016) – May 18-20, 2016, Oulu, Finland. – Pp. 333-337.
9. R. Kovalchukov, A. Samuylov, D. Moltchanov, A. Ometov, S. Andreev, Y. Koucheryavy, and K. Samouylov. Modeling Three-Dimensional Interference and SIR in Highly Directional mmWave Communications // Proc. of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2017), Singapore, December 4-8, 2017. – Accepted paper.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА SPLUNK ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Захаров М.В., Киричек Р.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича,
zaharov.spbgut@gmail.com*

Для эффективного управления в Интернете Вещей и 5G сетях необходимо использовать анализ данных и визуализацию результатов.

Ключевые слова: Интернет Вещей, 5G, анализ данных, визуализация, Splunk.

Введение

Локомотивом наступающей четвёртой промышленной революции в области телекоммуникаций является переход к Интернету Вещей, сетям 5G и SDN. Их внедрение позволит справиться с происходящим лавинообразным ростом числа подключенных к сети устройств [1,2].

Увеличение числа подключенных к сети устройств означает не только увеличение объёмов трафика, но и как минимум – пропорциональный рост объёмов передаваемой служебной информации.

Проблематика

Главными задачами в области телекоммуникаций всегда были сокращение эксплуатационным расходов и повышение качества предоставляемых услуг. В настоящее время за счёт внедрения технологий автоматизации и информатизации удалось значительно сократить количество обслуживающих работников технического персонала, повысив эффективность их работы. Но, удастся ли сохранить статус-кво, если предполагается, что к 2020 году количество подключённых к сети устройств достигнет 25 миллиардов? Очевидно, что необходимо внедрять новые инструменты анализа и визуализации данных, которые позволят

сотруднику технического отдела более эффективно работать с поступающей информацией.

Применение методов анализа данных

Анализ данных в настоящее время является одним из наиболее популярных направлений исследований [3,4]. В телекоммуникациях при переходе к Интернету Вещей и 5G сетям целесообразно применить его для извлечения полезной информации из журналов событий (лог-файлы), передаваемых служебных данные, для мониторинга характеристик подключённых к сети устройств, визуализации полученных данных с целью упрощения их восприятия.

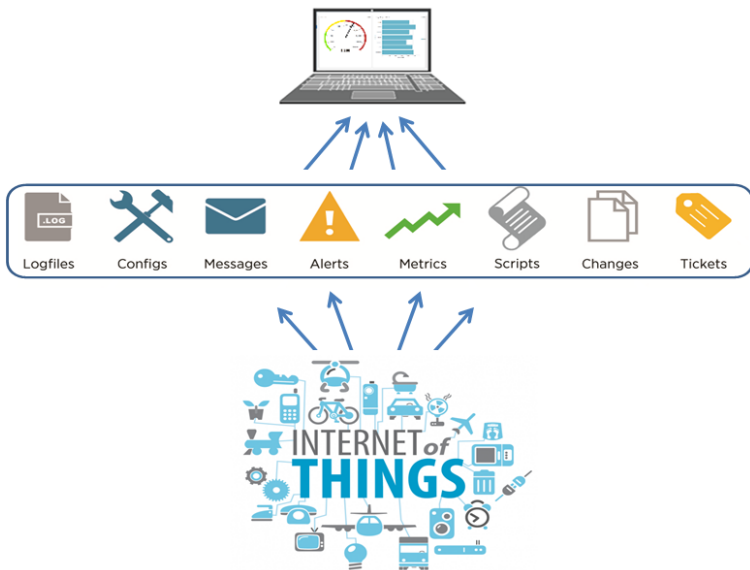


Рис. 1. Разнообразие типов данных и необходимость их анализа

Инструменты анализа данных

Одним из самых популярных инструментов анализа данных является программное обеспечение Splunk. Эта платформа позволяет агрегировать, анализировать и взаимодействовать с большими объемами данных, создаваемых технологической

инфраструктурой, системами безопасности и бизнес-приложениями. В результате пользователь получает визуальную статистику, которая значительно упрощает процесс принятия решений и управления в технически сложных средах и отраслях. Наибольший интерес на данный момент представляют модули категории IoT & Industrial Data, которые доступны на сайте производителя, а именно Splunk Machine Learning Toolkit и Fabrix Data Visualization for Splunk.

Выводы

Возможности анализа данных в области телекоммуникаций, разумеется, не ограничиваются лишь эксплуатацией и поддержкой работоспособности сетей, однако именно в этой сфере они будут наиболее востребованы в самое ближайшее время.

Литература

1. *Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Маколкина М.А., Пармонов А.И., Выборнова А.И., Пирмагомедов Р.Я.* Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017-2020 годы. Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1-14.
2. *Бородин А.С., Кучерявый А.Е.* Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики. Электросвязь. 2017. № 5. С. 45-49.
3. *Севостьянов В. Н.* BIG Data как инновационный путь развития компании // Молодой ученый. — 2014. — №8.2. — С. 55-57.
4. *Герасименко Е.М.* Интеллектуальный анализ данных. Алгоритмы data mining. учебное пособие / Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону-Таганрог, 2017.

АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ СХЕМЫ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТ В БЕСПРОВОДНОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ²³

Иванова Д.В., Карнаухова Е.А.

*Российский университет дружбы народов,
daria.i1996@gmail.com, ek.karnauhova@gmail.com*

Объем трафика в мобильных сетях с каждым годом увеличивается, в связи с чем операторы вынуждены искать способы более эффективного использования радиоресурсов. Одним из возможных решений этой проблемы является система совместного использования лицензированного спектра частот LSA (Licensed Shared Access).

Ключевые слова: совместное использование радиочастот, LSA, снижение скорости обслуживания.

Введение

В работе рассматривается математическая модель схемы совместного использования лицензированного спектра частот LSA. При управлении радиоресурсами используется механизм снижения скорости обслуживания пользователей оператора-арендатора, имеющего доступ как к полосе индивидуального использования – собственной полосе частот, так и к полосе совместного использования – арендованной у оператора-владельца полосе.

Математическая модель

На полосе индивидуального использования емкостью C_1 заявки обслуживаются на максимальной скорости d_{\max} , на полосе совместного использования емкостью C_2 – на максимальной d_{\max} или минимальной d_{\min} скорости, в зависимости от состояния полосы (активное или пассивное). Предложенная нагрузка определяется по формуле $\rho = \lambda/\mu$, где

²³ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

λ – интенсивность поступления заявок, а μ^{-1} – среднее время обслуживания.

Полоса совместного использования переходит в активное состояние с интенсивностью α и восстанавливается с интенсивностью β . Вектор (n_1, n_2, s) , где $n_1 = \{0, 1, \dots, N_1\}$ и $n_2 = \{0, 1, \dots, N_2\}$ – количество заявок на полосах индивидуального и совместного использования соответственно, а $s = \{0, 1\}$ – состояние системы, описывает состояние системы в пространстве состояний X (1). Причем, $N_1 = \lfloor C_1/d_{\max} \rfloor$, $N_2 = \lfloor C_2/d_{\max} \rfloor$.

$$X = \{n_1 = \overline{0, N_1}; n_2 = \overline{0, N_2}; s = 0 \vee n_1 = \overline{0, N_1}; n_2 = \overline{0, N_2}; s = 1\}. \quad (1)$$

Численный анализ вероятностных характеристик модели

Основными характеристиками модели являются вероятность блокировки (2) и средняя скорость обслуживания в системе (3) или на полосе совместного использования (4).

$$B = \sum_{i=0}^{N_2} p(N_1, i, 0) + p(N_1, N_2, 1), \quad (1)$$

$$d_{cp} = \sum_{(n_1, n_2, s) \in X / \left\{ \begin{matrix} (0,0,0), \\ (0,0,1) \end{matrix} \right\}} \left[\left(\frac{n_1 d_{\max} + n_2 d_{\max} \cdot I(s=1) + n_2 d_{\min} \cdot I(s=0)}{n_1 + n_2} \right) \cdot p(n_1, n_2, s) \right] / \sum_{(n_1, n_2, s) \in X / \left\{ \begin{matrix} (0,0,0), \\ (0,0,1) \end{matrix} \right\}} p(n_1, n_2, s), \quad (2)$$

$$d_{cp_{C_2}} = \frac{\sum_{(n_1, n_2, s) \in X: n_2 \neq 0} (d_{\max} \cdot p(n_1, n_2, 1) + d_{\min} \cdot p(n_1, n_2, 0))}{\sum_{(n_1, n_2, s) \in X: n_2 \neq 0} p(n_1, n_2, s)}. \quad (3)$$

Для нахождения распределения вероятностей $p(n_1, n_2, s)$, $(n_1, n_2, s) \in X$, необходимого для расчета характеристик модели, было проведено численное решение СУР методом Крамера.

Предположим, что $C_1 = C_2 = 10$ Мбит/с, $d_{\max} = 1$ Мбит/с, а $d_{\min} = 0,5$ Мбит/с. Рассмотрим случаи, когда интенсивность поступления запросов на освобождение радиоресурсов равна 1 часу и 4 часам.

Из полученных графиков (рис. 1 и 2) можно сделать вывод, что чем реже полоса совместного использования переходит в пассивный режим, тем лучше исследуемые характеристики, а средняя скорость на полосе совместного использования ниже средней скорости обслуживания всей системы.

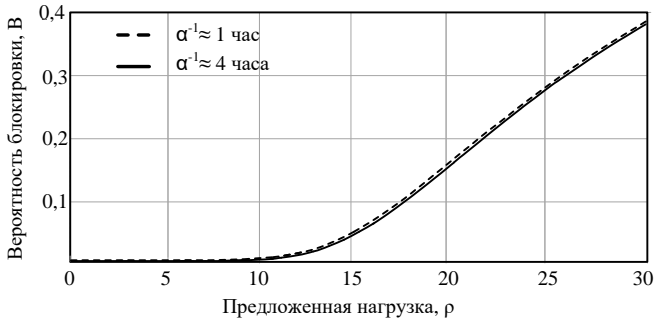


Рис. 1. Зависимость вероятности блокировки от предложенной нагрузки

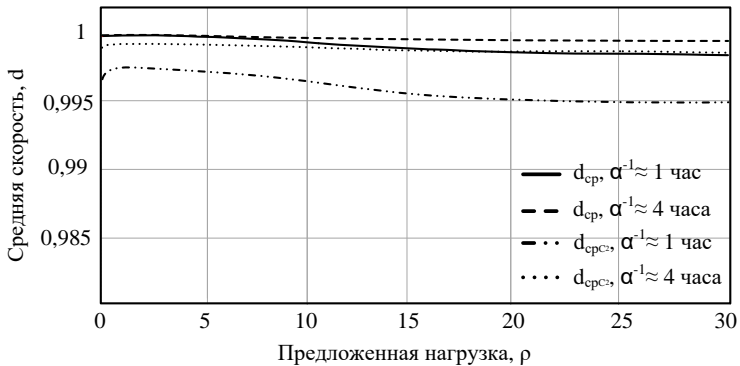


Рис. 2. Зависимость средней скорости обслуживания от предложенной нагрузки

Выводы

В работе получены формулы для расчета основных вероятностных характеристик модели: вероятности блокировки и средней скорости обслуживания; проведен численный анализ данных характеристик.

Литература

1. *Ahokangas P., Matinmikko M., Yrjola S., Mustonen M., Luttinen E., Kivimäki A., Kemppainen J.* Business models for mobile network operators in Licensed Shared Access (LSA). – 2014. – Pp. 407-412.
2. *Samouylov K., Gudkova I., Markova E., and Yarkina N.* Queuing model with unreliable servers for limit power policy within Licensed Shared Access framework // Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9870. – Pp. 404-413.

АНАЛИЗ ЦЕН НА РЫНКЕ КВАРТИР С ПОМОЩЬЮ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ²⁴

Казандаева А.П., Пылаева А.Н., Ильина Д.С., Зотова П.А.,
Бегре Бегре Би Мари Мишель
Российский университет дружбы народов,
anna@kazандаева.ru, knyazevaalyona1@gmail.com,
ilinadasha96@mail.ru, zotova-pa@mail.ru,
beugremichelle89@yahoo.fr

Данная статья посвящена анализу и моделированию рынка жилой недвижимости на примере Москворецкого района города Санкт-Петербурга. Проведен эконометрический анализ жилой недвижимости, а именно двухкомнатных квартир, с целью выявления факторов, влияющих на формирование цен на квартиры. Двухкомнатные квартиры были выбраны как самый популярный вариант приобретения недвижимости. В результате данного анализа были выделены следующие факторы, которые наиболее ощутимо влияют на повышение цены жилой недвижимости: общая площадь квартиры, этажность дома и площадь кухни.

Ключевые слова: анализ цен, жилая недвижимость, моделирование, рынок жилья, формирование стоимости, эконометрический анализ, линейная модель, логарифмическая модель.

²⁴ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОСТИ УЧАСТНИКОВ СОЕДИНЕНИЯ В ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ²⁵

Кименчежи В.В., Козырев Д.В.
Российский Университет Дружбы Народов,
rikk_a@bk.ru, kozyrev_dv@rudn.university

Рассматривается модель перемещения и связи объектов на складе, включающая в себя три типа соединений: Device-to-Device (D2D), связь с беспилотниками и связь с базовой станцией. Проведено имитационное моделирование системы на основе дискретно-событийного подхода. В результате получены графики, отражающие положение объектов внутри склада и изменение площади покрытия, а также долевое соотношение между разными типами соединений.

Ключевые слова: математическое и имитационное моделирование, IoT, беспроводная передача данных, гетерогенная сеть.

Введение

Интернет вещей в наше время – это перспективное направление для разработки, производства и бизнеса. Создание беспилотных систем позволит оптимизировать затраты времени работы людей и энергоресурсов, а роботизация и автоматизация складских помещений уже используются рядом компаний и позволяют оптимизировать время сборки заказа пользователя, численность рабочих, пространство склада и соответственно затраты по этим статьям.

Целью работы является создание программы, имитирующей мобильность трёх типов агентов связи на складе: машины, люди и беспилотники посредством разных технологий беспроводных соединений.

²⁵ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Описание задачи и исследуемой системы

В качестве объекта имитационного моделирования индустриальной автоматизации рассматривается склад площадью [100,100] метров. Внутри склада располагаются 100 статичных машин, 30 мобильных сотрудников склада и 5 беспилотных аппаратов, обеспечивающих связь между людьми и машинами. Беспилотники и люди двигаются согласно модели Random Walk (RW) с малыми скоростями и в случайных направлениях. Предполагается, что радиус покрытия сигнала беспилотника 30 метров. Также имеется базовая станция, покрывающая 70% территории склада. Беспилотники имеют ограниченный заряд аккумулятора и периодически должны отправляться на подзарядку. Величина заряда в начальный момент времени распределена согласно закону Вейбула-Гнеденко. В начальный момент времени объекты распределяются по складу равномерно. Беспилотники, перемещающиеся по складу, обеспечивают связь между объектами (людьми и машинами). Машины и люди также могут связываться между собой посредством связи D2D с радиусом 20 метров.

Результаты имитационного моделирования

Для реализации, поставленной выше задачи была разработана программа. В результате работы программы выводятся данные о среднем количестве соединений разного типа, а также среднее количество беспилотников, находящихся в рабочем состоянии. Рис.1 отображает пример состояния модели. Синие точки – машины, красные – беспилотники, зелёные – люди. Зелёные окружности – зоны покрытия связью активными беспилотниками, чёрная окружность – зона покрытия базовой станции.

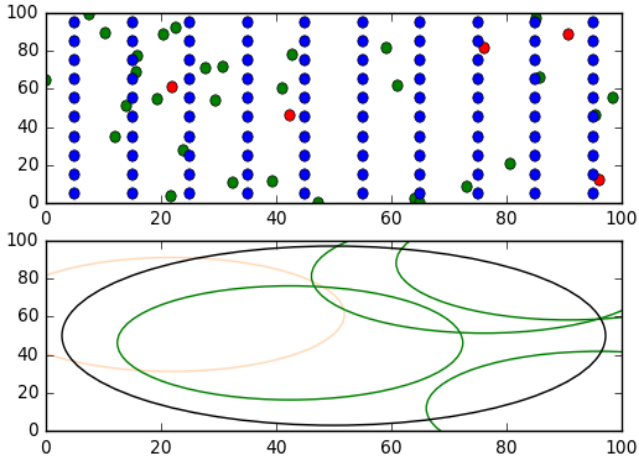


Рис. 1. Пример состояния имитационной модели.

Программа также позволяет построить ниже приведенные графики, отображающие соотношение разных типов связи по количеству использующих их агентов в процентах (рис. 2), количество беспилотников в работе (рис. 3).

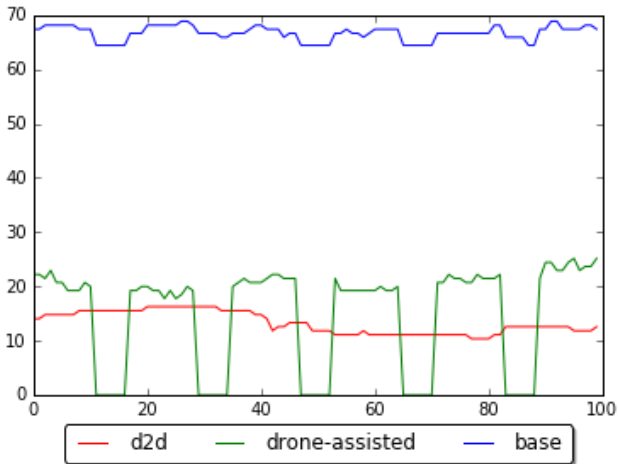


Рис. 2. Соотношение типов соединения.

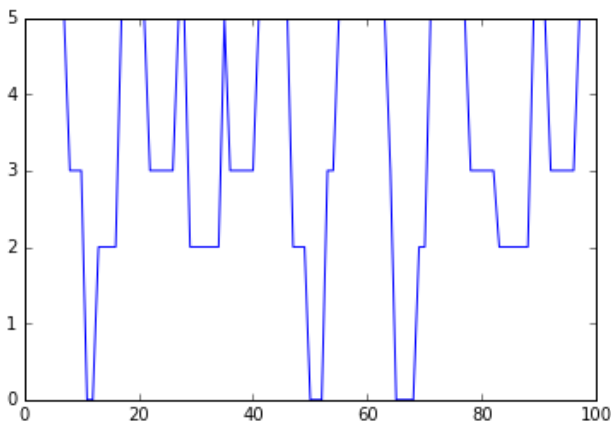


Рис. 3. Работа беспилотников.

Выводы

Было проведено имитационное моделирование мобильности участников соединения (людей, машин и дронов) в сети беспроводной передачи данных с разными типами соединений. Результаты работы программы позволяют оценить зависимость покрытия связью мобильных объектов от количества рабочих беспилотников, визуализировать состояние системы в определённый момент времени, а также оценить прибавочную площадь покрытия беспроводной связью.

Литература

1. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика ЦС, БХВ, 2004, Зизд.,
2. Ericsson, “Cellular Networks for Massive IoT,” White paper, https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp_iiot.pdf, 2015
3. ITU-R M.2083-0, “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” tech. rep., September 2015

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ С РАСЩЕПЛЕНИЕМ ПОСТУПАЮЩИХ ЗАЯВОК²⁶

Краденых А.А., Зарядов И.С.

*Российский университет дружбы народов,
kradenyh94@yandex.ru*

Строится математическая модель системы облачных вычислений с помощью системы массового обслуживания с расщеплением поступающих заявок на части и синхронизацией обслуживания.

Ключевые слова: система облачных вычислений, расщепление заявки, система массового обслуживания.

Постановка задачи

Представлена модель системы облачных вычислений [1-4] в виде системы с расщеплением поступивших заявок [5]. В систему из N приборов, обслуживание на каждом из которых имеет экспоненциальное с параметром μ_i ($i = \overline{1, N}$) распределение, и накопителем емкости $r \leq \infty$ поступает пуассоновский интенсивности λ поток заявок.

Каждая заявка при переходе на обслуживание делится на N частей, при этом каждая часть заявки занимает свой прибор. Новая заявка может перейти на обслуживание только тогда, когда все части предыдущей заявки освободят занятые приборы. Таким образом, с.в. η – время обслуживания заявки на приборе, равна максимуму времен обслуживания частей этой заявки $\eta = \max(\eta_1, \dots, \eta_N)$, $\eta_i \sim \text{Exp}(\mu_i)$, $i = \overline{1, N}$.

Введем двумерный случайный процесс $(\xi(t), \mu(t))$, в котором $\xi(t)$ описывает число заявок в накопителе, а $\mu(t)$ – число занятых приборов. Множество состояний (i, j) – здесь $i = \overline{0, r}$ – число заявок в накопителе, а $j = \overline{1, N}$ – число занятых приборов. Состояние $(0, 0)$ будем обозначать через 0.

²⁶ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Пусть существует стационарное распределение $p_{i,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = i, \mu(t) = j\}$, удовлетворяющее системе:

$$\lambda * p_0 = f_1(\vec{\mu}) * p_{0,1}, \quad (1)$$

$$(\lambda + f_j(\vec{\mu})) * p_{0,j} = f_{j+1}(\vec{\mu}) * p_{0,j+1}, \quad j = \overline{1, N-1}, \quad (2)$$

$$(\lambda + f_N(\vec{\mu})) * p_{0,N} = \lambda * p_0 + f_1(\vec{\mu}) * p_{1,1}, \quad (3)$$

Для системы с накопителем неограниченной емкости ($r = \infty$):

$$(\lambda + f_j(\vec{\mu})) * p_{i,j} = \lambda * p_{i-1,j} + f_{j+1}(\vec{\mu}) * p_{i,j+1}; \quad i = \overline{1, \infty}, \\ j = \overline{1, N-1}, \quad (4)$$

$$(\lambda + f_N(\vec{\mu})) * p_{i,N} = \lambda * p_{i-1,N} + f_1(\vec{\mu}) * p_{i+1,1}; \quad i \geq 1, \quad (5)$$

Для системы с накопителем ограниченной емкости ($r < \infty$)

$$(\lambda + f_j(\vec{\mu})) * p_{i,j} = \lambda * p_{i-1,j} + f_{j+1}(\vec{\mu}) * p_{i,j+1}; \\ i = \overline{1, r-1}, \quad j = \overline{1, N-1}, \quad (6)$$

$$(\lambda + f_N(\vec{\mu})) * p_{i,N} = \lambda * p_{i-1,N} + f_1(\vec{\mu}) * p_{i+1,1}; \quad i = \overline{1, r-1}, \quad (5)$$

$$f_j(\vec{\mu}) * p_{r,j} = \lambda * p_{r-1,j} + f_{j+1}(\vec{\mu}) * p_{r,j+1}, \quad j = \overline{1, N-1} \quad (8)$$

$$f_N(\vec{\mu}) * p_{r,N} = \lambda * p_{r-1,N} \quad (9)$$

Условие нормировки:

$$\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^N p_{i,j} + p_0 = 1.$$

Здесь $f_j(\vec{\mu})$ – функция – интенсивность окончания обслуживания на одном из j занятых приборов.

Рассмотрим частный случай $\mu_i = \mu \forall i = \overline{1, N}$. Тогда $f_j(\vec{\mu}) = f_j(\mu) = j\mu$. Решение (1)-(9) для $r < \infty$ может быть получено с помощью следующих рекуррентных формул и нормировки:

$$p_{0,1} = \frac{\lambda}{f_1(\mu)} p_0, \quad p_{0,j+1} = \frac{(\lambda + f_j(\mu))}{f_{j+1}(\mu)} p_{0,j}; \quad j = \overline{1, N-1},$$

$$p_{1,1} = \frac{(\lambda + f_N(\mu)) * p_{0,N} - \lambda * p_0}{f_1(\mu)},$$

$$p_{i,j+1} = \frac{(\lambda + f_j(\mu))p_{i,j} - \lambda p_{i-1,j}}{f_{j+1}(\mu)}; i = \overline{1, r-1}; j = \overline{1, N-1},$$

$$p_{i+1,1} = \frac{(\lambda + f_N(\mu))p_{i,N} - \lambda p_{i-1,N}}{f_1(\mu)}; i = \overline{1, r-1};$$

$$p_{r,j+1} = \frac{f_j(\mu)p_{r,j} - \lambda p_{r-1,j}}{f_j(\mu)}; j = \overline{1, r-1},$$

Для $r = \infty$, решение получается с помощью:

$$p_{i,j+1} = \frac{(\lambda + f_j(\mu))p_{i,j} - \lambda p_{i-1,j}}{f_{j+1}(\mu)}; i = \overline{1, \infty}; j = \overline{1, N-1},$$

$$p_{i+1,1} = \frac{(\lambda + f_N(\mu))p_{i,N} - \lambda p_{i-1,N}}{f_1(\mu)}; i = \overline{1, \infty}.$$

Выводы

Рассмотрена математическая модель системы облачных вычислений, для построения которой использовалась система массового обслуживания с расщеплением поступающих заявок для дальнейшего параллельной обработки на приборах.

Литература

1. Xiong K., Perros H. Service performance and analysis in cloud computing // IEEE World Conference on Services. – Los Angeles. 2009. – PP. 693–700.
2. Buyya R., Broberg J., Goscinski A.M. Introduction to cloud computing // Cloud Computing: Principles and Paradigms. – John Wiley & Sons Inc. – 2011. – PP. 3-42.
3. Mokrov E., Samouylov K. Modeling of cloud computing as a queuing system with batch arrivals // T-Comm. – № 11. – 2013. – PP. 139-141.
4. Горбунова А.В., Зарядов И.С., Матюшенко С.И., Самуйлов К.Е., Шоргин С.Я. Аппроксимация времени отклика системы

облачных вычислений. // Информатика и ее применение. – Т. 9, выпуск 3. – 2015. – С. 32 - 38.

5. *А. А. Краденых*. Построение математической модели системы облачных вычислений, Материалы Всероссийской конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем», Москва, РУДН, 2016, с. 101-103.

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ТЕСТИРОВАНИЮ ГЕТЕРОГЕННЫХ ШЛЮЗОВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Кулик В.А., Киричек Р.В.

*ФГБОУВО "Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-
Бруевича",
vslav.kulik@gmail.com*

В данной статье исследуются требования к гетерогенным шлюзам Интернета Вещей. В данной статье определяются показатели и методы тестирования гетерогенных шлюзов Интернета Вещей.

Ключевые слова: интернет вещей, тестирование, QoS, задержка, пропускная способность.

Введение

В настоящее время концепция Интернета Вещей является одной из самых приоритетных направлений развития в отрасли информационных технологий [1]. В связи с этим возникает ряд проблем связанных с взаимодействием различных устройств и технологий Промышленного Интернета (Industrial IoT) [2].

Данное направление предполагает создание глобальной инфраструктуры автоматизации производства путем объединения различных технологий и протоколов в единую гетерогенную сеть выполняющую функции системы автоматизации управления технологического процесса. В качестве решения данной проблемы предлагается использовать гетерогенные шлюзы Интернета Вещей.

Для обеспечения стабильности работы данных гетерогенных шлюзов необходимо разработать требования к их комплексному тестированию.

В данной статье определяются требования к тестированию гетерогенных шлюзов Интернета Вещей. Определяются основные параметры и методы тестирования шлюзов ИВ.

Показатели производительности шлюзов ИВ

Для разработки методов тестирования гетерогенных шлюзов ИВ, необходимо определить основные показатели производительности гетерогенных шлюзов ИВ. Согласно рекомендации ITU-T Y.1540 основными показателями производительности IP-сетей является [3]:

- Задержка доставки пакета IP (IP packet transfer delay, IPTD).
- Вариация задержки пакета IP (IP packet delay variation, IPDV или Jitter).
- Коэффициент потери пакетов IP (IP packet loss ratio, IPLR).
- Коэффициент ошибок пакетов IP (IP packet error ratio, IPER).

Данные показатели можно использовать также для оценки производительности гетерогенных шлюзов ИВ в момент преобразования пакетов из одного формата в другой [4].

Архитектура гетерогенного шлюза Интернета Вещей в сопоставлении с моделью OSI изображена на рис.1 [5].

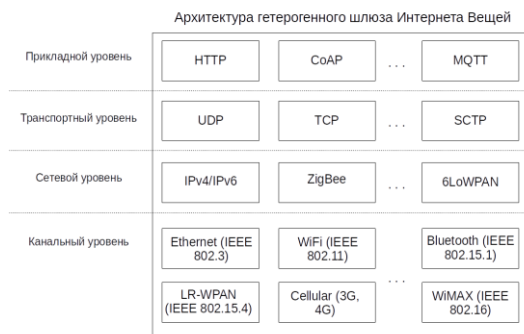


Рис. 1. Архитектура гетерогенного шлюза Интернета Вещей.

Также помимо приведенных показателей предлагается использовать показатели загрузки Центрального Процессора и Оперативной Памяти, для оценки загруженности вычислительного ресурса и буфера шлюза [6].

Методы тестирования

В качестве основных методов тестирования гетерогенных шлюзов ИВ предлагается использовать:

- Нагрузочное тестирование;
- Стресс-тестирование;
- Тестирование качества обслуживания;
- Тестирование производительности;
- Тестирование на отказ оборудования.

Выводы

В данной работе были сформулированы основные требования к тестированию гетерогенных шлюзов Интернета Вещей. Были определены параметры и методы тестирования.

В дальнейшем на базе данных методов предлагается разработать программно-аппаратный комплекс, представляющий собой модельную сеть тестирования гетерогенных шлюзов Интернета Вещей.

Литература

1. *Кучерявый А.Е.* Интернет Вещей//Электросвязь. 2013. № 1. С. 21-24 // ISSN: 0013-5771.
2. Что такое индустриальный интернет? // Ростелеком. URL: <https://www.rostelecom.ru/projects/IIoT/IIoT.php>.
3. ITU-T Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters // TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU. Jule 2017. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540-201607-I/en>.
4. *V.Kulik, A.Muthanna, V.Pham, A.Hakimov, R.Kirichek, R.Pirmagomedov.* The study of semantic gateway performance. ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ 6, 2017, стр. 69-73. ISSN: 0013-5771.

5. Кулик В.А., Киричек Р.В., Кучерявый А.Е. Программно-аппаратный комплекс для тестирования устройств Интернета Вещей//Информационные технологии и телекоммуникации, 2015, № 4 (12), с. 67-76. ISSN: 2307-1303.

6. Хакимов А.А., Мутханна А.С., Кулик В.А., Киричек Р.В. Анализ производительности шлюза умного дома на базе облачной платформы AllJoin// Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, № 2, с.77-85. ISSN: 2307-1303.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ЛОБАТТО НА ЯЗЫКЕ JULIA²⁷

Мартиньо Родригеш Эдижу

*Российский университет дружбы народов,
rodrigues2612@gmail.com*

Неявные методы Рунге-Кутты используются для решения жестких задач. Методы. В данной работе описывается реализация методов Лобатто — частного случая неявных методов Рунге-Кутты — на языке Julia.

Ключевые слова: численные методы, научное программирование, методы Рунге-Кутты, метод Лобатто.

Введение

В данной работе используется язык программирования Julia [1,2] для реализации частного случая неявных численных методов типа Рунге-Кутты. Julia — это современный язык программирования, разрабатываемый специально для научных вычислений и по замыслу своих авторов призванный решить проблему «двух языков», которая заключается в том, что современный исследователь вынужден использовать два языка: один компилируемый, а другой интерпретируемый. На компилируемом языке пишутся высокопроизводительные вычислительные программы, а затем на интерпретируемом языке производится обработка и визуализации результатов. Julia совмещает в себе высокое быстродействие компилируемого языка и удобство использования интерпретируемого, что позволяет писать все компоненты программы на одном языке программирования.

Неявные методы Рунге-Кутты

Классические методы Рунге-Кутты являются явными численными методами [3]. Явность метода означает, что все вычисления проходят по определенному набору формул, в которых каждая следующая величина выражается через

²⁷ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

предыдущие. Такие методы легки для реализации в виде программного кода и активно используются для решения нежестких систем уравнений. Жесткими [4] называются системы, в которых малое изменение аргумента может привести к скачкообразному изменению решения. Для таких систем явные численные методы зачастую работают плохо и дают существенную погрешность даже на малом отрезке интегрирования.

Для жестких задач сложилась практика использования неявных численных методов, которые показывают гораздо лучшую сходимость и устойчивость даже при малых порядках точности. Однако в отличие от явных методов, неявные методы гораздо более сложны для реализации в программном виде.

На каждом шаге неявных методов необходимо решать систему нелинейных уравнений с разными начальными условиями и коэффициентами.

В данной работе для нахождения решения нелинейной системы использовались функции из библиотеки `NSolve.jl`, в которой реализован набор функций для многомерных нелинейных алгебраических систем уравнений.

Для реализации выбраны неявные методы, носящие имя Руэля Лобатто, датского математика 19 века, который получил квадратурные формулы для вычисления интегралов. Данные формулы были использованы уже в 20 веке для получения коэффициентов неявного метода Рунге-Кутты. Существует несколько наборов коэффициентов, но основными являются наборы, дающие двух и трех стадийные численные методы третьего и четвертого порядков сходимости. Эти методы получили обозначение IIIA, IIIB и IIIC.

Существуют реализации методов Лобатто на языке Фортран, ставшие эталонными и широко используемые в различных библиотеках [3]. Однако эти реализации написаны на старой версии языка (стандарт F77), так что создание современной версии является актуальной задачей.

Выводы

Результатом работы является модуль для языка Julia в котором реализованы неявные численные методы Рунге-Кутты с наборами коэффициентов Лобатто, а именно методы Лобатто IIIA, IIIB и IIIC. Для тестирования методов использовались жесткие системы уравнений, изложенные в [2] и производилось сравнение с эталонными реализациями [3].

Литература

1. Julia: A Fresh Approach to Numerical Computing / Jeff Bezanson, Alan Edelman, Stefan Karpinski, Viral B. Shah.—2014. —November.— arXiv : cs.MS/1411.1607.
2. *Шеррингтон Мальком*. Осваиваем язык Julia. — Москва : ДМК Пресс, 2017. — ISBN: 978-5-97060-370-3
3. *Hairer E., Nørsett S. P., G.Wanner*. Solving Ordinary Differential Equations I. — 2 edition. —Berlin : Springer, 2008.—ISBN: 978-3-540-56670-0
4. *Hairer Ernst, Wanner Gerhard*. Solving Ordinary Differential Equations II. Stiffand Differential Algebraic Problems .—2 edition.—1996. —ISBN: 978-3-642-05221-7
5. Fortran and Matlab Codes. — Access mode: <https://www.unige.ch/~hairer/software.html>

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОРЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИИ NB-IOT²⁸

Мачнев Е.А., Бегисhev В.О.

Российский университет дружбы народов,
egork1996@yandex.ru, begishev@mail.ru

В работе рассматривается совместное использование радиоресурсов между H2H (англ. human-to-human) и узкополосным трафиком IoT в одной соте сети LTE. Предлагается теоретическая модель массового обслуживания, которая описывает процесс динамического распределения ресурсов сети LTE. Для выбранной стратегии вычислены вероятность потери LTE и NB-IoT сеансов.

Ключевые слова: интернет вещей, Narrow-Band Internet of Things, динамическое распределение, радиоресурсы.

Введение

Существующие коммуникационные решения для межмашинных взаимодействий не применимы в этих сценариях из-за большой емкости потоковой передачи видео. Таким образом, применение высокоскоростных (сотовых) беспроводных решений для передачи данных на большие расстояния становится единственным возможным вариантом. Учитывая ограниченное количество радиоресурсов, выбор стратегии распределения радиоресурсов между меньшим количеством высокоскоростных видеокамер [1] и большим количеством низкоскоростных смарт-счетчиков [1,2] является важной задачей для операторов беспроводных сетей. В рамках этой задачи необходимо сбалансировать вероятностно-временные характеристики (VBX), такие как вероятности потери сеанса для отдельных потоков данных.

Системная модель

Рассматривается сота сети LTE с базовой станцией, расположенной в центре соты. Весь набор доступных ресурсов

²⁸ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

будем измерять в каналах NB-IoT. В дальнейшем мы называем это базовым каналом. В направлении восходящей линии для NB-IoT доступны C каналов, которые можно вычислить как $C = cS$, где S - количество ресурсных блоков (RB), c - количество базовых каналов в одном RB [3].

Входящий поток от сессий LTE является пуассоновским с интенсивностью ν . Время предоставления LTE-услуги распределено по экспоненциальному закону со средним $1/\mu$, а минимальное количество ресурсов, запрошенных на установление соединения на каждом временном интервале восходящей линии, составляет d базовых каналов. Пусть $a = \nu/\mu$ предложенная нагрузка LTE. Запросы на соединение от NB-IoT поступают в соответствии с процессом Пуассона с интенсивностью λ . Каждое поступление данных характеризуется экспоненциально распределенным временем обслуживания с параметром θ . Для каждого сеанса NB-IoT требуются b базовых каналов. Интенсивность предложенной нагрузки на передачу блоков данных от NB-IoT обозначим через $\rho = \lambda\theta$. Аналогично сессиям LTE, устройства NB-IoT считаются статичными в течение всей сессии.

Пусть $m(t), t > 0$ и $n(t), t > 0$ определяют число активных сессий NB-IoT и LTE соответственно. Следовательно, состояние системы соты сети LTE, обслуживающей трафик NB-IoT и LTE, может быть описано двумерным случайным процессом, $\{m(t), n(t), t > 0\}$ со следующим пространством состояний [4]:

$$\chi = \{m \geq 0, n \geq 0: nd \leq C - R_N, c(m) \leq C - R_L, nd + c(m) \leq C\}, \quad (1)$$

где $c(m) = c[bm/M]$ - количество базовых каналов, занятых сессиями NB-IoT, M - максимальное количество сессий в NB-IoT, которые могут быть обслужены в одном RB, $M = [c/b]$ - количество базовых каналов, необходимых для обслуживания этих сессий.

Введем $p(m, n)(t), \{m, n\} \in \chi$ - стационарное распределение вероятностей m сессий NB-IoT и n сессий LTE в системе в

момент времени t приводит к следующей вероятности блокировки сессий LTE:

$$p_L = p\left(0, \left\lfloor \frac{C-R_N}{d} \right\rfloor\right) + \sum_{s=1}^{\left\lfloor \frac{C-R_L}{c} \right\rfloor} \sum_{m=\lfloor s-1 \rfloor M+1}^{sM} p\left(m, \left\lfloor \frac{C-\max\{sc, R_N\}}{d} \right\rfloor\right). \quad (2)$$

Выражение для вычисления вероятности блокировок сессий NB-IoT имеет следующий вид:

$$p_N = \sum_{n=0}^{\left\lfloor \frac{R_L}{d} \right\rfloor} p\left(\left\lfloor \frac{C-R_L}{c} \right\rfloor M, n\right) + \sum_{s=\left\lfloor \frac{R_N}{c} \right\rfloor}^{\left\lfloor \frac{C-R_L}{c} \right\rfloor - 1} \sum_{n=\left\lfloor \frac{C-(s+1)c}{d} \right\rfloor + 1}^{\left\lfloor \frac{C-\max\{sc, R_N\}}{d} \right\rfloor} p(sM, n). \quad (3)$$

На основе полученных формул проведен численный анализ.

Численный анализ

Для получения количественной и качественной оценки поведения рассматриваемой системы в данном разделе проводится численный анализ предложенных стратегий распределения ресурсов.

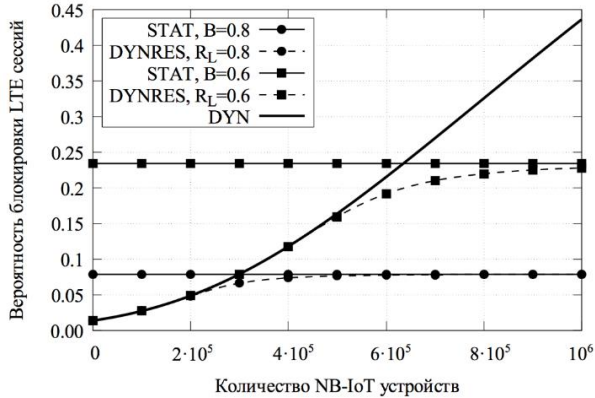


Рис. 1. Вероятность блокировки LTE в зависимости от предложенной нагрузки NB-IoT

На рис. 1. представлена стратегия DYNRES (Динамическая стратегия с резервированием). Эта стратегия включает основные свойства первых двух схем распределения ресурсов, STAT (Статическая стратегия) и DYN (Динамическая стратегия). Стратегия DYNRES ведет себя также, как и стратегия DYN при низких нагрузках и стратегия STAT при высоких нагрузках. Следовательно, стратегия DYNRES может быть рекомендована для повышения надежности системы.

Выводы

Стратегия DYNRES рекомендуется для будущих развертываний IoT в мобильных сетях 5G, в то время как разработанная аналитическая модель в статье может применяться для оценки эффективности будущих решений.

Литература

1. 3GPP, Standardization of NB-IOT completed , <http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1785-nb-iot-complete>, – 2016.
2. *Petrov V., Samouylov A., Begishev V., Moltchanov D., Andreev S., Samouylov K., Koucheryavy Y.* Vehicle-based relay assistance for opportunistic crowdsensing over Narrowband IoT (NB-IoT). *IEEE Internet of Things Journal.* – 2017. – №1(99).
3. *Borodakiy V.Y., Buturlin I.A., Gudkova I.A., Samouylov K.E.* Modelling and analysing a dynamic resource allocation scheme for M2M traffic in LTE networks. In *Proc. of NEW2AN Conference.* – 2013. – С. 420-426.
4. *Andreev S., Galinina O., Pyattaev A., Gerasimenko M., Tirronen T., Torsner J., Sachs J., Dohler M., Koucheryavy Y.* Understanding the IoT connectivity landscape: A contemporary M2M radio technology roadmap. *IEEE Communications Magazine.* – 2015. № 9(53). – С. 32-40.

К ПРОЦЕДУРЕ УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПО РАДИОКАНАЛУ СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА ПРИ УСЛОВИИ ПОВТОРНОЙ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ²⁹

*Медведева Е.Г., Мингажитдинова Э.Ф.
Российский университет дружбы народов,
egmedvedeva@gmail.com, elza.96.ru@mail.ru*

В работе исследуется процедура установления соединения по радиоканалу случайного доступа при условии повторной передачи сообщений между базовой станцией и пользовательским оборудованием. Построена математическая модель в виде дискретной цепи Маркова, описан частный случай порогового значения ретрансляции.

Ключевые слова: LTE, радиоканал случайного доступа (RACH), межмашинные соединения(M2M)

Введение

Задача распределения радиоресурсов и уменьшения нагрузки в сети связи LTE между M2M(Machine-to-Machine) устройствами, обменивающимися малыми данными, является актуальной в наши дни. Международным консорциумом 3GPP в техническом отчете TR 37.868 было предложено использование радиоканала случайного доступа для передачи данных между M2M.

Процедура установления соединения

Процедура установления соединения между пользовательским оборудованием (User Equipment) и базовой станцией(eNB) происходит в виде последовательной передачи четырех сообщений. Она начинается с передачи преамбулы Msg1 от оборудования пользователя к базовой станции сети LTE. Затем ожидается ответ от базовой станции в виде Msg2 (RAR, Random-Access Response). Если время ожидания Msg2 истекло и сообщение не получено, значит произошла коллизия из-за нескольких устройств, пытающихся отправить одну и ту же

²⁹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

преамбулу в один момент времени (рис.1). Если порог попыток передачи преамбулы превышен, то процедура RACH признается неудачной.

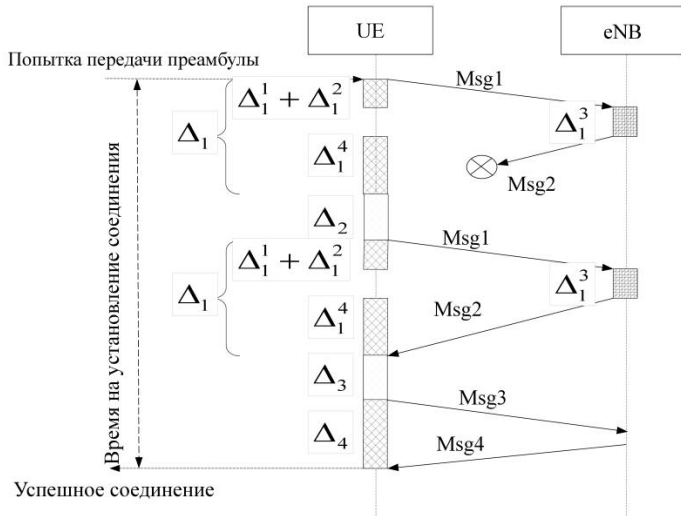


Рис.1.Коллизия преамбулы

В случае успешной передачи преамбулы в виде Msg1 и получения ответа Msg2, оборудование пользователя и базовая станция обмениваются еще одной парой сообщений Msg3 и Msg4. Сообщение Msg3 HARQ (Hybrid Automatic Repeat request) передается по радиоканалу PUSCH (Physical Uplink Shared Channel). В случае коллизии Msg3, оно передается повторно максимум N_3 раз. Последним в процедуре установления соединения является ответное сообщение Msg4. Считается, что ответное сообщение Msg2 всегда гарантированно передается, а на сообщение Msg4 устанавливается порог попыток передачи, после превышения которого необходимо заново передать Msg1 и следующие сообщения. Всего сообщение Msg4 можно повторно передать N_4 раз.

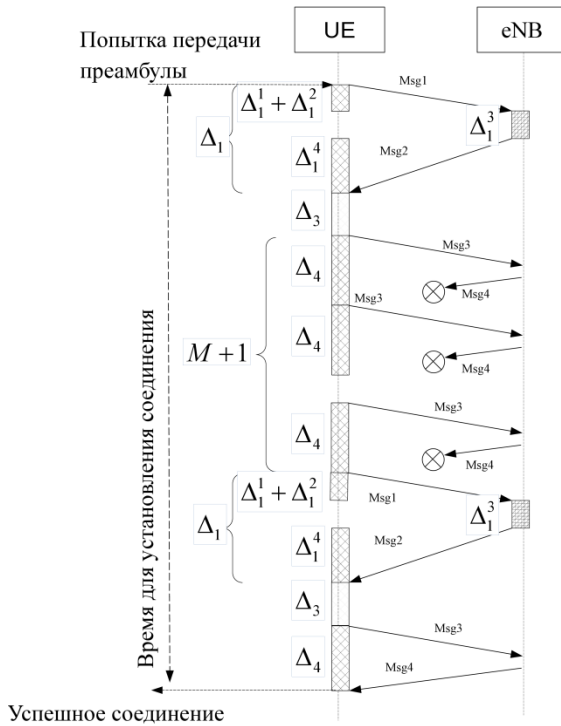


Рис.2. Превышение порога на число попыток при отправке Msg3

Процедуру установления соединения можно представить в виде цепи Маркова с дискретным временем $\{\varepsilon_i, i = 0, \dots, N_1 \cdot N_3 \cdot N_4 + 1\}$, где N_i — число возможных повторных передач $\text{Msg}(i)$, $i = \{1, 3, 4\}$. Построим пространство состояний:

$$\mathfrak{N} = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})\} = \left\{ \begin{pmatrix} x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \\ y_1, y_2, y_3 \\ z_1, z_2 \end{pmatrix} \right\} \quad (1)$$

Здесь $x_1 = \overline{0, N_1}$, $0 \leq x_2 \leq x_1$, $x_3 + x_4 + x_5 = x_2$, $0 \leq x_i \leq x_2$, $i \in \{3, 4\}$, $x_4 \leq y_3 \leq x_4 \cdot N_3$, $0 \leq y_2 \leq 1$, $y_1 = \overline{0, N_3}$, $z_1 = \overline{0, N_4}$, $0 \leq z_2 \leq 1$, $x_5 \in \{0, 1\}$, где

x_1 – общее число переданных Msg1, x_2 – число успешно переданных Msg1, x_3 – число успешно переданных Msg1, после которых соединение не установилось по причине N_3 неуспешных передач Msg3, x_4 – число успешно переданных Msg1, после которых соединение не установилось по причине N_4 неуспешных передач Msg4, x_5 – индикатор, равный «1» при успешной последней передаче Msg1, «0» – при коллизии Msg1, y_1 – общее число переданных Msg3 при последней успешной передаче Msg1, y_2 – число успешно переданных Msg3 при последней успешной передаче Msg1, y_3 – число переданных Msg3 (успешных и неуспешных) после которых N_4 раза произошли коллизии при передаче Msg4, z_1 – общее число переданных Msg4 при последней успешной передаче Msg1 и Msg3, z_2 – число успешных Msg4 при последнем успешном Msg1 и Msg3.

Частный случай установления соединения

Рассмотрим случай, когда число возможных повторных передач $N_1 = N_2 = N_4 = 2$. На рис.3 представлено все пространство состояний. В начальном состоянии все x_i, y_i, z_i равны 0. Далее при передаче преамбулы (Msg1), значение x_1 становится равным 1, при успешной передаче x_2 будет равно 1, x_5 тоже станет равным 1, а неуспешной- останется равным 0 x_1 и x_5 . В случае коллизии мы повторно отправляем преамбулу и x_1 становится равным 2. Теперь в случае коллизии, порог попыток будет превышен и соединения не будет установлено, состояние будет неуспешным. В случае успешной отправки Msg1, передаем Msg3 и y_1 становится равным 1, при успешной передаче y_2 станет равным 1, а в противоположном случае-0. При коллизии мы также повторно отправляем Msg3, но теперь при превышении порога попыток (т.е. если N_3 равно 2), мы можем повторно передать Msg1 (в случае, если порог попыток не превышен). Тогда x_1 становится равным 2, y_1 обнуляется и Msg3 передается заново. В случае успешной передачи Msg3, мы передаем Msg4 и z_1 становится равным 1, при успешной

передаче z_2 будет равно 1, а иначе -0. Если Msg4 успешно передан, то состояние считается успешным и соединение будет установлено. В противном случае, Msg4 передается заново. Всего мы получили 20 успешных состояний и 16 неуспешных.

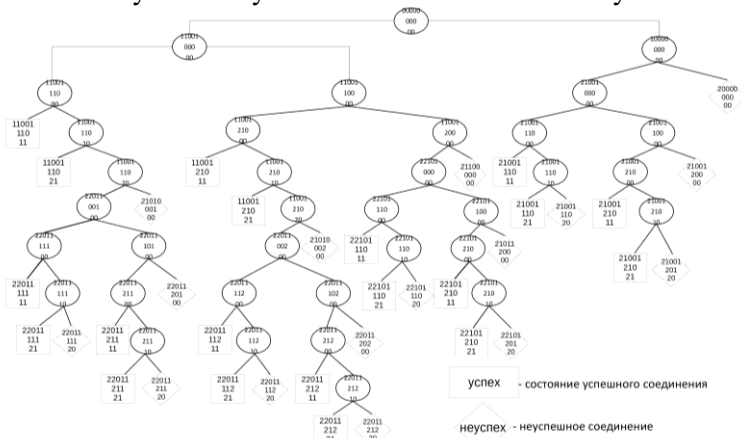


Рис.3. Диаграмма пространства состояний

Вывод

В ходе работы был рассмотрен частный случай задачи установления соединения по радиоканалу случайного доступа. Нами была построена математическая модель - цепь Маркова с дискретным временем для описания пространства всех состояний и получена диаграмма их описывающая.

Литература

- 3GPP TR 37.869 - Study on Enhancements to Machine-Type Communications and other Mobile Data Applications; RAN Aspects. Release 12. Sept. 2013 (2013)
- Зарипова Э.Р., Ардила П.А. Метод оценки времени установления соединения по радиоканалу случайного доступа // Вестник РУДН. Математика. Информатика. Физика. Т. 25, №1 (2017), С. 9-18.

3. *Бегишев В.О., Бутурлин И.А., Исаев Ю.Д.*, Построение модели радиоканала случайного доступа с предварительной синхронизацией D2D устройств //РУДН. Конференция-Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологических систем. Москва, 18-22 апреля 2016 г.С.82-84.

К АНАЛИЗУ ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОГО МЕЖМАШИННОГО СОЕДИНЕНИЯ ПО РАДИОКАНАЛУ СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА³⁰

Медведева Е.Г., Семенова О.В., Власкина А.С., Зарипова Э.Р.

*Российский университет дружбы народов,
medvedeva_eg@rudn.university, okvsemenova@mail.ru,
vlaskina.anastasia@yandex.ru, zaripova_er@rudn.university*

В данной работе описана формула для нахождения вероятности успешного межмашинного соединения по радиоканалу случайного доступа RACH.

Ключевые слова: радиоканал случайного доступа, Цепь Маркова, вероятность установления соединения, пространство состояний, коллизия, преамбула.

Введение

Хорошо известно, что в устройствах машинного типа доступ к каналу радиодоступа (Radio Access Channel, RACH) осуществляется с использованием четырех сигнальных сообщений [1], которые могут быть переданы успешно или неуспешно. Мы продолжаем исследование [2] с использованием математической модели в виде дискретной Цепи Маркова для моделирования процедуры, которая включает в себя пространство с конечным числом состояний \mathcal{X} .

Вероятность установления соединения

Вероятность $P_{(x,y,z)}$ попадания в состояние $(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5; y_1, y_2, y_3; z_1, z_2) \in \mathcal{X}$, из состояния $(\mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0})$ определяется формулой:

³⁰ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №15-07-03051 и 16-07-00766.

$$P_{(x,y,z)} = C_{x_1-1}^{x_3+x_4} C_{x_3+x_4}^{x_3} p_1^{x_1-x_2} (1-p_1)^{x_2} p_3^{N_3x_3-x_4+y_1-y_2+y_3} (1-p_3)^{x_4+y_2} \times \\ \times p_4^{N_4x_4+z_1-z_2} (1-p_4)^{z_2} \quad (1)$$

где x_1 – общее количество переданных Msg1, x_2 – число успешно переданных Msg1, x_3 – число успешно переданных Msg1, за которыми следует блокировка Msg3, переданных N_3 раза, x_4 является количеством успешно переданных Msg1, за которыми следует блокировка Msg4, переданных N_4 раз, x_5 является индикатором, обозначающим текущее состояние последнего переданного Msg1, которое равно 1 в случае успешной передачи, 0 – в случае блокировки; y_1 – общее число переданных Msg3 после последней успешной передачи Msg1, y_2 – число успешно переданных Msg3 после последней успешной передачи Msg1, y_3 – число переданных Msg3 (как успешно, так и неуспешно), за которыми следовала N_4 раз блокировка Msg4; z_1 – общее число переданных Msg4 после последней успешной передачи Msg3; z_2 является индикатором, обозначающим текущее состояние последнего переданного Msg4, и равен 1 в случае успешной передачи, 0 – в случае блокировки.

Учитывая, что существует несколько способов достижения успешного состояния, включая повторные передачи всех типов сообщений, получена формула для вычисления вероятности успешного соединения в радиоканале случайного доступа:

$$P_{\text{усп}} = \frac{(1-p_4^{N_4})(1-p_3^{N_3})}{1-p_3} \left[\frac{1-(p_1+(1-p_1)\gamma)^{N_1}}{(1-\gamma)} - p_3 \frac{1-(p_1+(1-p_1)\varepsilon)^{N_1}}{(1-\varepsilon)} \right], \quad (2)$$

$$\text{где } \varepsilon = p_3^{N_3} \left(1 + \frac{p_4^{N_4} (1-p_3)}{p_3} \right), \quad \gamma = p_3^{N_3} + p_4^{N_4} (1-p_3), \quad \text{а } p_i -$$

вероятности блокировок, $i = \{1, 3, 4\}$.

Выводы

При применении описанной выше процедуры ключевым моментом является количество возможных ретрансляций сообщений. При этом, увеличение количества возможных передач сообщений влечет за собой увеличение вероятности успешного установления соединения.

Литература

1. *Chia-Hung Wei, Giuseppe Bianchi, and Ray-Guang Cheng* Modeling and Analysis of Random Access Channels With Bursty Arrivals in OFDMA Wireless Networks // IEEE Transactions on Wireless Communications – 2015. – Pp. 1940–1953.
2. *K. Samouylov, Yu. Gaidamaka, I. Gudkova, E. Zaripova, S. Shorgin* Baseline Analytical Model for Machine-type Communications over 3GPP RACH in LTE-advanced Networks // ISCIS 2016 – CCIS 659 – Pp. 203–213 – 2016 – DOI: 10.1007/978-3-319-47217-1_22

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ SDN/NFV В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ 5G

Мухизи С., Киричѐк Р.В

*Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича,
Samno1@yandex.ru*

Появление программно-конфигурируемых сетей позволяет упрощать управление сетями, предлагая возможность определять их политики передачи данных путем управления программами, что освобождает администраторы сети от нагрузки конфигурации устройства сети отдельностью для установления правила передачи данных. Управление программами осуществляется на контроллер. С другой стороны, с появлением сети пятого поколения 5G возникают новые ожидания мобильного сетевого обслуживания и новые подходы в их реализации, что требует новые подходящие решения в управлении сетью. В статье рассматривается сравнительный анализ возможные решения и возможные задачи внедрения сетей 5G на основе применения функциональности сетей SDN/NFV.

Ключевые слова: Программно-конфигурируемые сети(SDN), виртуализация сетевых функций(NFV), сети 5G, мобильные сети, радиодоступа (RAN)

Введение

Появление новых технологии и приложений, таких как онлайн-игры, мобильное телевидение, трансляция мультимедийного контента, виртуальная реальность, беспилотные аппараты, Интернет Вещей и т.д. способствует росту спроса на мобильные широкополосные системы выделяют огромное количество передаваемых данных и, что еще более

принципиально, большое количества одновременных соединений с большей эффективности и меньшего потребления энергии. Цифровые и мобильные преобразования, которые в настоящее время охватывают промышленности во всем мире, приводят к появлению инновационных приложений, требующих много сетевых ресурсов. Программируемость и операционная масштабируемость являются ключевыми функциями, позволяющие осуществление быстрых инноваций, быстрого развертывания услуг на рынок и быстрой адаптации к изменяющимся требованиям, предъявляемым современной промышленностью. Кроме того, поскольку сквозные службы все чаще и чаще развертываются в распределенной облачной среде, эта программируемость должна быть организована в соответствии со всеми соответствующими областями, включая сеть радиодоступа (RAN) и различные сетевые области в организованном порядке. В 2020 году планируется завершить разработку спецификаций IMT-2020 (5G), который будет обеспечивать технологии соединенного подвижной широкополосной связью; 5G также расширит сферу применения этой технологии, включив в нее сценарии использования сверхнадежной передачи данных с малой задержкой и интенсивный межмашинный обмен, по рекомендации МСЭ-R M.2083-0. [1]

Несмотря на то, что к 2020-м годам будут доминировать несколько типов мобильных сетей, однако, существует много задач связанных с уменьшением расходов энергий устройствами и базовыми станциями, оптимизацией распределения ресурсов, обеспечением более высоких скоростей передачи данных, обеспечением более низкой задержки, оптимизацией политики управления мобильностью, масштабируемостью и гибкости сетей.

На пути к развертыванию мобильного сети пятого поколения 5G, в качестве перспективной технологии, было предложено технология программно-конфигурируемых сетей SDN, которая

станет ключевым компонентом в разработке беспроводных сетей 5G.

Ожидается обеспечение меньше затраты на проводные связи чтобы достигнуть больше удобства переключения и эффективности. Основными элементами сетевой архитектуры для поддержки новых требований новых мощных беспроводных связей в будущем являются принципы управления и работы виртуальных сетей, которые могут быть реализованы посредством виртуализации сетевых функций (NFV) и программно-конфигурируемых (SDN) [2].

Мобильные беспроводные сети 5G

Мобильные беспроводные сети 5G будет сталкиваться с большим количеством новых приложений. Управление и эксплуатация сети должны основываться на приложениях подключенные к сети. Сети, основанные на приложениях, состоят из взаимосвязанных устройств, различных модулей, машин, датчиков и исполнительных механизмов, и множество клиентов, подключённых к Интернету выделяя большой трафик данных. Проектирования технологии беспроводной связи 5G должны отвечать на потребность разработать новые модели сети, способны быть открытыми, более гибкими и масштабируемыми [3].

Сети 5G будут обеспечить конвергентную сетевую связь в сетях с различными технологиями и обеспечить открытую систему связи для взаимосвязи со спутниковыми системами, сотовыми сетями, облачными системами, информационными центрами, домашними шлюзами и многими другими открытыми сетями и устройствами. Кроме того, системы 5G будут автономными и программируемыми. Соответственно, безопасность, отказоустойчивость, надежность и целостность данных станут первоочередной задачей при проектировании будущих сетей [4]. Кроме того, сети 5G должны обеспечить мобильность пользователей для осуществления возможности подключения в любой время (Рис.1).

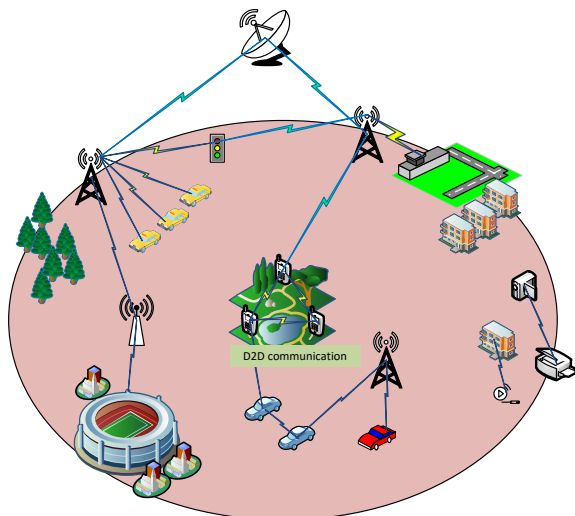


Рис.1. Концептуальная сценария мобильной сети 5G

Необходимость программируемости в мобильных сетях 5G

Для достижения требуемой гибкости сначала необходимо, чтобы существующие ресурсы в инфраструктуре могли быть адаптированы и изменены динамически. Кроме того, нам нужны методы и механизмы для разработки приложений и сервисов поверх гибкой инфраструктуры в разных технологических областях. Для достижения этих требований необходимо архитектура управления с высоким уровнем программируемости. В частности, архитектура управления не должна быть привязана к конкретному варианту использования или сценарию и должна позволить сетевому оператору программировать настраиваемые алгоритмы на уровне управления для оптимизации сеть радиодоступа RAN, транспорта и ресурсов облака.[5]. В дополнении, необходимы следующие функции:

Модульность: архитектура управления должна следовать модульной архитектуре с четко определенными функциями управления и интерфейсами. Интерфейсы и архитектурные

строительные блоки также должны поддерживать стекирование рекурсивным образом, чтобы позволить внедрение системы, адаптированной к конкретным сценариям.

Виртуализация. Архитектура должна иметь возможность разделить физические и виртуальные ресурсы инфраструктуры на отдельные группы (или фрагменты или сечения) и распределить их разным клиентам. Здесь клиенты могут быть контроллерами более высокого уровня или функциями обслуживания и приложениями. Выделенные фрагмента сети должны быть изолированы друг от друга по причине безопасности и производительности (например, для предотвращения негативного воздействия перегруженного фрагмента сети на другие фрагменты).

Масштабируемость. Управление ресурсами в каждом из доменов является сложной задачей, так как обычно имеется дело с большим количеством сетевых элементов, а также с параметрами и процедурами управления. Таким образом, совместный контроль над доменами может легко стать неразрешимым, чего следует избегать при правильном проектировании архитектуры управления. Также необходимо подходящие методы абстракции, чтобы ограничить сложность в более высоких слоях и сделать общую проблему оптимизации управляемой. Для удовлетворения этих требований в разработке общей архитектуры управления, применяются принципы организации сетью основаны на технологии SDN/NFV.

Виртуализация в мобильных сетях 5G

Организация сетей с программируемыми параметрами (SDN) [6] и виртуализация сетевых функций (NFV) представляют собой будущее электросвязи, в котором виртуализированные инфраструктура и услуги обеспечивают беспрецедентную гибкость, интеллектуализацию и открытость [7].

В течение последних пяти лет SDN и NFV совершенствовались благодаря уникальному взаимодействию организаций по стандартизации с сообществами разработчиков

программного обеспечения с открытым исходным кодом, которые вместе меняют методы принятия новой технологии.

Инновационные отраслевые группы, такие как Рабочая группа ISG ETSI по NFV и организация Open Networking Foundation, создали эталонные архитектуры, обосновали сценарии использования и изменили требования к составным элементам с открытым исходным кодом, которые являются неотъемлемой частью NFV и SDN.

SDN и NFV стали важнейшими технологиями для сетей 5G, способствовавшими разработке широкого круга определяемых данными приложений, которые были написаны почти исключительно на OpenDaylight, в том числе приложения для подвижной широкополосной связи, Интернета Вещей (IoT), связи между подвижными терминалами (M2M) и т. д [8].

Чтобы обеспечить возможности для такого широкого круга приложений для конечных пользователей, модель управления и контроля SDN/NFV должна стать намного более масштабируемой, интеллектуальной, гибкой и открытой, чем когда-либо раньше. Рис.2.

Вследствие этого многие наиболее прогрессивные и инициативные операторы и поставщики решений в отрасли электросвязи взяли на себя задачу изменения жизненного цикла предоставления услуг. Для этого необходимо беспрецедентное взаимодействие органов по стандартизации управления сетями, отраслевых организаций SDN/NFV и сообщества разработчиков программного обеспечения с открытым исходным кодом.

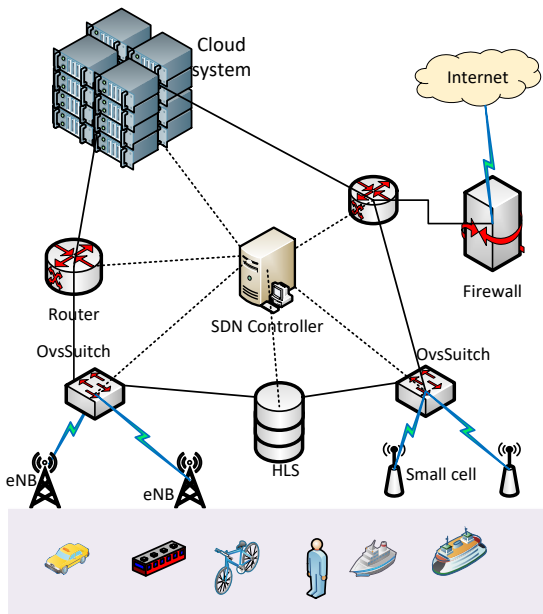


Рис.2. Общая архитектура SDN мобильных сетей

Выводы

По мере того как технологии 5G быстро приближаются к тому, чтобы стать реальностью, настоятельно необходимо, чтобы организации по стандартизации, отраслевые группы и сообщество разработчиков программного обеспечения с открытым исходным кодом придерживались в высшей степени согласованного подхода к разработке прагматичного жизненного цикла внедрения технологий для SDN/NFV. В ходе совместной работы может быть определена первоочередность сценариев использования в качестве ориентира для опытно-конструкторских работ, могут быть обоснованы требования и варианты реализации и могут быть тщательно рассмотрены многие возникающие при этом компромиссы.

Работая в рамках нейтрального и открытого форума, инклюзивное и открытое сообщество станет катализатором развития открытой экосистемы, приносящей пользу многим.

Благодаря SDN/NFV будущее электросвязи в настоящее время обретает новую форму, при этом сети 5G входят в число первых проектов, в рамках которых реализуется концепция поистине конвергированной инфраструктуры подвижной связи следующего поколения.

Литература

1. Рекомендация МСЭ-R М.2083-0 (09/2015) “Концепция ИМТ – Основы и общие задачи будущего развития ИМТ на период до 2020 года и далее”.
2. *Artem Volkov, Ammar Muthanna, Rustam Pirmagomedov, Ruslan Kirichek.* SDN Approach to Control Internet of Thing Medical Applications Traffic. (2017) Distributed Computer and Communication Networks. – Pp.467-476.
3. *Abdelhamied Ashraf Ateya, Ammar MuthannaIrina, Gudkova Irina, Vybornova Anastasia, Andrey Koucheryavy.* Intelligent core network for Tactile Internet system. DOI: 10.1145/3102304.3102326 the International Conference 2017.
4. *Abdelhamied Ashraf Ateya, Ammar Muthanna, Anastasia Vybornova, Andrey Koucheryavy.* Multi-level Cluster Based Device-to-Device (D2D) Communication Protocol for the Base Station Failure Situation In book: Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, 2017. – Pp.755-765.
5. *Muthanna, A., Masek, P., Hosek, J., Fujdiak, R., Hussein, O., Paramonov, A. and Koucheryavy, A.,* 2016, September. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless Systems. In International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking Springer International Publishing. –Pp. 395-403.
6. *Muhizi S., Shamshin G., Muthanna A., Kirichek R., Vladyko A., and Koucheryavy A.* Analysis and performance evaluation of SDN queue model. WWIC 2017.International Conference on Wired/Wireless Internet Communication. – Pp. 26-37

7. *Vladyko, A., Muthanna, A., Kirichek, R.* Comprehensive SDN Testing Based on Model Network. In: Galinina, O., Balandin, S., Koucheryavy, Y. (eds.) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation. LNCS, Springer International Publishing, 2016. – Vol. 9870. –Pp. 539-549.
8. *Volkov A., Khakimov A., Muthanna A., Kirichek R., Vladyko A., and Koucheryavy A.* Interaction of the IoT traffic generated by a Smart city segment with SDN core network. WWIC 2017 International Conference on Wired/Wireless Internet Communication. – Pp.115-126.

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ДВУХФАЗНОЙ СМО С КОНЕЧНОЙ ОЧЕРЕДЬЮ И ОРБИТОЙ В УСЛОВИИ БОЛЬШОЙ ЗАДЕРЖКИ ЗАЯВОК НА ОРБИТЕ

Назаров А.А., Анисимова А.А.

Национальный исследовательский Томский государственный
университет,
siberienne94@yandex.ru

Рассматривается система массового обслуживания, которая содержит конечную очередь на первой фазе и орбиту на второй. Методом асимптотического анализа исследуется распределение числа заявок на орбите.

Ключевые слова: система массового обслуживания, очередь, орбита.

Введение

С середины XX века всю большую роль стали играть телекоммуникационные системы: компьютерные и телефонные сети, телевидение, мобильная связь и другие. Для моделей таких систем характерна ситуация, при которых заявка, застающая прибор занятым, уходит на так называемую орбиту, откуда через случайные моменты времени делает попытки вновь обратиться за обслуживанием. Такие модели описываются в виде систем массового обслуживания (СМО) [3] с повторными вызовами или RQ-систем (Retrial queueing system) [1].

В данной работе исследуется двухфазная СМО, вторая фаза которой представляет собой RQ-систему. Впервые двухфазные RQ-системы рассмотрели С.М.Кришна и У.Н.Ли [2].

Описание модели

Рассмотрим СМО, на вход которой поступает простейший поток с параметром λ . Каждая заявка последовательно проходит 2 фазы. Продолжительность обслуживания на обеих фазах имеет экспоненциальное распределение с параметрами μ_1

и μ_2 соответственно. Первая фаза содержит один обслуживающий прибор и конечную очередь длины $N-1$. Вторая фаза содержит один прибор и орбиту, куда поступают заявки, застающие прибор занятым. Находясь на орбите, заявки через случайные промежутки времени, имеющие экспоненциальное распределение с параметром σ , делают попытки вновь обратиться за обслуживанием.

Будем рассматривать двумерный случайный процесс $\{i_1(t), i_2(t)\}$, где $i_j(t), j=1,2$ – число заявок на j -ой фазе в момент времени t . Этот процесс не является марковским, поэтому введем дополнительную переменную:

$$k(t) = \begin{cases} 0, & \text{прибор на } 2^{\text{я}} \text{ фазе свободен,} \\ 1, & \text{прибор на } 2^{\text{я}} \text{ фазе занят.} \end{cases} \quad (1)$$

Пусть $P_k(i_1, i_2, t) = P\{i_1(t) = i_1, i_2(t) = i_2, k(t) = k\}$ – вероятность того, что в системе в момент времени t содержится i_1 и i_2 заявок на первой и второй фазах соответственно, при этом прибор на второй фазе находится в состоянии $k = \overline{0,1}$. Будем рассматривать систему в стационарном режиме, при котором $\lim_{t \rightarrow \infty} P_k(i_1, i_2, t) = P_k(i_1, i_2)$.

Введем частичные характеристические функции:

$$H_k(i_1, u) = \sum_{i_2=0}^{\infty} \exp\{j u i_2\} P_k(i_1, i_2). \quad (2)$$

Перейдем к векторно-матричному представлению. Введем вектор:

$$H_k(u) = [H_k(0, u) \quad H_k(1, u) \quad \dots \quad H_k(N, u)]. \quad (3)$$

Асимптотика первого порядка

Теорема: Пусть $i_2(t)$ – число заявок на второй фазе в момент времени t . Тогда выполняется равенство:

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} M \exp\{j w \sigma i_2(t)\} = \exp\{j w a\}, \quad (4)$$

где параметр a находится из последовательного решения уравнений:

$$R_1(a) = -R(\lambda D^T - A - aI) \left(I - \frac{1}{\mu_2} (\lambda D^T - A - aI) \right)^{-1}. \quad (5)$$

$$\mu_1 R D E - \mu_2 R_1(a) I E = 0. \quad (6)$$

В уравнениях (5-6) используются следующие обозначения:

$$A = \begin{pmatrix} \lambda & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda + \mu_1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda + \mu_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \mu_1 \end{pmatrix}_{(N+1) \times (N+1)}, \quad D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}_{(N+1) \times (N+1)} \quad (7)$$

$$R = \left[\frac{\rho^i (1 - \rho)}{1 - \rho^N} \right]_{(N+1)}, \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu_1}, \quad (8)$$

E и I – единичные вектор-столбец и матрица.

При доказательстве теоремы использовались замены:

$$\sigma = \varepsilon, \quad u = \varepsilon w. \quad (9)$$

Поэтому окончательно характеристическая функция имеет вид:

$$H(u) \approx \exp \left\{ j u \frac{a}{\sigma} \right\}, \quad (10)$$

где $\frac{a}{\sigma}$ – математическое ожидание числа заявок на орбите.

Выводы

В данной работе методом асимптотического анализа получено математическое ожидание распределения числа заявок на орбите в условии большой задержки заявок на орбите.

Литература

1. *Artalejo J. R., Gomez-Corral A.* Retrial Queueing Systems: A Computational Approach. // Berlin: Springer, 2008. – 267 p.
2. *Krishna C.M. and Lee Y.H.* A study of two-phase service // Operations Research Letters. – 1990. – Vol. 9. – P. 91–97.
3. *Гнеденко Б. В.* Введение в теорию массового обслуживания. – 2-е изд., перераб. и доп. // Б. В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 336 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ $M^{(2)}|GI|_{\infty}$ С КАТАСТРОФАМИ МЕТОДОМ ПРОСЕЯННОГО ПОТОКА

Назаров А.А., Зайцев А.В. Бронер В.И.

Национальный исследовательский Томский государственный
университет,
zaytsevantosio@yandex.ru

В данной работе рассматривается система массового обслуживания с неограниченным числом приборов и катастрофами. Для числа занятых приборов системы найдено стационарное распределение вероятностей методом просеянного потока.

Ключевые слова: система массового обслуживания с катастрофами, метод просеянного потока, неограниченное число приборов.

Введение

Исследование математических моделей страховых компаний актуально в наше время. В силу многообразия рисков существуют различные модели страховых компаний. Классическая модель страховой компании рассматривается в работе [1]. В работе [2] рассматривается модель компании, в которой предполагается возможность перестрахования клиентов. В данной работе будет построена и исследована математическая модель страховой компании с групповым наступлением страхового случая в виде системы массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов.

В исследовании моделей страховых компаний активно развивается применение теории массового обслуживания. Моделирование большинства реальных ситуаций в виде систем массового обслуживания позволяет исследовать модели компаний с разных аспектов. Математические модели страховых компаний в виде систем массового обслуживания представлены в работах [2-4].

Постановка задачи

Рассмотрим (рис. 1) систему массового обслуживания с неограниченным числом приборов и катастрофами. На вход системы поступает простейший поток положительных заявок. Время обслуживания заявки на приборе является случайной величиной с функцией распределения $B(x)$. Поток отрицательных заявок является простейшим с параметром γ . В момент наступления события потока отрицательных заявок, все заявки, занимающие приборы, прекращают обслуживание и покидают систему. Такое групповое прекращение обслуживания будем называть катастрофой.

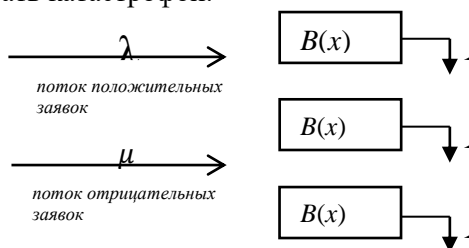


Рис. 1. Система управления запасами массового обслуживания $M, GI|GI|\infty$ с отрицательными заявками

Обозначим $i(t)$ случайный процесс, определяющий число занятых приборов в рассматриваемой системе массового обслуживания, а P_i стационарное распределение вероятностей значений процесса $i(t)$. Ставится задача нахождения стационарного распределения P_i .

Используя метод просеянного потока, в работе найдена характеристическая функция числа занятых приборов в системе

$$H(u) = \gamma \int_0^{\infty} \exp \left\{ \lambda (e^{ju} - 1) \int_0^x (1 - B(z)) dz - \gamma x \right\} dx.$$

Указанная характеристическая функция позволяет определить все характеристики стационарного распределения процесса $i(t)$.

Применяя к характеристической функции обратное преобразование Лапласа, получим стационарное распределение P_i

$$P_i = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-juj} H(u) dx.$$

Выводы

Исследована система массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов и катастрофами, которая является математической моделью страхования от катастроф. Получено аналитическое выражение для характеристической функции числа занятых приборов (числа активных договоров страховой компании) в исследованной системе при произвольном распределении времени обслуживания.

Литература

1. *Бойков А.В.* Модель Крамера-Лундберга со стохастическими премиями // Теория вероятностей и её применение. – Т. 47, Вып.3. С. 549-553.
2. *Булinskая Е.В.* Теория риска и перестрахование. Ч.1. Упорядочивание рисков. – М.: ЦПИ, 2001.
3. *Вохта О., Essifi R., Janssen A.* A queueing/inventory and an insurance risk model // Advances in Applied Probability. 48(4). P. 1139-1160.
4. *Boucher J., Couture-Piche G.* Modeling the number of insured households in an insurance portfolio using queuing theory // astin bulletin. 46(2). P. 401-430.

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ RQ-СИСТЕМЫ M/ E2/ 1 С ВЫТЭСНЕНИЕМ ЗАЯВОК И ПОВТОРЕНИЕМ ФАЗЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ³¹

Назаров А.А., Измайлова Я.Е.

Национальный исследовательский Томский государственный
университет,

evgenevna.92@mail.ru, nazarov.tsu@gmail.com

В работе исследована RQ-система с вытеснением заявок, простейшим входящим потоком, гиперэкспоненциальным распределением времени обслуживания и повторением фазы обслуживания. Исследование системы проводится методом асимптотического анализа в предельном условии большой задержки заявок на орбите. Применяя предлагаемый метод для данной RQ-системы, получены среднее значение числа заявок в первом и втором источниках повторных вызовов и распределение вероятностей состояний прибора.

Ключевые слова: RQ-система, орбита, асимптотический анализ.

Введение

В международной литературе показано, что адекватными математическими моделями телекоммуникационных сетей связи являются RQ-системы. Примерами RQ-систем являются цифровые сети связи, управляемые протоколами множественного доступа, сети сотовой связи, call-центры и др. Исследованием RQ-систем в настоящее время занято большое количество зарубежных ученых и ряд российских. Наибольший вклад в развитие теории внесли Г.И.Фалин, Дж.Арталехо, А.Гомез-Коррал [1], А.Н. Дудин [2,3], Г. П. Башарин, К. Е. Самуйлов. Современная литература по RQ-системам очень обширна и богата, последние обзоры можно найти в работах Дж.Арталехо и А.Гомез-Коррала.

³¹ Публикация подготовлена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00292 мол_а.

Математическая модель

Рассмотрим RQ-систему с вытеснением заявок. На вход системы поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ . Требование, заставшее прибор свободным, занимает его для обслуживания в течение времени, имеющее гиперэкспоненциальное распределение с параметрами q, μ_1, μ_2 . С вероятностью q заявка обслуживается экспоненциальное время с параметром μ_1 (1 фаза), с вероятностью $1-q$ заявка обслуживается экспоненциальное время с параметром μ_2 (2 фаза). Если прибор занят, то поступившая заявка вытесняет обслуживаемую и сама встает на прибор, а заявка, которая обслуживалась, переходит на соответствующую орбиту. Если заявка обслуживалась на первой фазе гиперэкспоненциального распределения, то уходит на первую орбиту, если на второй фазе, то на вторую. На орбитах заявки осуществляют случайную задержку, продолжительность которой имеет экспоненциальное распределение с параметрами σ_1 и σ_2 , соответственно. Из орбиты, после случайной задержки, заявка вновь обращается к прибору с повторной попыткой его захвата. Дисциплина обращений заявок с орбиты аналогична дисциплине обращения заявок, которые впервые прибыли в систему (Рисунок 1).

Обозначим $i_1(t)$ – число заявок на первой орбите, $i_2(t)$ – число заявок на второй орбите, $k(t)$ – определяет состояние прибора следующим образом:

$$k(t) = \begin{cases} 0, & \text{если прибор свободен,} \\ 1, & \text{если прибор находится на первой фазе обслуживания,} \\ 2, & \text{если прибор находится на второй фазе обслуживания.} \end{cases}$$

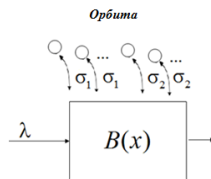


Рис. 1. RQ-система M/E2/1 с вытеснением заявок

Ставится задача нахождения двумерного стационарного распределения вероятностей числа $i = i_1 + i_2$ заявок в системе и распределения вероятностей состояний прибора.

Обозначим

$$P\{k(t) = n, i_1(t) = i_1, i_2(t) = i_2\} = P_n(i_1, i_2), \quad n = 0, 1, 2,$$

вероятность того, что прибор в момент времени t находится в состоянии n , на первой орбите находится i_1 заявок, на второй орбите находится i_2 заявок.

Для этого распределения вероятностей запишем систему уравнений Колмогорова:

$$\begin{aligned} P_0(i_1, i_2) &= P_0(i_1, i_2)(1 - \lambda\Delta t)(1 - i_1\sigma_1\Delta t)(1 - i_2\sigma_2\Delta t) + P_1(i_1 + 1, i_2)\mu_1\Delta t + P_2(i_1, i_2 + 1)\mu_2\Delta t + o(\Delta t), \\ P_1(i_1, i_2) &= P_1(i_1, i_2)(1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu_1\Delta t)(1 - i_2\sigma_2\Delta t) + \\ &+ P_0(i_1 - 1, i_2)\lambda\Delta tq + P_0(i_1, i_2)i_1\sigma_1\Delta t + P_2(i_1, i_2)i_1\sigma_1\Delta t + o(\Delta t), \\ P_2(i_1, i_2) &= P_2(i_1, i_2)(1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu_2\Delta t)(1 - i_1\sigma_1\Delta t) + \\ &+ P_0(i_1, i_2 - 1)\lambda\Delta t(1 - q) + P_0(i_1, i_2)i_2\sigma_2\Delta t + P_1(i_1, i_2)i_2\sigma_2\Delta t + o(\Delta t), \end{aligned}$$

Исследование проводится методом асимптотического анализа в условии большой задержки ($\sigma \rightarrow 0$), полагая, что $\sigma_1 = \sigma\gamma_1$, $\sigma_2 = \sigma\gamma_2$.

Выводы

В данной работе была исследована RQ-система $M|E2|1$ с вытеснением заявок, простейшим входящим потоком, гиперэкспоненциальным распределением времени обслуживания и повторением фазы обслуживания методом асимптотического анализа в предельном условии большой задержки. Для нее получены уравнения для нахождения среднего числа заявок на орбитах и стационарного распределения состояний прибора. Предложенная новая математическая модель RQ-системы расширяет класс RQ-систем с вытеснением заявок [6], что позволит решить ряд практических задач в области телекоммуникаций и транспортных системах.

Литература

1. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial Queueing Systems: A Computational Approach. – Springer. – 2008.
2. *Dudin, A.N.* Analysis of the BMAP/G/1 retrial system with search of customers from the orbit / A.N. Dudin, A. Krishnamoorthy, V.C. Joshua, G.V. Tsarenkov // *European Journal of Operational Research.* – 2004. – Vol. 157, Issue 1. – P. 169-179.
3. *Dudin, A.N.* Priority retrial queueing model operating in random environment with varying number and reservation of servers / A.N. Dudin, C. Kim, S. Dudin, O. Dudina // *Applied Mathematics and Computation.* – 2015. – Vol. 269. – P. 674-690.
4. *Atencia, I. M.* A Geo/G/1 retrial queueing system with priority services / I. M. Atencia // *European Journal of Operational Research.* – Vol. 256, Issue 1. – 2017. – 1 January. – P. 178-186.
5. *Боровков А. А.* Асимптотические методы в теории массового обслуживания / А. А. Боровков. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 384 с.
6. *Izmailova Ya.* Asymptotic Analysis Retrial Queueing System M/GI/1 with Hyper Exponential Distribution the Delay Time in the Orbit and Exclusion of Alternative Customers / A. Nazarov, Ya. Izmailova // *Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications: Proceeding of the 15th International Scientific Conference, ITMM 2016.* Katun, September 12-16, 2016. – Springer International Publishing Switzerland, 2016. – Vol. 638: Communications in Computer and Information Science. P. 292– 302. – DOI: 10.1007/978-3-319-44615-8

ПРИМЕНЕНИЕ БИНАРНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КРЕДИТНОГО РИСКА³²

*Нибасумба Эммануэль, Матюшенко С.И.
Российский Университет Дружбы Народов,
ema.patiri2015@yandex.ru, matushenko@list.ru*

Для оценки платежеспособности клиентов кредитных организаций применен метод бинарной логистической регрессии. Основой для оценки послужила обучающая выборка, включающая следующие данные о клиентах: возраст заемщика; среднемесячный доход семьи заемщика, наличие недвижимости в собственности заемщика. Приведены примеры, иллюстрирующие работу метода. В частности, отмечен рост кредитного риска при отсутствии недвижимости в собственности клиента.

Ключевые слова: оценка кредитного риска, бинарная логистическая регрессия.

Введение

Под кредитным риском обычно понимается риск невозврата или просрочки платежа по банковской ссуде. Данная проблема приводит кредитные организации к серьезным убыткам. В этой связи существенное значение приобретает задача оценки кредитоспособности заемщика. Для решения данной задачи в настоящее время все чаще применяются методы многомерного статистического анализа. В данной работе будем оценивать кредитоспособность заемщика с помощью бинарной логистической регрессии.

Бинарная логистическая регрессия

При построении линейной регрессии обычно предлагается, что результирующий показатель Y является количественной величиной, которая может принимать любые значения на множестве действительных чисел. В нашем случае речь идет о принятии решения о выдаче кредита, поэтому будем считать,

³² Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

что результирующий показатель принимает только два значения: $Y=0$ – в кредите отказано; $Y=1$ – кредит разрешен. Исходя из этого для оценки кредитоспособности клиента будем применять бинарную логистическую регрессию. При этом под оценкой кредитоспособности будем понимать вероятность $p(x)$ того, что клиенту, характеризуемому вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, будет отказано в выдаче кредита. В качестве координат вектора x могут рассматриваться такие показатели, как возраст клиента, состав семьи, количество иждивенцев, наличие постоянного дохода за определенный предшествующий период времени, средний месячный размер дохода, наличие в собственности недвижимости, кредитная история и т.д.

Если бы мы строили классическую модель линейной регрессии, то она выглядела бы так:

$$p(x) = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_k * x_k, \quad (1)$$

Однако в нашем случае $p(x)$ это вероятность, следовательно, $p(x) \in [0,1]$, но согласно (1):

$$\beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_k * x_k \in [0,1].$$

Кроме этого, когда $p(x)$ стремится к нулю, должны выполняться условия:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} p(x) \rightarrow 0, \quad j=1, \dots, k$$

а у нас $\frac{\partial}{\partial x_j} p(x) = \beta_j$ и к нулю не стремятся. Чтобы решить эти проблемы воспользуемся рекомендациями [1] и [2] в соответствии с которыми рассмотрим функцию:

$$\text{logit}(p(x)) = \ln(r(x)),$$

где $r(x) = p(x)/(1-p(x))$ – отношение шансов.

Теперь наши проблемы устранены и задача сводится к построению линейной регрессионной модели для функции $\text{logit}(p(x))$.

Численный пример

Предположим, что у нас имеется информация о ста клиентах кредитной организации. Причём клиенты имеют следующие характеристики: X_1 – возраст заемщика (лет); X_2 – среднемесячный доход семьи заемщика (тыс. руб.); X_3 –

имеется ли недвижимость в собственности заемщика :1 – да, 0 – нет; Y– решение о выдаче кредита: 1 – кредит выдан, 0 – в кредите отказано (табл.1).

Таблица 1. Исходные данные

X	X	X	Y	X	X	X	Y	X	X	X	Y	X	X	X	Y
1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
3	4.	0	1	4	5.	0	1	2	2.	0	1	3	3.	0	1
8	52			3	14			6	35			3	25		
3	2.	0	1	3	4.	0	1	2	7	0	1	3	2.	0	1
3	42			0	51			8				7	72		
3	4.	0	1	2	3.	0	0	5	3.	0	0	2	2.	0	1
4	5			2	84			0	6			7	2		
3	2.	0	1	2	1.	0	1	2	2	0	1	2	4.	1	0
1	54			2	5			4				4	1		
3	9.	0	1	3	2.	0	0	2	1.	0	1	2	3.	0	1
2	79			4	5			1	7			4	75		
2	2.	0	1	4	5.	0	1	2	2.	0	1	2	2.	0	1
3	5			0	5			4	8			5	88		
2	3.	0	1	2	2.	0	1	2	2.	0	1	3	3.	0	1
8	96			2	03			6	4			6	05		
2	2.	0	1	2	3.	1	1	3	3	0	1	3	2.	0	1
9	37			9	2			3				3	55		
3	3.	0	1	2	3.	1	0	3	4.	1	1	3	4	0	0
7	8			5	15			4	8			3			
2	3.	0	1	2	2.	0	1	3	3.	0	1	5	2.	1	1
8	2			1	47			3	18			5	64		
3	3.	0	1	2	3	0	1	4	1.	0	0	2	1.	0	1
1	95			4				5	8			0	65		
4	1.	0	0	4	3.	0	1	2	1.	0	1	2	2.	0	1
2	98			3	54			1	5			9	4		
3	1.	0	0	4	2.	0	0	2	3	1	1	4	3.	1	0
0	73			3	28			5				0	71		
2	2.	0	1	3	5.	0	1	2	2.	0	1	4	7.	0	1
9	45			7	7			7	28			1	24		

3 5	1. 91	0	1	2 7	3. 5	0	1	2 6	2. 8	0	1	4 1	4. 39	1	0
4 1	3. 2	0	1	2 8	4. 6	0	1	2 2	2. 7	0	1	3 5	3. 3	0	1
4 0	4	0	1	2 6	3	0	1	2 7	4. 9	1	0	2 4	2. 3	0	0
3 0	3	1	0	2 3	2. 59	0	1	2 6	2. 5	0	0	5 4	4. 18	1	0
4 0	10	0	1	3 0	1. 51	0	1	4 1	6	0	1	3 4	2. 49	1	0
4 6	3. 4	1	0	3 0	1. 85	0	1	4 2	3. 9	0	1	4 5	2. 81	0	0
3 5	2. 35	0	1	3 8	2. 6	0	1	2 2	5. 1	0	0	4 3	2. 4	0	1
2 5	1. 88	1	0	2 8	1. 8	0	1	2 5	3. 07	0	1	3 5	1. 5	1	0
3 4	2	0	1	3 6	2	0	0	3 1	2. 46	0	1	3 6	8. 4	1	0
3 6	4	1	1	3 8	3. 26	0	1	2 7	2	0	1	2 2	1. 56	0	1
3 3	6	1	1	2 5	3. 6	1	1	2 6	5	0	1	4 6	3. 5	0	1

Для дальнейшего анализа используем статистический пакет SPSS и рекомендации работы [3]. Корреляционный анализ характеристик заемщиков показал, что факторы X2 и X3 сильно связаны между собой, поэтому для построения регрессионной модели воспользуемся методом исключения. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

	В	Стд.ошиб ка	вальд	Ст.с в.	Знч .	Exp(B)
Ша	x_1	-	,034	3,454	1	,06 ,939

Г 1		,062				3	
	x_2	,217	,180	1,459	1	,227	1,242
	x_3	- 1,929	,591	10,672	1	,001	,145
	константа	2,745	1,143	5,768	1	,016	15,568
Шаг 2	x_1	- ,051	,032	2,601	1	,107	,950
	x_3	- 1,823	,570	10,246	1	,001	,162
	константа	3,089	1,100	7,891	1	,005	21,954

Итак, уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$\text{logit}(p(x)) = 3,089 - 0,051 * x_1 - 1,823 * x_3$$

Допустим, что у нас имеется клиент в возрасте $X_1=25$ лет и у него в собственности имеется недвижимость, т.е. $X_3=1$. Тогда,

$$\text{logit}(p(x)) = \ln(r(x)) = 3,089 - 0,051 * 25 - 1,823 * 1 = -0,009$$

Следовательно,

$$r(x) = \exp(-0,009) = 0,991$$

а вероятность отказа в получении кредита будет следующей:

$$p(x) = r(x)/(1 + r(x)) = \frac{0,991}{1 + 0,991} = 0,49$$

Посмотрим, как измениться эта вероятность, если в собственности клиента нет недвижимости ($X_3=0$). Тогда $\text{logit}(p(x)) = 1,84$; $r(x) = 6,13$; а вероятность отказа в получении кредита $p(x)=0,859$, т.е. возрастает на 75%.

Литература

1. R. Rakotomala, Régression logistique – une approche pour rendre calculable $P(Y/X)$, http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/supports_data_mining.html
2. Pratique de la Régression Logistique – http://eric.univlyon2.fr/~ricco/cours/cours/pratique_regression_logistique.pdf
3. Многомерный статистический анализ в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS. Учеб. пособие/ Под. ред. И. В. Орловой. - М.: Вузовский учебник, 2014. - 310 с

О МЕТОДАХ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ (PROCESS INTELLIGENCE)³³

Никитина В.В., Гудкова И.А.

Российский университет дружбы народов,
nikitinavalerie@mail.ru, gudkova_ia@rudn.university

Работа посвящена проблеме интеллектуальной обработки данных, которая проявляется в целом через данные о выполнении процесса, а в частности через журналы событий. Рассмотрены выполнение процесса, его структура, выявлена сущность и эффективность журнала событий для мониторинга и контроля, указаны проблемы его ведения. Сформулирован метод автоматического обнаружения процессов, как технический шаг для достижения прозрачности выполнения процесса. Обозначены шаги и допущения альфа-алгоритма для автоматического обнаружения процесса.

Ключевые слова: BPMS, бизнес-процесс, анализ журнала событий, журнал рабочих процессов

В настоящее время каждому предприятию для автоматизации работы необходимо введение системы управления бизнес-процессами (Business Process Management System, BPMS), так как это способствует не только организации функционирования предприятия, но и повышению эффективности управления. Для этого процессы точно определяются, выполняются, а информация о выполнении процесса подготавливается и анализируется. Большинство BPMS, а также другие информационные системы фиксируют данные о том, что и в какой момент времени было сделано. Файл, в котором хранятся эти данные, называется файлом журнала, а данные в нем – журналами событий. Каждый раз, когда задача завершается, в файл журнала добавляется новая запись. Таким образом,

³³ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

информация, которая хранится в журнале событий, обеспечивает цикл обратной связи с тем, как процесс может быть переработан.

Журналы событий могут выявить важные сведения о том, как и насколько правильно процесс работает на практике. Автоматическое обнаружение процесса, анализ производительности и проверка соответствия, все это связано с вопросами, которые может задать владелец процесса. Поэтому владелец процесса может использовать журналы событий для мониторинга и контроля.

Контроль процесса обеспечивает понимание того, были ли достигнуты общие цели процесса и установлены ли ключевые индикаторы производительности. Как правило, контроль процессов является автономной операцией, которая включает журналы выполненных процессов. Мониторинг процесса связан с качеством текущих запущенных экземпляров процесса.

Журналы событий содержат набор событий. Соответственно, мы можем рассмотреть журнал событий как список записей из событий. На рис. 1 приведена иллюстрация того, какие данные обычно хранятся в журналах событий. Мы видим, что каждое событие имеет уникальный идентификатор. Помимо этого, он относится к одному отдельному случаю, имеет отметку времени и показывает, какие ресурсы были использованы. Это могут быть участники (например, Чак и Конни) или программные системы (SYS1, SYS2, DMS).

Case ID	Event ID	Timestamp	Activity	Resource
1	Ch=4680555556-1	2012-07-30 11:14	Проверить наличие на складе	SYS1
1	Re=5972222222-1	2012-07-30 14:20	Получить продукт со склада	Рик
1	Co=6319444444-1	2012-07-30 15:10	Подтвердить заказ	Чак
1	Ge=6402777778-1	2012-07-30 15:22	Получить адрес доставки	SYS2
1	Em=6555555556-1	2012-07-30 15:44	Выставить счет	SYS2
1	Re=4180555556-1	2012-08-04 10:02	Получить оплату	SYS2
1	Sh=4659722222-1	2012-08-05 11:11	Отправить продукт	Сьюзи
1	Ar=3833333333-1	2012-08-06 09:12	Занести заказ в архив	DMS
2	Ch=4055555556-2	2012-08-01 09:44	Проверить наличие на складе	SYS1
2	Ch=4208333333-2	2012-08-01 10:06	Проверить наличие материалов	SYS1
2	Re=4666666667-2	2012-08-01 11:12	Запросить исходные материалы	Ринго
2	Ob=3263888889-2	2012-08-03 07:50	Получить исходные материалы	Олаф
2	Ma=6131944444-2	2012-08-04 14:43	Изготовить продукт	SYS1
2	Co=6187615741-2	2012-08-04 14:51	Подтвердить заказ	Конни
2	Em=6388888889-2	2012-08-04 15:20	Выставить счет	SYS2
2	Ge=6439814815-2	2012-08-04 15:27	Получить адрес доставки	SYS2
2	Sh=7277777778-2	2012-08-04 17:28	Отправить продукт	Сара
2	Re=3611111111-2	2012-08-07 08:40	Получить оплату	SYS2
2	Ar=3680555556-2	2012-08-07 08:50	Занести заказ в архив	DMS

Рис. 1. Журнал событий

Существует 5 основных проблем извлечения данных из журналов.

1. Проблема корреляции. Каждое событие необходимо идентифицировать. Проблема заключается в определении идентификатора для события.
2. Проблема отметки времени. Проблема правильной работы с метками времени связана с тем фактом, что многие информационные системы не рассматривают ведение журналов в качестве основной задачи. Это означает, что ведение журнала часто задерживается до тех пор, пока система не будет находиться в режиме ожидания или небольшой нагрузки. Таким образом, появляются события с одинаковыми отметками.
3. Фото проблема. Эта тема относится к проблеме того, что данные журнала доступны только определенный промежуток времени. Для долгосрочных процессов у нас может не получиться обзирать все случаи журнала с их полной продолжительностью в данный промежуток времени.
4. Проблема обзора. Обзор множества событий может быть проблемой, если доступная информационная система не создает непосредственно журналы событий.

5. Проблема детализации. Детализация записей журнала событий гораздо более сложная, так что каждое действие в модели процесса может составлять набор событий. Проблема заключается в том, что события могут неоднократно отображаться в журналах, в то время как в действительности выполняется только одна задача.

Для того, чтобы избежать эти ошибки и зафиксировать поведение журнала событий используется специальная технология поиска процессов – автоматическое обнаружение процесса. В основе технологии алгоритм, который должен делать минимальные допущения свойств журнала и исходной модели процесса. Чаще всего используют α -алгоритм, так как он менее сложный. Его допущения заключаются в следующем:

1. События в журнале хронологически упорядочены.
2. Каждое событие относится к одному случаю.
3. Каждое событие относится к определенному виду деятельности процесса.
4. Каждое действие процесса включается в журнал.
5. Журнал поведенчески полон: если за деятельностью a может сразу следовать деятельность b , тогда есть по крайней мере один случай в журнале, где мы наблюдаем ab .

В соответствии с этими допущениями мы используем так называемый журнал рабочих процессов в качестве отправной точки для использования α -алгоритма. На рис. 2 показано, как можно создать журнал рабочих процессов из журнала событий. Журнал рабочих процессов представляет собой совокупность всех уникальных последовательностей выполнения, наблюдаемых в журнале.

Case ID	Event ID	Timestamp	Activity	Letter	Activities
1	Ch=4680555556=1	2012-07-30 11:14	Проверить наличие на складе	a	Проверить наличие на складе
1	Re=5972222222=1	2012-07-30 14:20	Получить продукт со склада	b	Получить продукт со склада
1	Co=6319444444=1	2012-07-30 15:10	Подтвердить заказ	c	Проверить наличие материалов
1	Ge=6402777778=1	2012-07-30 15:22	Получить адрес доставки	d	Запросить исходные материалы
1	En=6555555556=1	2012-07-30 15:44	Выставить счет	e	Получить исходные материалы
1	Re=4180555556=1	2012-08-04 10:02	Получить оплату	f	Изготовить продукт
1	Sh=4659722222=1	2012-08-05 11:11	Отправить продукт	g	Подтвердить заказ
1	Ar=3833333333=1	2012-08-06 09:12	Занести заказ в архив	h	Получить адрес доставки
2	Ch=4055555556=2	2012-08-01 09:44	Проверить наличие на складе	i	Отправить продукт
2	Ch=4208333333=2	2012-08-01 10:06	Проверить наличие материалов	j	Выставить счет
2	Re=4666666667=2	2012-08-01 11:12	Запросить исходные материалы	k	Получить оплату
2	Ob=3263888889=2	2012-08-03 07:50	Получить исходные материалы	l	Занести заказ в архив
2	Ma=6131944444=2	2012-08-04 14:43	Изготовить продукт		
2	Co=6187415741=2	2012-08-04 14:51	Подтвердить заказ		
2	En=6388888889=2	2012-08-04 15:20	Выставить счет		
2	Ge=6439814815=2	2012-08-04 15:27	Получить адрес доставки		
2	Sh=7277777778=2	2012-08-04 17:28	Отправить продукт		
2	Re=3611111111=2	2012-08-07 08:40	Получить оплату		
2	Ar=3680555556=2	2012-08-07 08:50	Занести заказ в архив		

Рис. 2. Автоматическое обнаружение процессов

На первой фазе из журнала рабочих процессов извлекаются различные порядковые отношения. На второй фазе модель процесса строится поэтапно по этим идентифицированным отношениям. Порядковые отношения относятся к задачам, которые непосредственно следуют друг за другом в журнале. Они составляют набор альфа-отношений.

Смысл альфа-алгоритма заключается в том, чтобы идентифицировать отношения между всеми парами задач из журнала рабочих процессов с целью реконструирования процесса моделирования основанного на шаблонах (a) - (e). Следовательно, перед тем как применить α -алгоритм нам сначала необходимо извлечь все базовые отношения из рабочего журнала L.

Полученная с помощью альфа-алгоритма модель примера представлена на рис. 3.

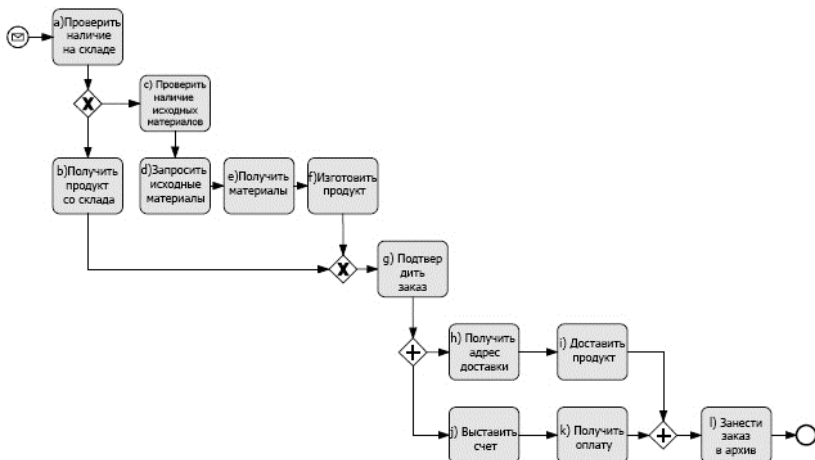


Рис. 3. Модель процесса, построенная по альфа алгоритму из журнала рабочих процессов

В работе было произведено исследование интеллектуального использования данных, генерируемых при выполнении процесса. Эти данные служат для контроля и мониторинга процессов предприятия, что и было раскрыто в основной части работы. На основе выполнения процесса «осуществление заказа» была рассмотрена структура журнала событий, которая включает в себя, что было сделано, когда и кем. Были выделены проблемы получения журналов событий и обозначены основные проблемы извлечения данных из журналов.

Литература

1. *Dumas, M., Mendling, J. et al.* Fundamentals of Business Process Management//Springer.-2013.- 414.
2. *Samouylov, K., Gaidamaka, Y., Zaripova, E.* Analysis of business process execution time with queueing theory models // (2016) Communications in Computer and Information Science, 638, pp. 315-326.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ С ВЫБОРОМ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ И ОБСЛУЖИВАНИИ³⁴

Орбелян Т.С.

*Российский университет дружбы народов,
tikoik@mail.ru*

Строится математическая модель системы с выбором накопителя при поступлении и при обслуживании.

Ключевые слова: система массового обслуживания, выбор накопителя при поступлении, выбор накопителя при обслуживании.

Введение

В данной работе представлена математическая модель системы, объединяющая в себе систему поллинга [1, 2] и систему выбора кратчайшей очереди («join-the-shortest-queue») [3-6].

Описание модели

Исследуется система массового обслуживания вида $M|M_{\mu_1, \mu_2}|1|r_1, r_2$ [7], состоящая из одного обслуживающего прибора и двух накопителей емкости $r_1 \leq \infty$ и $r_2 \leq \infty$. В систему поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ , причем заявка поступает в тот накопитель, текущая длина которого минимальна (реализация дисциплины выбора кратчайшей очереди («join-the-shortest-queue»)), если же текущие длины накопителей совпадают, то произвольно выбирается один из двух накопителей.

Прибор, в свою очередь, выбирает на обслуживание заявку из того накопителя, где их больше (поллинговая система). В случае равенства количества заявок в накопителях произвольно выбирается один из них. Заявки из первого накопителя обслуживаются по экспоненциальному закону с интенсивностью μ_1 , заявки из второго накопителя также

³⁴ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

обслуживаются по экспоненциальному закону, но с интенсивностью μ_2 . В общем случае $\mu_1 \neq \mu_2$.

Задача исследования – получить основные вероятностно-временные характеристики данной системы такие, как:

- стационарное распределение числа заявок как в системе целом, так и в каждом из накопителей;
- вероятность потери поступающей заявки для накопителей ограниченной емкости;
- среднее время ожидания начала обслуживания для заявок в каждом из накопителей;

либо в явном аналитическом виде, либо в виде интервальных оценок, как в [6].

Функционирование системы описывается следующим трехмерным случайным процессом $\xi(t) = \{\xi_1(t), \xi_2(t), \mu(t)\}$, где $\xi_1(t)$ – число заявок в первом накопителе в момент времени t (от 0 до r_1), $\xi_2(t)$ – число заявок во втором накопителе в момент времени t (от 0 до r_2), $\mu(t)$ – состояние прибора (0 – прибор свободен (только если система пуста), 1 – обслуживается заявка из первого накопителя, 2 – обслуживается заявка из второго накопителя). Множество состояний данного случайного процесса можно представить в виде $X = \{(0)\} \cup \{(i, j, k)\}$, где $i = \overline{0, r_1}$, $j = \overline{1, r_2}$, $k = \overline{1, 2}$. Состояние $\{(0)\}$ соответствует случаю, когда система пуста.

В силу определения рассматриваемой системы возможны только те состояния, для которых $|i - j| \leq 1$, то есть, количество заявок в первом и втором накопителях может различаться не более чем на единицу. В данной ситуации возможно приведение матрицы интенсивностей переходов случайного процесса к трехдиагональному виду и применение известных матрично-аналитических методов [7].

В частном случае, когда заявки из разных накопителей обслуживаются с одинаковой интенсивностью ($\mu_1 = \mu_2$) множество состояний X можно представить в виде $X = \{(0)\} \cup \{(i, j)\}$, где $i = \overline{0, r_1}$, $j = \overline{1, r_2}$, и распределение числа

заявок в системе в целом может быть представлено в геометрической форме, как для системы $M|M|1|r$.

Выводы

В данной работе дано определение системы с выбором накопителя поступающей заявкой по принципу кратчайшей очереди и выбором накопителя прибором для обслуживания заявки. Сформулированы основная задача исследования – вывод вероятностно-временных характеристик системы.

Литература

1. Самуйлов К. Е., Абаев П.О., Гайдамака Ю.В., Гудкова И.А., Королькова А. В., Кулябов Д.С., Щукина О.Н. Мультисервисные сети связи. – М.: РУДН, 2013
2. Вишневецкий В.М., Семенова О.В. Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях. – М.: Техносфера, 2007
3. Suh K., Diot Ch., Kurose J., Massoulié L., Neumann Ch., Towsley D., Varvello M. Push-to-peer video-on-demand system: Design and evaluation. // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 25:9 (2007). –Pp. 1706–1716
4. Bramson M. Stability of Join the Shortest Queue Networks. // Ann Appl Probab. – 21:4 (2011). – Pp. 1568–1625
5. Введенская Н. Д., Конфигурация перегруженных серверов при динамической маршрутизации. // Пробл. передачи информ. – 47:3 (2011). – С. 80–95
6. Серж Я. Г., Милованова Т.А., Зарядов И.С. Интервальные оценки характеристик системы с оптимальным выбором. // Материалы Девятнадцатой международной научной конференции "Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь" (DCCN-2016), 21–25 нояб. 2016 г. : в 3 т.; под общ. ред. В. М. Вишневецкого и К. Е. Самуйлова. Т. 3: Молодежная школа-семинар = Youth School-Seminar. – 2016. – С. 445-451.
7. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. – РУДН. – 1995

ИССЛЕДОВАНИЕ RQ-СИСТЕМЫ MMPP/M/1/1 С ВЫЗЫВАЕМЫМИ ЗАЯВКАМИ

Пауль С.В.

Национальный исследовательский Томский государственный
университет,
paulsv82@mail.ru

В предложенной работе основным методом исследования является метод асимптотического анализа, который позволяет в RQ-системе MMPP/M/1/1 с двумя классами заявок найти вид предельного распределения числа заявок в системе в асимптотическом условии большой загрузки.

Ключевые слова: система массового обслуживания с вызываемыми заявками, большая загрузка системы.

Математическая модель и постановка задачи

Рассмотрим RQ-систему, на вход которой поступает MMPP-поток заявок. MMPP-поток определяется управляющим процессом $n(t)$ – цепью Маркова с конечным числом состояний $n = \overline{1, N}$, которая задана матрицей инфинитезимальных характеристик \mathbf{Q} с элементами $q_{k_1 k_2}$; диагональной матрицей Λ условных интенсивностей наступления событий на интервалах постоянства λ_n , $n = \overline{1, N}$.

Заявка входящего потока, поступая в систему и обнаруживая прибор свободным, занимает его, а прибор начинает обслуживание в течение экспоненциально-распределенного времени с параметром μ_1 . Если же заявка, поступая в систему, обнаруживает прибор занятым, она мгновенно уходит на орбиту и осуществляет там случайную задержку в течение экспоненциально-распределенного времени с параметром σ . В момент окончания обслуживания прибор вызывает заявку извне с интенсивностью α . Вызываемая заявка, обращаясь к прибору, может застать его свободным, тогда она встает на прибор и обслуживается случайное время, распределенное по экспоненциальному закону с параметром μ_2 . Если же

вызываемая заявка в момент прихода в систему заставит прибор занятым обслуживанием заявки входящего потока, то она теряется и в дальнейшем не рассматривается.

Обозначим $i(t)$ – число заявок в системе в момент времени t ; $k(t)$ принимает значения 0, если прибор свободен, 1, если прибор занят обслуживанием заявки входящего потока, 2, если прибор занят обслуживанием вызываемой заявки; $n(t)$ – управляющая входящим ММРР-потоком цепь Маркова, которая определяется матрицей инфинитезимальных характеристик \mathbf{Q} . Состояния управляющей цепи Маркова $n(t)$ будем также называть состояниями ММРР-потока. Заданы условные интенсивности наступления событий на интервалах постоянства $\lambda_n, n = \overline{1, N}$.

Рассмотрим трехмерный марковский процесс $\{k(t), n(t), i(t)\}$ для стационарного распределения вероятностей которого

$$P\{k(t) = k, n(t) = n, i(t) = i\} = P_k(n, i)$$

составим систему Колмогорова [1]

$$\begin{cases} -(\lambda_n + i\sigma + \alpha)P_0(n, i) + \mu_1 P_1(n, i+1) + \mu_2 P_2(n, i+1) + \sum_v P_0(v, i)q_{vm} = 0, \\ -(\lambda_n + \mu_1)P_1(n, i) + \lambda_n [P_1(n, i-1) + P_0(n, i-1)] + i\sigma P_0(n, i) + \sum_v P_1(v, i)q_{vm} = 0, \\ -(\lambda_n + \mu_2)P_2(n, i) + P_0(n, i-1)\alpha + P_2(n, i-1)\lambda_n + \sum_v P_2(v, i)q_{vm} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Введем частичные характеристические функции, обозначив $j = \sqrt{-1}$

$$H_0(n, u) = \sum_{i=0}^{\infty} e^{jui} P_0(n, i), \quad H_k(n, u) = \sum_{i=1}^{\infty} e^{jui} P_k(n, i), \quad k = 1, 2.$$

Эти характеристические функции будут отличаться порядком суммирования, так как при $k = 1, 2$ в системе обязательно будет хотя бы одна заявка. Систему для характеристических функций запишем в матричном виде, обозначив $\Lambda = \text{diag}[\lambda_n]$, \mathbf{I} – единичная матрица, $\mathbf{H}(u) = \{H_k(1, u), H_k(2, u), \dots, H_k(N, u)\}$,

$$\mathbf{H}'_k(u) = \left\{ \frac{\partial H_k(1, u)}{\partial u}, \frac{\partial H_k(2, u)}{\partial u}, \dots, \frac{\partial H_k(N, u)}{\partial u} \right\},$$

$$\mathbf{H}_0(u)(\mathbf{Q} - \Lambda - \alpha\mathbf{I}) + j\sigma\mathbf{H}'_0(u) + \mu_1 e^{-ju}\mathbf{H}_1(u) + \mu_2 e^{-ju}\mathbf{H}_2(u) = 0,$$

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_1(u)(\mathbf{Q} + (e^{ju} - 1)\Lambda - \mu_1 \mathbf{I}) + \mathbf{H}_0(u)e^{ju}\Lambda - j\sigma \mathbf{H}'_0(u) &= 0, \\ \mathbf{H}_2(u)(\mathbf{Q} + (e^{ju} - 1)\Lambda - \mu_2 \mathbf{I}) + \alpha e^{ju} \mathbf{H}_0(u) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Для удобства вычислений просуммируем уравнения системы (2), полученное уравнение умножим на единичный вектор столбец \mathbf{e} и на экспоненту e^{ju} . Так как $\mathbf{Q}\mathbf{e}=0$, получим скалярное уравнение.

$$\mathbf{H}_0(u)(e^{ju}\Lambda + \alpha e^{ju} \mathbf{I})\mathbf{e} + \mathbf{H}_1(u)(e^{ju}\Lambda - \mu_1 \mathbf{I})\mathbf{e} + \mathbf{H}_2(u)(e^{ju}\Lambda - \mu_2 \mathbf{I})\mathbf{e} = 0. \quad (3)$$

Будем рассматривать систему (2) и уравнение (3), т.е. систему из трех матричных уравнений и одного скалярного:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_0(u)(\mathbf{Q} - \Lambda - \alpha \mathbf{I}) + j\sigma \mathbf{H}'_0(u) + \mu_1 e^{-ju} \mathbf{H}_1(u) + \mu_2 e^{-ju} \mathbf{H}_2(u) &= 0, \\ \mathbf{H}_1(u)(\mathbf{Q} + (e^{ju} - 1)\Lambda - \mu_1 \mathbf{I}) + \mathbf{H}_0(u)e^{ju}\Lambda - j\sigma \mathbf{H}'_0(u) &= 0, \\ \mathbf{H}_2(u)(\mathbf{Q} + (e^{ju} - 1)\Lambda - \mu_2 \mathbf{I}) + \alpha e^{ju} \mathbf{H}_0(u) &= 0, \\ \mathbf{H}_0(u)(e^{ju}\Lambda + \alpha e^{ju} \mathbf{I})\mathbf{e} + \mathbf{H}_1(u)(e^{ju}\Lambda - \mu_1 \mathbf{I})\mathbf{e} + \mathbf{H}_2(u)(e^{ju}\Lambda - \mu_2 \mathbf{I})\mathbf{e} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Систему (4) будем решать методом асимптотического анализа в предельном условии большой загрузки системы.

Асимптотический анализ RQ-системы в условии большой загрузки ($\rho \rightarrow 1$)

Систему (4) будем решать методом асимптотического анализа в условии большой загрузки ($\rho \rightarrow 1$).

Теорема. Пусть $i(t)$ – число заявок в стационарной RQ-системе MPP/M/1/1 с вызываемыми заявками, тогда характеристическая функция числа заявок в системе имеет вид

$$H(u) = \left[1 - ju \frac{\mathbf{g}_1 \Lambda \mathbf{e} + 1}{1 - \rho} \right]^{-(s+1)}, \quad (5)$$

здесь \mathbf{g}_1 решение системы

$$\begin{cases} \mathbf{g}_1 \mathbf{Q} = \frac{1}{\mu_1} \mathbf{r} (\mu_1 \mathbf{I} - \Lambda), \\ \mathbf{g}_1 \mathbf{e} = 0. \end{cases}$$

где \mathbf{r} – вектор распределения вероятностей состояния системы [2]. Параметр s имеет вид

$$s = \frac{\mu_1}{\sigma(\mathbf{g}_1 \Lambda \mathbf{e} + 1)} \cdot \frac{\mu_2 + \alpha}{\mu_2}.$$

Выводы

В предложенной работе мы рассмотрели RQ-систему MMPP/1/1 с вызываемыми заявками. Была найдена асимптотическая характеристическая функция числа заявок в системе в предельном условии большой загрузки.

Литература

1. *Nazarov, A., Paul, S., Gudkova I.*: Asymptotic Analysis of Markovian Retrial Queue with Two-Way Communication under Low Rate of Retrials Condition. Proceedings – 31st European Conference on Modelling and Simulation, ECMS, Budapest, 2017. P. 687-693.
2. Heavy Outgoing Call Asymptotics for MMPP/M/1/1 Retrial Queue with Two-Way Communication. In: Information Technologies and Mathematical Modelling Queueing Theory and Applications 16th International Conference, ITMM 2017 Named After A.F. Terpugov. vol. 800, pp. 28-41. Springer, Cham (2017)

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВО ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ПРИМЕРЕ СЕТИ AFDX

Петриков А. В., Киричек Р. В.

*Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
petrikoff@gmail.com, kirichek@sut.ru*

В данной статье рассматриваются принципы построения AFDX сетей, преимущества, архитектура и предъявляемые требования.

Ключевые слова: сети передачи данных, сетевой стек, детерминированные задержки, встроенные системы реального времени.

Введение

В настоящее время, встраиваемые системы получают все большее и большее распространение, что связано, в первую очередь, с миниатюризацией электронных компонентов, а также понижением их стоимости [3]. Среди них в отдельный класс можно выделить встраиваемые системы реального времени с повышенными требованиями к безопасности (critical-safe real time systems). К ним относятся, например, системы для различных видов транспорта: автомобилей, авиации, космических аппаратов, системы медицинского оборудования и т. д. Для данного сегмента систем, ограничение временных задержек является ключевым фактором, и, поскольку классические широко используемые компьютерные технологии (ОС Windows, сетевой стек TCP/IP) и аппаратные средства (микропроцессоры архитектуры x86, x64, ARM) зачастую не удовлетворяют предъявляемым требованиям, для таких систем разрабатываются операционные системы реального времени (RTOS), а также специализированные протоколы передачи данных, с особым стеком технологий, отличающихся от классического стека TCP/IP. К ним в частности относится

протокол передачи данных AFDX, рассматриваемый в рамках данной статьи.

Обзор протокола AFDX

Avionics Full-Duplex Switched Ethernet (AFDX) – полнодуплексный коммутируемый Ethernet для систем авионики. Данный протокол передачи данных реализует спецификации стандарта ARINC 664, используемого в авиации, и в других системах с повышенными требованиями к безопасности (critical-safe systems) [2]. Данный протокол позволяет избежать некоторые ограничения линейки стандартов IEEE 802.3 при помощи внедрения адаптированных ключевых концепций сетей Asynchronous Transfer Mode (ATM) и особенностей структуры бортовой системы (детерминированное количество приемопередающих устройств, в отличие от, например, сети Интернет).

Основными элементами AFDX сети являются:

- AFDX switches (коммутаторы).
- AFDX end devices (оконечные устройства).
- AFDX links (UTP-5).

Как правило, в таких системах, одно оконечное AFDX устройство обслуживает несколько вычислительных подсистем [1], для каждой из которых статически выделяется виртуальный канал с необходимой полосой пропускания. Типовая схема подключения к AFDX сети приведена на Рис. 1.:

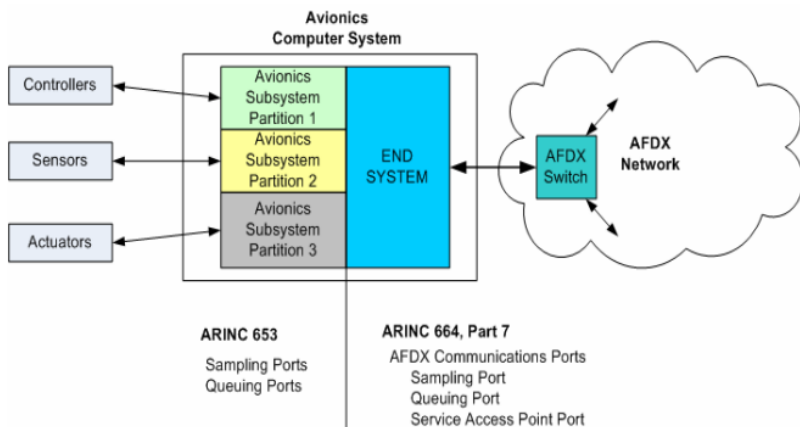


Рис. 1. Типовая схема подключения вычислительных подсистем, оконечного устройства с сетью [1].

Выводы

Благодаря совокупности вышеизложенных факторов, AFDX сети обладают следующими основными особенностями:

- Детерминированные задержки для критично важного трафика.
- Полнодуплексный режим передачи данных (отсутствие коллизий).
- Выделенная пропускная способность.
- Концепция программируемых виртуальных каналов.
- Гарантированная доставка данных.
- Обеспечение целостности данных.
- Резервирование каждого из коммутируемых маршрутов.
-

Литература

1. *Condor Engineering, Inc.* AFDX Protocol Tutorial, May 2005 – http://www.cems.uwe.ac.uk/~a2-lenz/n-gunton/afdx_detailed.pdf.
2. *AIM GmbH*, AFDX training – http://www.afdx.com/pdf/AFDX_Training_October_2010_Full.pdf.

3. *Киричек Р., Петриков А.*, Проблемы сетевой безопасности в Интернете вещей // Сборник научных статей конференции АПИНО – Том 1 – Март 2016 – стр. 391-394 – <http://www.sut.ru/doci/nauka/5apino/apino2016.pdf>.

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ РАЗНОТИПНЫХ ИСКОВ В СТРАХОВОЙ КОМПАНИИ³⁵

Погосян Ш.Г.

*Российский университет дружбы народов,
shushanna.pogosian0101@yandex.ru*

За прошедшее десятилетие у экономически активной части населения страны заметно возросло понимание весомости страхования из-за риска потерь как финансовых, так и производственных. За эти годы российский страховой рынок значительно прибавил в своем развитии. В связи с этим особую актуальность приобретают разработки методов математического моделирования в страховании для обеспечения устойчивого и динамичного функционирования страховой компании, поскольку именно экономико-математические расчеты в конечном итоге определяют базовые параметры страховых договоров. В данной статье рассматривается модель процесса обработки страховых исков в случае, когда страховая компания (СК) заключает договоры страхования разных типов.

Ключевые слова: сеть массового обслуживания, страховая компания, договор страхования, страховщик, клиент, доход, иск.

Введение

В настоящий момент большой интерес вызывают модели актуарной математики, то есть математики, связанной со страховым делом. Актуарная математика использует теорию вероятностей, а также другие основополагающие идеи для построения моделей страховых систем. В связи с необходимостью применения вероятностных методов в страховой математике, возникло новое направление для исследования процессов риска на основе теории массового обслуживания (ТМО).

³⁵ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Далее рассмотрим модель [1], когда страховая компания заключает $r - 1$ разнотипных договоров страхования.

Постановка задачи

Рассматривается случай, когда СК заключает со страхователями договоры $r - 1$ типов.

В качестве модели процесса обработки разнотипных исков может быть использована замкнутая многолинейная сеть МО с пуассоновским потоком заявок, с центральной СМО, обслуживающей k_i заявок типа i , $i = \overline{1, r - 1}$, $k_1 + k_2 + \dots + k_{r-1} = K$, причем K достаточно велико. В течение определенного интервала времени к СК могут обратиться k_i человек с исками типа i . Заявки типа i обслуживаются в m_i -линейной СМО S_i (система типа $M/M/m_i$) и поступают на обслуживание в центральную систему S_r (система типа $M/M/m_r$), обслужившись в которой они направляются в $m_0 = K$ -линейную внешнюю среду S_0 (система типа $M/M/K/0$), из внешней среды заявки типа i снова поступают на обслуживание в систему S_i , $i = \overline{1, r - 1}$, рис. 1.

Иск при предъявлении проходит 2 стадии обработки (оценки и выплаты). Оценкой исков типа i занимаются m_i специалистов компании (оценщики), $i = \overline{1, r - 1}$, выплатой – m_r кассиров. Для удобства обозначим данную сеть через переменную N .

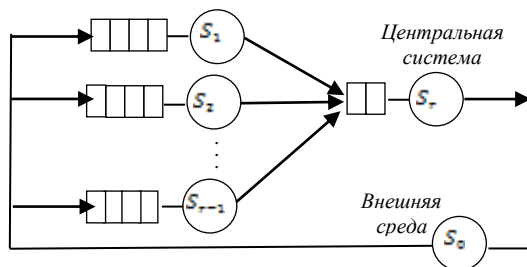


Рисунок 3. Структура описываемой сети

Иски клиентов могут находиться в одном из следующих состояний: C_0 – иск не предъявлен, C_1 – иск находится на стадии оценки, C_2 – иск находится на стадии выплаты. Переход иска типа i из одного состояния в другое происходит в случайные моменты времени, независимо от состояния других исков и от времени, т.о. вероятность перехода на интервале времени $[t, t + \Delta t]$ равна $\mu_{0i}(t)\Delta t + o(\Delta t)$, где $\mu_{0i}(t)\Delta t$ – интенсивность такого перехода.

Времена обработки исков оценщиками и времена между переходами исков из состояния C_2 в состояние C_0 распределены по показательному закону с интенсивностями μ_i и μ_r соответственно, $i = \overline{1, r-1}$. Будем предполагать, что наша система в некоторый момент времени t находится в состоянии $k(t) = (k, t) = (k_1(t), k_2(t), \dots, k_{r-1}(t), k_r(t))$, если в этот момент $k_1(t)$ исков типа i находится в состоянии C_1 , $i = \overline{1, r-1}$, $k_r(t)$ – общее число исков, находящихся в состоянии C_2 , тогда $k_0(t) = k - \sum_{i=1}^r k_i(t)$ – общее число исков, находящихся в состоянии C_0 .

Введем стоимостные коэффициенты: D_0 – доход компании за единицу времени от одного клиента, когда он находится в состоянии C_0 ; D_{il} – потери в единицу времени от одного клиента, когда он находится в состоянии C_1 ; D_{rl} – потери в единицу времени от одного клиента, когда он находится в состоянии C_2 ; E_i – стоимость содержания одного оценщика за единицу времени $i = \overline{1, r-1}$. Тогда доход компании в момент времени t выражается формулой:

$$\Pi(t) = D_0 \left(K - \sum_{i=1}^r k_i(t) \right) - \sum_{i=1}^{r-1} D_{il} k_i(t) - D_{rl} k_r(t) - \sum_{i=1}^{r-1} E_i m_i - E_r m_r. \quad (1)$$

Вектор $k(t)$ образует r -мерный марковский процесс с непрерывным временем и конечным множеством состояний, поэтому $\Pi(t)$ также является случайным процессом. С помощью

$\Pi(t)$ можно найти выражение для среднего дохода, приносимого компанией одним клиентом на интервале $[0, T]$:

$$R(T) = \frac{1}{T} \int_0^T M \left\{ \frac{\Pi(t)}{K} \right\} dt$$

$$= D_0 \int_0^T \left[\sum_{i=1}^r (d_i n_i(t) + E_i l_i) \right] dt, \quad (2)$$

где $n_i(t) = M \left\{ \frac{k_i(t)}{k} \right\}$, $i = \overline{0, r}$, $d_i = D_0 + D_{ii}$, $l_i = \frac{m_i}{k}$, $i = \overline{1, r}$.

Выводы

В данной статье была рассмотрена работа многолинейной СеМО с пуассоновским входящим потоком заявок. Дисциплиной обслуживания заявок в системах сети является FIFO (First In, First Out). В данной работе исследованы модели процессов обработки страховых исков, позволяющие определить вероятностно-временные характеристики функционирования страховых компаний и решить ряд задач практического значения. Результаты данной работы могут быть использованы для анализа и оптимизации процессов функционирования страховых компаний.

Литература

1. Русилко Т., Матылицкий М. Сетевые вероятностные модели обработки заявок в страховых компаниях, 2012.
2. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания, 1995.
3. Бауэрс Н., Гербер Х., Джонс Н., Несбитт С., Хикман Дж. Актуарная математика, 2001.
4. Матылицкий М.А., Романюк Т.В. Приближенные методы анализа сетей с центральной системой обслуживания и их применения, 2003.

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕМАРКОВСКОЙ БЕСКОНЕЧНОЛИНЕЙНОЙ СМО В УСЛОВИИ ЭКВИВАЛЕНТНО РАСТУЩЕГО ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Полин Е.П., Моисеева С.П.

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет,*

polin_evgeny@mail.ru

***В работе получен вид асимптотической
характеристической функции для числа занятых приборов
различного типа в условии эквивалентно растущего
времени обслуживания.***

Ключевые слова: асимптотический анализ,
бесконечнолинейная СМО, случайная среда.

Введение

Возникновение в последние несколько десятилетий новых практических задач, связанных с появлением систем гибкого автоматического производства, в которых возможно отключение, переподключение и переналадка оборудования, систем управления запасами и экономических систем, информационно-вычислительных сетей и сетей связи, дало существенный толчок к развитию исследований систем с изменяемыми параметрами. Особенно актуальным представляется исследование таких систем при оценке ситуации в современных и перспективных инфокоммунационных систем и сетях связи.

Такие задачи в теории массового обслуживания называются системами массового обслуживания (СМО) в случайной среде. Такие СМО более адекватно по сравнению с классическими марковскими системами отображает реальные процессы, связанные с изменяющейся во времени внешней случайной средой и реакцией самой системы на эти изменения.

Постановка задачи

Рассматривается бесконечнолинейная система массового обслуживания, функционирующая в случайной среде. Входящий МММР-поток задается матрицами (\mathbf{Q}, Λ) [1], где \mathbf{Q} – матрица инфинитезимальных характеристик управляющей цепи Маркова $l(t)$, $\Lambda = [\lambda_1, \dots, \lambda_L]$ – матрица интенсивностей.

Вектор стационарного распределения вероятностей \mathbf{r} удовлетворяет системе уравнений [2]:

$$\begin{cases} \mathbf{r}\mathbf{Q} = \mathbf{0}, \\ \mathbf{r}\mathbf{e} = 1, \end{cases}$$

Время обслуживания есть случайная величина, которая определяется одной из функций распределения $B_1(x), \dots, B_L(x)$. Выбор функции распределения $B_l(x)$ производится по значению процесса $l(t) = l$ в момент поступления сообщения и не меняется до конца обслуживания.

Обозначим $i_l(t)$ – число сообщений l -го типа, находящихся на обслуживании в системе в момент времени t , $l = 1, 2, \dots, L$. Обозначим $\mathbf{i}(t) = [i_1(t), i_2(t), \dots, i_L(t)]$.

Многомерный процесс $\{\mathbf{i}(t), l(t)\}$ не является марковским. Поэтому воспользуемся методом многомерного динамического просеивания [3]. Обозначим через $\mathbf{n}(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_L(t)]$ число событий, наступивших соответственно в просеянном потоке до момента t .

Случайный процесс $\{l(t), n_1(t)\}$ является марковским, и для его распределения вероятностей $P(l, n_1, t) = P\{l(t) = l, n_1(t) = n_1\}$ можно записать следующую систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\frac{\partial P(l, \mathbf{n}, t)}{\partial t} = \lambda_l ((P(l, \mathbf{n}, t) - P(l, \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, t))S_l(t) + \sum_v q_{vl} P(v, \mathbf{n}, t)) \quad (1)$$

Введем характеристические функции

$$H(\mathbf{u}, t) = \sum_{n_1=0}^{\infty} e^{ju_1 n_1} \dots \sum_{n_k=0}^{\infty} e^{ju_k n_k} P(l, \mathbf{n}, t), \quad j = \sqrt{-1}.$$

Применяя векторное обозначение $\mathbf{H}(\mathbf{u}, t) = [H(1, \mathbf{u}, t), \dots, H(L, \mathbf{u}, t)]$, получим уравнение в матричном виде

$$\frac{\partial \mathbf{H}(\mathbf{u}, t)}{\partial t} = \mathbf{H}(\mathbf{u}, t) \left\{ \mathbf{Q} + \Lambda \left[(e^{j\omega} - 1) \mathbf{S}(t) \right] \right\} \quad (2)$$

с начальным условием

$$\mathbf{H}(\mathbf{u}, t_0) = \mathbf{R}.$$

Здесь $\mathbf{S}(t)$ – диагональные матрицы с элементами $S_i(t)$.

Асимптотика первого порядка

Решение системы (2) будем находить методом асимптотического анализа при условии эквивалентно растущего времени обслуживания.

Введем обозначения: $\frac{1}{b_k} = k\varepsilon$, $\mathbf{u} = \varepsilon \mathbf{w}$ (то есть $u_i = \varepsilon w_i$), $t\varepsilon = \tau$, $t_0\varepsilon = \tau_0$, $\mathbf{S}(t) = \mathbf{S}_1(\tau)$, $\mathbf{H}(\mathbf{u}, t) = \mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau, \varepsilon)$, где $\varepsilon \rightarrow 0$. Для $\mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau, \varepsilon)$ получим уравнение

$$\varepsilon \frac{\partial \mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau, \varepsilon)}{\partial \tau} = \mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau, \varepsilon) \left\{ \mathbf{Q} + \Lambda \left[(e^{j\omega} - 1) \mathbf{S}(\tau) \right] \right\}. \quad (3)$$

В уравнении (3) выполним предельный переход при $\varepsilon \rightarrow 0$, получим, что $\mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau)$ является решением системы уравнений $\mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau) \mathbf{Q} = 0$, поэтому ее решение имеет вид

$$\mathbf{F}_1(\mathbf{w}, \tau) = \Phi_1(\mathbf{w}, \tau) \mathbf{R}.$$

Ранее [4] показано, что $\Phi_1(\mathbf{w}, \tau) = \exp \left\{ j\mathbf{w}\lambda \int_{\tau_0}^{\tau} \mathbf{S}_1(z) dz \right\}$, где $\lambda = \mathbf{R}\mathbf{L}\mathbf{e}$.

Асимптотика первого порядка имеет вид

$$\mathbf{H}(\mathbf{u}, 0) = \exp \left\{ j\mathbf{u}\lambda \int_0^{\infty} (1 - B_k(z)) dz \right\} = \exp \{ j\mathbf{u}\lambda \mathbf{b} \},$$

где $\mathbf{b} = [b_1, \dots, b_L]$, $b_k = \int_0^{\infty} (1 - B_k(x)) dx$, $k = 1, 2, \dots, L$.

Асимптотика второго порядка

Для нахождения асимптотической характеристической функции второго порядка в систему (2) подставим функцию

вида $\mathbf{H}(\mathbf{u}, t) = \mathbf{H}_2(\mathbf{u}, t) \exp \left\{ j\mathbf{u}\lambda \int_{t_0}^t S(z) dz \right\}$ и выполним замены $\frac{1}{b_k} = k\varepsilon^2$,

$\mathbf{u} = \varepsilon \mathbf{w}$, $t\varepsilon^2 = \tau$, $t_0\varepsilon^2 = \tau_0$, $S(t) = S_1(\tau)$, $\mathbf{H}_2(\mathbf{u}, t) = \mathbf{F}_2(\mathbf{w}, \tau, \varepsilon)$, где $\varepsilon \rightarrow 0$.

Выполняя далее необходимые преобразования, получим асимптотику второго порядка

$$\mathbf{h}_2(\mathbf{u}) = \mathbf{H}(\mathbf{u}, 0)\mathbf{e} = \exp \left\{ j\mathbf{u}\lambda\mathbf{b} + \frac{(j)^2(\mathbf{u}, \mathbf{u}^T)}{2} [\lambda\mathbf{b} + 2\kappa_2\boldsymbol{\beta}] \right\},$$

где $\lambda = \mathbf{R}\mathbf{A}\mathbf{e}$, $\mathbf{b} = [b_1, \dots, b_L]$, $b_k = \int_0^\infty (1 - B_k(x)) dx$, $\boldsymbol{\beta} = [\beta_1, \dots, \beta_L]$, $\beta_k = \int_0^\infty (1 - B_k(x))^2 dx$, $k = 1, 2, \dots, L$. Величина κ_2 определяется равенством

$$\kappa_2 = \mathbf{f}_2\mathbf{A}\mathbf{e},$$

а вектор \mathbf{f}_2 удовлетворяет условию $\mathbf{f}_2\mathbf{e} = 0$ и является решением неоднородной системы линейных алгебраических уравнений $\mathbf{f}_2\mathbf{Q} + \mathbf{R}(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I}) = 0$.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о том, что асимптотическая характеристическая функция числа занятых приборов различного типа рассматриваемой системы имеет вид многомерной гауссовской.

Для немарковской бесконечнолинейной СМО были получены асимптотическая функция первого порядка и асимптотическая функция второго порядка в условии эквивалентно растущего времени.

Литература

1. Назаров А.А., Моисеева С.П. Метод асимптотического анализа в теории массового обслуживания. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – С.112.
2. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Теория массового обслуживания: учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – С.228.
3. Моисеев А.Н., Назаров А.А. Бесконечнолинейные системы и сети массового обслуживания. – Томск: Изд-во НТЛ, 2015. – С.240.

4. *Полин Е.П., Павлова Е.А.* Исследование немарковской неоднородной бесконечнолинейной системы массового обслуживания в случайной среде // Информационные технологии и математическое моделирование: материалы XVI Международной конференции имени А.Ф. Терпугова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2017. – С.160.

К АНАЛИЗУ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДАЧИ ВИДЕО ПОТОКА ПОДГРУППАМ УСТРОЙСТВ ПО ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИВЕЩАНИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ³⁶

*Половов М.П., Бесчастный В.А., Демига Юсра
Российский университет дружбы народов,
lojka10@list.ru*

В работе проводится анализ вероятностно-временных характеристик передачи видео потока подгруппам устройств по технологии мультимедиа в беспроводной сети.

Ключевые слова: беспроводная сеть, мультимедиа, подгруппы мультимедиа

В работе рассматривается выделенная сота беспроводной сети. В зоне покрытия соты находятся устройства, которым от базовой станции передается видео-поток в режиме реального времени. Ввиду того что передаваемый трафик одинаковый для всех устройств сети, используется технология мультимедиа. Однако, для увеличения скорости передачи данных устройства объединены не в одну группу мультимедиа, а динамически разделяются на подгруппы таким образом, чтобы максимизировать суммарную скорость передачи видео-потока для всех пользователей. В работе исследуется вопрос оптимального разбиения устройств на подгруппы.

Литература

1. Orsino, A., Araniti, G., Scopelliti, P., Gudkova, I.A., Samouylov, K.E., Iera, A. Optimal subgroup configuration for multicast services over 5G-satellite systems // (2017) IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB, статья № 7986134, .

³⁶ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

2. *Samouylov, K.E., Gudkova, I.A., Ostrikova, D.Y.* Modelling and performance analysis of multicast file repair in 3GPP LTE networks // (2015) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9247, pp. 383-392.

МОДЕЛИ СХЕМ СЕТИ 3GPP LTE С ПОЛИТИКОЙ ПОЛНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ LSA³⁷

Полуэктов Д.С., Маркова Е.В., Острикова Д.Ю.

*Российский университет дружбы народов,
poluektov_ds, markova_ev, ostrikova_dyu*

В наши дни мобильные операторы все чаще сталкиваются с проблемой нехватки радиоресурсов, необходимых для качественного обслуживания пользователей. Одним из решений этой проблемы является система совместного использования лицензированного спектра частот LSA (Licensed Shared Access). В статье разработаны две возможные модели распределения радиоресурсов при использовании системы LSA в беспроводных сетях 4, 5-го поколений, основанные на прерывании обслуживания пользователей, а также проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: LTE; совместное использование радиочастот; LSA; СМО; рекуррентный алгоритм; прерывание обслуживания.

Введение

Согласно прогнозам компании Cisco Systems спрос на услуги мобильной широкополосной связи, а также объем трафика увеличиваются с каждым годом [1,2]. Одновременно растут требования пользователей к качеству предоставляемых услуг [3,4]. В связи с этим, мобильные операторы пытаются привлечь дополнительные ресурсы, чтобы предоставлять свои услуги пользователям на требуемом уровне. В настоящее время, при поддержке Европейской комиссии, разрабатывается система совместного использования частотного спектра LSA [5-7], которая позволяет более эффективно использовать имеющиеся радиоресурсы.

³⁷ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Построение и анализ моделей

Принцип работы системы состоит в том, что владелец лицензированного частотного спектра сдает в аренду оператору-арендатору радиоресурсы в те моменты времени, в которые они ему не требуются. Абсолютный приоритет доступа к этим ресурсам имеет их владелец. Для оператора они временно доступны, что может приводить к прерыванию обслуживания пользователей при возврате ресурсов их владельцу. Следовательно, с точки зрения оператора, наибольший интерес представляет анализ именно показателей прерывания обслуживания. Ввиду изложенного, актуальной является задача оптимального распределения нагрузки между ресурсами совместного и индивидуального использования оператора, при котором показатели прерывания обслуживания пользователей были бы минимальны.

В статье предложены две схемы совместного использования ресурсов оператором-арендатором и владельцем. Арендатор имеет доступ как к полосе индивидуального использования – собственной полосе, доступной ему непрерывно, так и к полосе совместного использования, которую он берет в аренду и использует совместно с владельцем. Обе модели реализованы на основе прерывания обслуживания пользователей арендованной полосы [3], в случае необходимости освобождения ресурсов для владельца. При этом оператор перенаправляет заявки, обслуживаемые на арендованной полосе, на полосу индивидуального использования, если там имеются свободные ресурсы, если свободных ресурсов нет, то обслуживание заявок прерывается. Различие моделей заключается в том, что в первой модели заявки непрерывно обслуживаются на той полосе, ресурсы которой изначально заняли, а во второй – заявки, обслуживаемые на полосе совместного использования, перенаправляются на индивидуальную полосу, если на ней появляются свободные ресурсы.

В построенных моделях рассматривается трафик, не толерантный к задержкам. Модели с трафиком, толерантным к задержкам, ранее исследовались в [8,9].

Рассмотрены поведения основных характеристик производительности двух моделей в зависимости от интенсивности входящего потока для сценария воздушной телеметрии: вероятность блокировки (Рис. 1.), вероятность прерывания (Рис. 2.), вероятность смены полосы обслуживания (Рис. 3. – модель 1; Рис. 4. – модель 2).

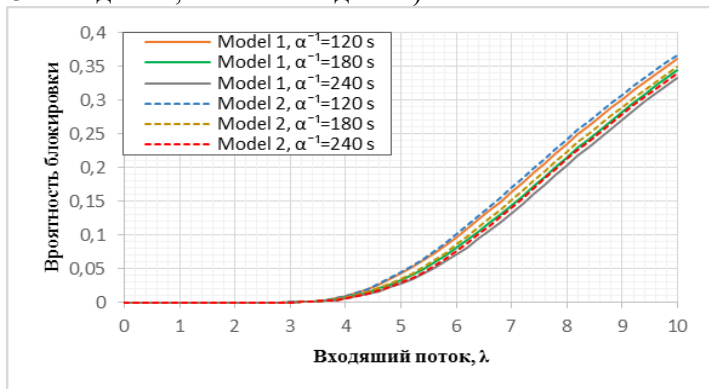


Рис. 3. Вероятность блокировки для разных значений α^{-1}

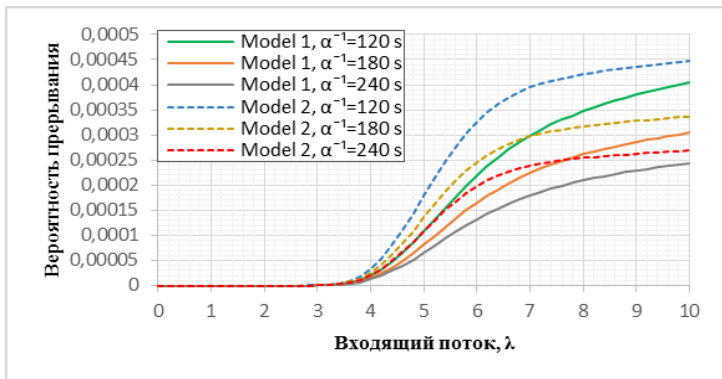


Рис. 4. Вероятность прерывания обслуживания для различных значений α^{-1}

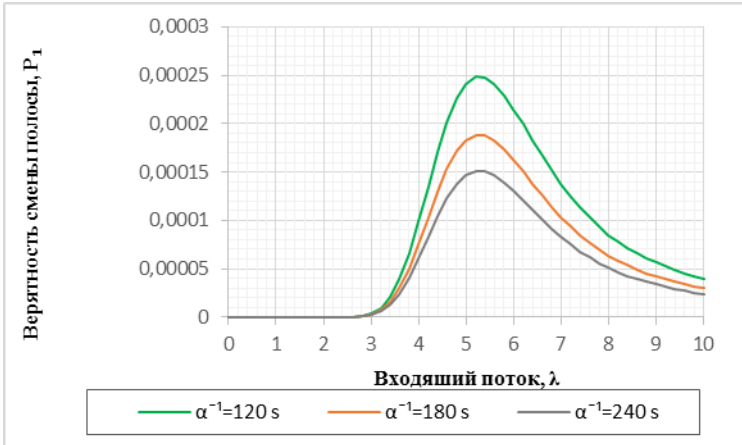


Рис. 5. Вероятность смены полосы обслуживания при изъятии полосы совместного использования для различных значений α^{-1}

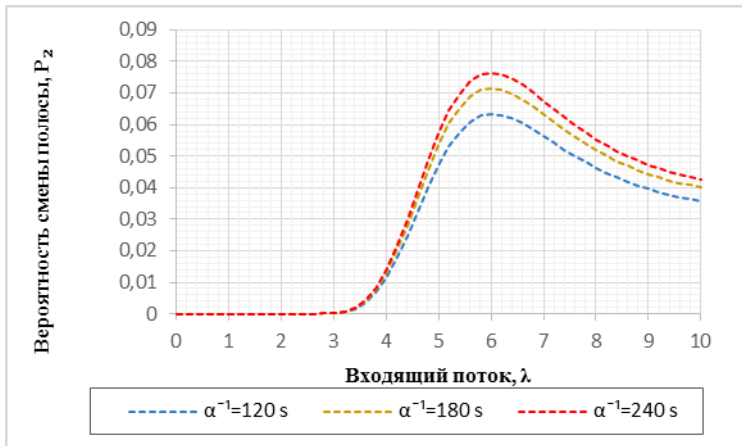


Рис. 6. Вероятность смены полосы обслуживания при доступной полосе совместного использования для различных значений α^{-1}

Выводы

В данной статье разработаны две модели схем совместного использования ресурсов оператором-арендатором и владельцем – с непрерывным обслуживанием на полосе частот совместного использования и перенаправлением пользователей на обслуживание на индивидуальную полосу оператора. Модели были построены в виде СМО с одновременными отказами ненадежных приборов, надежными приборами не толерантным к задержкам трафиком. Для примера численного анализа был использован сценарий воздушной телеметрии. Результаты показали преимущество первой модели - без смены полосы обслуживания.

Литература

1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2015–2020 // 2016.
2. *Andrews J., Buzzi S., Choi W., Hanly S.V., Lozano A., Soong A.C.K., Zhang J.C.* What will 5G be? // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* – 2014 – Vol. 32 – pp. 1065-1082
3. *Ponomarenko-Timofeev A., Pyattaev A., Andreev S., Koucheryavy Ye., Mueck M., Karls I.* Highly dynamic spectrum management within licensed shared access regulatory framework // *IEEE Communications Magazine* – 2015 – Vol. 54 – No. 3 – pp. 100-109
4. *Shorgin S.Y., Samouylov K.E., Gudkova I.A., Galinina O.S., Andreev S.D.* On the benefits of 5G wireless technology for future mobile cloud computing // In: 1st International Science and Technology Conference «Modern Networking Technologies (MoNeTec): SDN & NFV – 2014 – pp. 151-154 ().
5. *Buckwitz K., Engelberg J., and Rausch G.* Licensed Shared Access (LSA) – regulatory background and view of Administrations // In: CROWNCOM (invited paper) – 2014 – pp. 413-416
6. *Ahokangas P., Matinmikko M., Yrjola S., Mustonen M., Luttinen E., Kivimäki A., Kemppainen J.* Business models for mobile network operators in Licensed Shared Access (LSA) // In: DYSPAN – 2014 – pp. 407-412

7. *Gomez-Miguel I., Avdic E., Marchetti N., Macaluso I., and Doyle L.E.* Cloud-RAN platform for LSA in 5G networks – tradeoff within the infrastructure // In: Communications, Control and Signal Processing – 2014 – pp. 522–525
8. *Borodakiy V.,Y., Samouylov K.,E., Gudkova I.,A., Ostriкова D.,Y., Ponomarenko A.A., Turlikov A.,M., Andreev S.D.* Modeling unreliable LSA operation in 3GPP LTE cellular networks // In: 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2014 – 2014 – pp. 490-496
9. *Gudkova I.A., Samouylov K.E., Ostriкова D.Y., Mokrov E.V., Ponomarenko-Timofeev, A.A., Andreev S.D., Koucheryavy Y.A.* Service failure and interruption probability analysis for Licensed Shared Access regulatory framework // In: 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2015 – 2015 – pp. 123-131

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Разумов А.А., к.т.н Киричек Р.В.

Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
gagarn@bk.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования влияния преднамеренных электромагнитных импульсов на беспроводные каналы передачи данных Интернета вещей на примере стандарта IEEE 802.11ac. Исследования сравниваются с данными полученными в имитационной модели, разработанной в Matlab. Делаются выводы о тождественности экспериментальных данных.

Ключевые слова: ПД ЭМВ, интернет вещей, канал связи, воздействие, ошибка.

Введение

Основной целью проведенных реальных экспериментов являлась проверка корректности разработанной имитационной модели и ее применимости для выработки практических рекомендаций для повышения помехозащищенности.

Для этого необходимо было использовать типичные устройства передачи данных канала 802.11ac (были использованы Wi-Fi роутеры), генератор СКИ (сверхкоротких импульсов) и устройства для анализа линии связи. Ниже показана схема эксперимента:

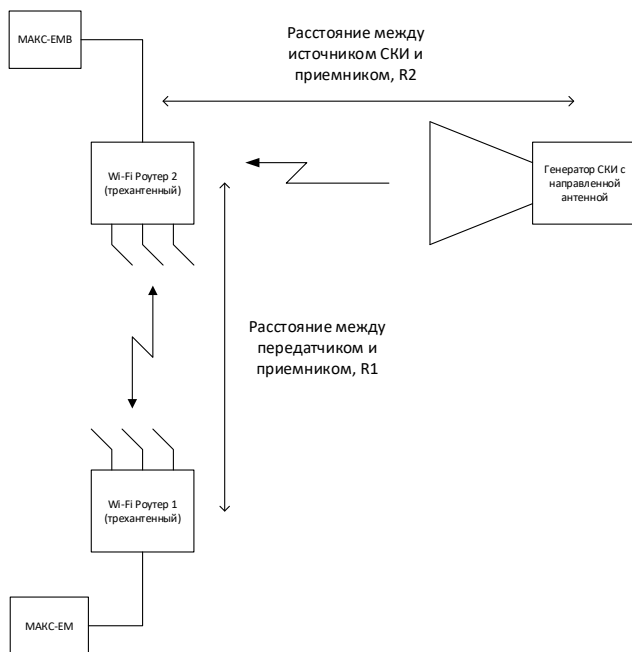


Рис. 1 Схема эксперимента по определению степени влияния СКИ на канал связи стандарта 802.11ac

Модель использованных Wi-Fi роутеров – TP-LINK AC1350. В качестве генератора СКИ использовался генератор ГСКИ-10. Его параметры приведены в таблице 1.

Таблица. 1 технические характеристики генератора СКИ, использованного в эксперименте

Напряженность поля на расстоянии 10м от генератора	7.7×10^3 В/м
Длительность импульса	250 пс
Полоса частот	300МГц-12ГГц
Ширина главного лепестка диаграммы направленности рупорной антенны	20°
Частота следования импульсов	Перестраиваемая, 1-10 кГц

В качестве тестеров сетей использовались анализаторы пакетных сетей МАКС-ЕМ и МАКС-ЕМВ [1] рис.2. Их основными особенностями являются: генерация и анализ трафика на канальном, сетевом и транспортном уровнях на двух интерфейсах одновременно, тестирование в соответствии с рекомендацией RFC-2544, функция шлейфа на физическом, канальном и сетевом уровнях, сбор и отображение статистической информации по принимаемому и передаваемому трафику с разделением по типам и размерам кадров, а также по ошибочным кадрам и т.д.

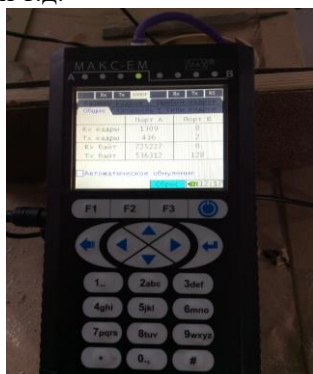


Рис. 2 Внешний вид анализатора МАКС-ЕМ

Сравнение экспериментальных данных с данными моделирования

Для каждого эксперимента на реальном оборудовании были проведены серия численных экспериментов по имитационному моделированию с использованием модели (в пакете Matlab).

Следует отметить, что задачи обеспечить идентичные условия в численном и реальном эксперименте не ставилось. Такую задачу имело смысл бы ставить при проведении экспериментов в строго контролируемых условиях, в частности, при фиксированной геометрии помещения, строго определенных режимах передачи.

В проведенных в реальности экспериментах эти условия не соблюдались (и такие задачи вообще не ставились), ввиду того что целью была проверка воздействия СКИ в условиях, приближенных к типичным условиям передачи данных в интернете вещей. Таким образом, соотношение уровня сигнала и помехи для каждого измерения могло быть оценено лишь приблизительно. Кроме того, передатчик может менять режим передачи "на лету", адаптируясь к помеховой обстановке по некоторому внутреннему алгоритму, тогда как при имитационном моделировании для каждой серии измерений задавался определенный режим работы передатчика.

Эксперимент 1:

В эксперименте 1 менялось расстояние между передатчиком и приемником 802.11, а также генератором СКИ и приемником 802.11. Расстояние от генератора СКИ до приемника во всех случаях выбиралось достаточно большим, чтобы исключить временный или постоянный выход из строя элементов радиоприемных цепей приемника (во всех случаях часть пакетов доставлялась без ошибок), но вместе с тем достаточно маленьким (в сравнении с расстоянием между передатчиком и приемником 802.11) чтобы влияние импульсных помех было много больше влияния белого шума. Во всех случаях при выключенном генераторе СКИ все пакеты доставлялись без ошибок (PER=0).

Эксперимент 2:

В эксперименте 2 осуществлялось изменение частоты следования помехи при разном размере поля данных и постоянных прочих параметрах.

Эксперимент 3:

В эксперименте 3 осуществлялось изменение размера поля данных в условиях затрудненной передачи при отсутствии прямой видимости между приемником и передатчиком 802.11 и минимальной скорости передачи.

Вывод

В значительной степени результаты эксперимента в целом хорошо коррелируют с результатами имитационного моделирования. Наблюдается слабая зависимость вероятности ошибки пакета от размера поля данных PER(Ndata), с плавным трендом к повышению. При минимальных значениях размера поля данных вероятность ошибки сравнительно резко снижается, но остается высокой.

Литература

1. *Пименов П.Н.*, «Метод оценки помехоустойчивости средств широкополосного радиодоступа к воздействию сверхкоротких электромагнитных импульсов. Дисс. к.т.н.» Москва, 2015.
2. НПП "Кометех", «Тестер-анализатор пакетных сетей МАКС-ЕМ: Руководство по эксплуатации совмещенное с паспортом МБСЕ.468212.004 РЭ,» Санкт-Петербург, 2012.
3. *Разумов А.А., Киричѐк Р.В.* Исследование влияния преднамеренных электромагнитных воздействий на каналы связи Интернета вещей // Успехи современной науки и образования. — 2016. — Т. 5. — № 10. — С. 111–116.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКВОЗНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТИ ВСМР³⁸

Самуйлов К.Е., Гайдамака А.А., Халина В.А., Поповская Н.О.

Российский университет дружбы народов,
samuylov_ke@rudn.university, aagajdamaka@sci.pfu.edu.ru,
khalina_va@rudn.university, propovskaya@sci.pfu.edu.ru

Из-за роста конкуренции на телекоммуникационном рынке поставщики услуг связи стремятся постоянно улучшать качество и снижать затраты. Эффективные бизнес-процессы, ориентированные на клиента, являются ключевым фактором успеха для достижения этой цели. Созданию таких процессов способствуют стандарты, разработанные глобальной телекоммуникационной отраслевой ассоциацией TM Forum и направленные на решение различных отраслевых вопросов управления бизнесом [1]. Расширенная карта бизнес-процессов телекоммуникационной компании (eTOM) является одной из основных моделей стандартов TM Forum Framework и лучшим набором методов. Расширенная карта бизнес-процессов выявляет и вводит иерархическую структуру практически во все виды деятельности, которые могут включать в себя бизнес-процессы телекоммуникационных компаний. Таким образом обеспечивается комплексный набор стандартных составных блоков для сквозных бизнес-процессов. Также один из стандартов TM Forum посвящен ключевым показателям эффективности бизнес-процессов. Предложен метод оценки некоторых стандартных бизнес-метрик и других важных бизнес-показателей с

³⁸ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

использованием сети ВСМР [2], которая объединяет стохастические модели нескольких сквозных бизнес-процессов. Методы теории массового обслуживания и сетей массового обслуживания были использованы для подсчета пропускной способности и оценки задержек относительно различных аспектов бизнес-операций. В нашей предыдущей работе отдельный сквозной бизнес-процесс был смоделирован как открытая сеть ВСМР [3]. Теперь же, мы предлагаем подход к моделированию нескольких сквозных бизнес-процессов в совокупности. В работе введены математические обозначения объединенной модели, представлена модель из пяти сквозных бизнес-процессов как открытая сеть ВСМР. Также показано то, как модель может быть использована для оценки ряда важных бизнес-метрик. Наш подход позволяет оценить не только показатели эффективности, связанные со временем выполнения операции, но и отражает распределение ресурсов между бизнес-процессами и задержки, возникающие связи с этим распределением. Получены стационарные вероятности для объединенной модели и рассмотрены показатели эффективности системы, которые связаны со стандартными бизнес-метриками. Также приведен простой численный пример.

Ключевые слова: сквозные бизнес-процессы, бизнес-метрики, сеть массового обслуживания, сеть ВСМР.

Литература

1. TM Forum Framework. Retrieved from <https://www.tmforum.org/tm-forum-framework/> (2017).

2. *Baskett F., Chandy K. M., Muntz R. R., and Palacios F. G.* Open, Closed, and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers // *Journal of the ACM.* – Vol. 22, No. 2. – 1975. – Pp. 248-260.
3. *Samouylov K., Gaidamaka Y., Zaripova E.* Analysis of Business Process Execution Time with Queueing Theory Models. In: *Information Technologies and Mathematical Modelling (ITMM 2016) - Queueing Theory and Applications.* Communications in Computer and Information Science, vol 638. Springer, Cham (2016).

GENERALIZED KAPITZA PENDULUM AND STABILITY ANALYSIS

Sevastianov L.A., Vassilyeva D.

RUDN University,
sevast@sci.pfu.edu.ru

An one-body generalization of the Kapitza pendulum is considered. It is shown that this system is dynamically stable to the harmonic vertical and horizontal forced oscillations of the suspension with finite frequencies and amplitudes. Lyapunov stability analysis for this system was applied.

Key words: Kapitza pendulum, stability analysis.

Introduction

Kapitza's pendulum is a rigid pendulum in which the pivot point vibrates in a vertical direction, up and down. The unique feature of the Kapitza pendulum is that the vibrating suspension can cause it to balance stably in an inverted position. A pendulum with vibrating point is a classical problem of perturbation theory. The phenomenon of stabilisation of the upper vertical position of the pendulum by fast vertical vibrations of the suspension point was discovered by A. Stephenson [1-2]. P.L.Kapitza has developed a method of separation of slow and fast motions for the pendulum [3-4]. Different aspects of this problem were discussed in many publications [5-7]. In this work are investigated generalizations to Kapitza's pendulum whose suspension point moves in the vertical and horizontal planes. It was studied Lyapunov stability for this pendulum.

Lyapunov stability analysis for the generalized Kapitza pendulum

Let l and m be length of the massless rod and mass of the bob for this pendulum. Let $x(t)$ and $y(t)$ be horizontal and vertical Cartesian coordinates of the suspension point. Denote by $\theta(t)$ the angle between the rod of the pendulum and the vertical. In this case we can written the coordinates of bob in the form:

$$x(t) = l \sin \theta(t) + a \sin \omega_1 t,$$

$$y(t) = l \cos \theta(t) + b \sin \omega_2 t,$$

where ω_1 and ω_2 are the frequencies of the harmonic vertical and horizontal forced oscillations of the suspension, a and b are amplitudes of the forced oscillations along the axes x and y , and

$$\dot{x}(t) = l \cos \theta(t) \dot{\theta}(t) + a \omega_1 \cos \omega_1 t,$$

$$\dot{y}(t) = -l \sin \theta(t) \dot{\theta}(t) + b \omega_2 \cos \omega_2 t,$$

where $v_x = \dot{x}$, $v_y = \dot{y}$ are velocities along each of the axes. Then the kinetic and potential energies of the bob are

$$K = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) = \frac{m}{2} (l \cos \theta(t) \dot{\theta}(t) + a \omega_1 \cos \omega_1 t)^2 +$$

$$+ (-l \sin \theta(t) \dot{\theta}(t) + b \omega_2 \cos \omega_2 t)^2,$$

$$V = mg y(t) = mg (l \cos \theta(t) + b \sin \omega_2 t),$$

The total energy of the system is given by the sum of the kinetic and potential energies

$$E = K + V = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + mg (l \cos \theta(t) + b \sin \omega_2 t),$$

and then Lagrangian of the system has the form:

$$L = K - V = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - mg (l \cos \theta(t) + b \sin \omega_2 t).$$

The equation of the pendulum motion has the form:

$$\ddot{\theta}(t) - \frac{a\omega_1^2 \sin \omega_1 t}{l} \cos \theta + \frac{b\omega_2^2 \sin \omega_2 t - g}{l} \sin \theta = 0.$$

We can rewrite this equation in the form of the system differential equations first order

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \varphi(t), \\ \dot{\varphi} = l^{-1} a \omega_1^2 \sin \omega_1 t \cos \theta(t) - l^{-1} (b \omega_2^2 \sin \omega_2 t - g) \sin \theta(t), \end{cases}$$

where φ is an auxiliary variable.

Conclusions

We show that the generalized Kapitza pendulum is dynamically stable to periodic drives with finite frequency and amplitude. Lyapunov stability analysis for this system is studied.

The publication was prepared with the support of the "RUDN University Program 5-100".

References

1. *Stephenson A.* On induced stability // Philosophical Magazine Series. – 6. – 1908. – 15. - Pp. 233-6.
2. *Stephenson A.* On a new type of dynamical stability // Mem Proc Manch Lit Phil Soc. - 52 (8). – 1908. – Pp. 1-10.
3. *Kapitza P.L.* Dynamic stability of a pendulum with oscillating point of suspension // Sov. Phys. – JETP. - 21. - 1951. - Pp. 588-597.
4. *Kapitza P.L.* A pendulum with vibrating point of suspension // Usp Phys Nauk. - 44. – 1951. - Pp. 7-20.
5. *Levi M.* Geometry of Kapitza's potential. Nonlinearity // 11. - 1998. - Pp. 1365-8.
6. *Bardin B.S., Markeyev A.P.* On the stability of equilibrium of a pendulum with vertical oscillations of its suspension point // J. Appl. Math. Mech. -59. -1995. - Pp. 879-86.
7. *Ovseyevich A.I.* The stability of an inverted pendulum when there are rapid random oscillations of the suspension point // J. Appl. Math. Mech. – 70. – 2006. - Pp. 761-8.

ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ЗАДАЧИ УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПО РАДИОКАНАЛУ СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА³⁹

Семенова О.В., Власкина А.С.

Российский университет дружбы народов,
okvsemenova@mail.ru, vlaskina.anastasia@yandex.ru.

Работа описывает частные случаи пространства состояний марковской цепи, описывающей процедуру установления соединения по радиоканалу случайного доступа.

Ключевые слова: радиоканал случайного доступа, вероятность установления соединения, пространство состояний, коллизии, преамбула.

Введение

В настоящее время актуальной задачей исследования сетей связи является установление соединения между пользователем и базовой станцией через радиоканал случайного доступа. Математическая модель установления соединения представляет собой передачу четырех сигнальных сообщений, при этом каждое из них может быть не принято по причине коллизий или превышения количества возможных ретрансляций. Одной из главных характеристик, исследуемой в процедуре установления соединения, является вероятность успешного установления соединения, которая зависит от вероятности коллизий при передаче трех сообщений из четырех, и количества возможных ретрансляций.

Вероятность установления соединения

В работах [1, 2] поставлена задача оценки характеристик для процедуры установления соединения. В работе [1] описаны возможные ретрансляции для сообщений 1, 3, 4. В работе [2] приведены решения для возможных ретрансляций для 1 и 3 сообщений. Данная работа продолжает аналитические

³⁹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

исследования, добавляя возможные ретрансляции для 4-го сообщения, используя методы [2]. Для описания модели введем следующие события:

$$A_1 = \{\text{Msg1 передан успешно}\}, \bar{A}_1 = \{\text{Msg1 заблокирован}\},$$

$$A_3 = \{\text{Msg3 передан успешно}\}, \bar{A}_3 = \{\text{Msg3 заблокирован}\},$$

$$A_4 = \{\text{Msg4 передан успешно}\}, \bar{A}_4 = \{\text{Msg4 заблокирован}\},$$

и вероятности этих событий:

$$P(A_1) = 1 - p_1 = \bar{p}_1, P(\bar{A}_1) = p_1, \quad (1)$$

$$P(A_3) = 1 - p_3 = \bar{p}_3, P(\bar{A}_3) = p_3, \quad (2)$$

$$P(A_4) = 1 - p_4 = \bar{p}_4, P(\bar{A}_4) = p_4, \quad (3)$$

где p_i – вероятности коллизий для сообщений. Процедура является успешной, если произойдут события A_1 , затем A_3 , и, наконец, A_4 .

Процедуре установления соединения соответствует дискретная цепь Маркова:

$$\{\xi_i, i = 0, \dots, N_1 \cdot N_3 \cdot N_4 + 1\} \quad (4)$$

где N_1 , N_3 и N_4 – максимальное количество попыток отправки Msg1, Msg3, Msg4 соответственно.

Состояние системы в момент времени $t \geq 0$ описывается случайным процессом $X(t)$ с пространством состояний

$$X = \left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} n_1, m_1, k_{13}, k_{14}, k_1 \\ n_3, m_3, l_3 \\ n_4, m_4 \end{array} \right), n_i = \overline{N_i}, 0 \leq m_i \leq n_i, \\ 0 \leq m_i \leq 1, i = \{3, 4\}, 0 \leq k_{1j} \leq m_1, k_1 \in \{0, 1\}, \\ j = \{3, 4\}, k_{13} + k_{14} + k_1 = m_1, k_{14} \leq l_3 \leq k_{14} \cdot N_3 \end{array} \right\} \quad (5)$$

где n_1 – число переданных Msg1,

m_1 – число успешно переданных Msg1,

k_{13} – число успешно переданных Msg1, после которых соединение не установилось по причине блокировки всех Msg3,

k_{14} – число успешно переданных Msg1, после которых соединение не установилось из-за блокировки Msg4 по причине достижения порога N_4 ,

k_1 – индикатор, показывающий текущее состояние последнего переданного Msg1, при успешной последней передаче равно 1, 0 – при коллизии,

n_3 – число переданных Msg3 при последнем успешном Msg1,

m_3 – число успешно переданных Msg3 при последнем успешном Msg1,

l_3 – число переданных Msg3 (успешных и неуспешных) после которых заблокированы Msg4 по причине достижения порога N_4 ,

n_4 – число переданных Msg4 при последнем успешном Msg1,

m_4 – число успешных Msg4 при последнем успешном Msg1.

В частном случае $N_1 = N_3 = N_4 = 2$ пространство состояний будет включать 20 успешных, 16 неудачных состояний. При $N_1 = 4, N_3 = N_4 = 2$ 140 успешных состояний, 80 неудачных.

При $N_1 = 10, N_3 = N_4 = 5$ 55000 успешных, 5005 неудачных.

Вероятность попадания в состояние:

$$P_{\binom{n_1, m_1, k_{13}, k_{14}, k_1}{n_3, m_3, l_3, n_4, m_4}} = p_1^{n_1 - m_1} (1 - p_1)^{m_1} p_3^{N_3 k_{13} + l_3 - k_{14} + n_3 - m_3} (1 - p_3)^{k_{14} + m_3} \times \\ \times p_4^{N_4 k_{14} + n_4 - m_4} (1 - p_4)^{m_4} C_{n_1 - 1}^{k_{13} + k_{14}} C_{k_{13} + k_{14}}^{k_{13}} \quad (6)$$

Обозначим пространство состояний успеха

$$X_{усп} = \left\{ \binom{n_1, m_1, k_{13}, k_{14}, k_1}{n_3, m_3, l_3, n_4, m_4} \in X : k_1 = m_3 = m_4 = 1 \right\} \quad (7)$$

Вероятность успешного установления соединения находится по формуле (8).

$$P_{\text{success}} = \sum_{\substack{(n_1, m_1, k_{13}, k_{14}, k_1) \\ (n_2, m_2, l_3) \\ (n_4, m_4)}} P_{\substack{(n_1, m_1, k_{13}, k_{14}, k_1) \\ (n_2, m_2, l_3) \\ (n_4, m_4)}} = \frac{(1-p_4^{N_4})(1-p_3^{N_3})}{1-p_3} \times$$

$$\times \left[\frac{1 - (p_1 + (1-p_1)(p_3^{N_3} + p_4^{N_4}(1-p_3)))^{N_1}}{(1-p_3^{N_3} - p_4^{N_4}(1-p_3))} - p_3 \frac{1 - \left(p_1 + (1-p_1) p_3^{N_3} \left(1 + \frac{p_4^{N_4}(1-p_3)}{p_3} \right) \right)^{N_1}}{\left(1 - p_3^{N_3} \left(1 + \frac{p_4^{N_4}(1-p_3)}{p_3} \right) \right)} \right] \quad (8)$$

На рис. 1 представлена зависимость вероятности установления соединения от вероятности блокировки сообщений для частных случаев $[N_1 = N_3 = N_4 = 2]$, $[N_1 = 4, N_3 = N_4 = 2]$, $[N_1 = 10, N_3 = N_4 = 5]$.

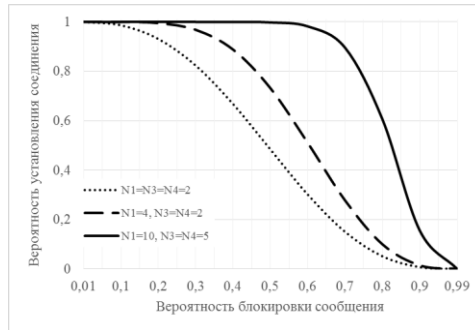


Рис. 1. Зависимость вероятности установления соединения от вероятности коллизий

Выводы

При применении описанной выше процедуры важным является количество возможных ретрансляций сообщений. Увеличение количества возможных ретрансляций также увеличивает вероятность успешного установления соединения. Среди рассматриваемых в данной работе возможных комбинаций оптимальной является конфигурация $N_1 = 10, N_3 = N_4 = 5$. При таком наборе ограничений

достигается максимальная вероятность установления соединения.

Литература

1. *Chia-Hung Wei, Giuseppe Bianchi, and Ray-Guang Cheng* Modeling and Analysis of Random Access Channels With Bursty Arrivals in OFDMA Wireless Networks // IEEE Transactions on Wireless Communications – 2015. – Pp. 1940–1953.
2. *K. Samouylov, Yu. Gaidamaka, I. Gudkova, E. Zaripova, S. Shorgin* Baseline Analytical Model for Machine-type Communications over 3GPP RACH in LTE-advanced Networks // ISCIS 2016 – CCIS 659 – Pp. 203–213 – 2016 – DOI: 10.1007/978-3-319-47217-1_22

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К РЕСУРСАМ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С СОВМЕСТНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЧАСТОТ⁴⁰

Синицына А.А., Саркер М., Острикова Д.Ю.

Российский университет дружбы народов,
aa.sinitsyna@yandex.ru, murari.sarker@mail.ru,
ostrikova_dyu@rudn.university

В связи с увеличением передаваемого трафика в мобильных сетях возникает проблема нехватки радиоресурсов, необходимых для предоставления пользователям качественных услуг. Одним из возможных решений данной проблемы является разрабатываемая система совместного использования лицензированного спектра частот LSA (Licensed Shared Access). В докладе описаны две возможные модели распределения радиоресурсов при использовании системы LSA в беспроводных сетях 4, 5-го поколений, основанные на прерывании обслуживания пользователей. пользователей.

Ключевые слова: LTE, совместное использование радиочастот, LSA, прерывание обслуживания.

Введение

В настоящее время в мире продолжается активное распространение телекоммуникационных беспроводных сетей последующих поколений на базе технологии LTE, поддерживающих высокие скорости передачи данных, что позволяет операторам предоставлять широкий перечень мультимедийных услуг. Стремительный рост пользователей мобильных сетей и их потребность в высокоскоростных услугах, приводят к экспоненциальному росту трафика, передаваемого в мобильных сетях. Таким образом, возникает острая необходимость в дополнительных ресурсах.

⁴⁰ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Одним из решений проблемы нехватки ресурсов является находящаяся в разработке при поддержке Европейской комиссии система совместного использования лицензированного спектра LSA [1,2], позволяющая более эффективно использовать имеющиеся радиоресурсы.

Работа системы LSA заключается в совместном использовании одной и той же полосы частот по крайней мере двумя сторонами – владельцем лицензированного спектра частот, который он использует не постоянно, а с некоторыми перерывами, и оператором–арендатором, которому необходим дополнительный спектр для реализации качественного обслуживания пользователей. Таким образом, в те моменты времени, когда частотный спектр не используется, владелец может сдавать его в аренду.

В докладе представлены две схемы совместного использования радиочастот оператором-арендатором и владельцем. Обе модели реализованы на основе прерывания обслуживания пользователей арендованной полосы [3], в случае необходимости освобождения ресурсов для владельца. При этом оператор перенаправляет заявки, которые обслуживаются на арендованной полосе, на полосу индивидуального использования, если там имеются свободные ресурсы, если свободных ресурсов нет, то обслуживание заявок прерывается. Различие моделей заключается в том, что в первой модели заявки непрерывно обслуживаются на той полосе, ресурсы которой изначально заняли, а во второй – заявки, обслуживаемые на полосе совместного использования, перенаправляются на индивидуальную полосу, если на ней появляются свободные ресурсы.

Описание моделей

Полоса совместного использования может находиться в двух режимах: активном, когда ресурсы доступны как владельцу, так и так и арендатору, и пассивном, когда ресурсы доступны только владельцу. Пусть емкость полосы индивидуального использования – C_1 , а емкость полосы совместного

использования – C_2 . Для обеих моделей входящий поток заявок имеет пуассоновское распределение с параметром λ . Среднее время обслуживания μ^{-1} . Управление доступом в обеих моделях реализовано следующим образом: по требованию владельца полоса совместного использования радиочастот с интенсивностью α переходит в пассивный режим; переход в активный режим, т.е. восстановление полосы совместного использования, осуществляется с интенсивностью β . При переходе полосы совместного использования в пассивный режим заявки, обслуживаемые на радиочастотах этой полосы, перенаправляются на полосу индивидуального использования, если там имеются свободные ресурсы, в противном случае обслуживание этих заявок прерывается. Состояние системы для обеих описывает вектор (n_1, n_2, s) , где n_1 – число заявок на полосе индивидуального использования, n_2 – на полосе совместного использования, s – состояние полосы совместного использования, $s = 0$, если полоса находится в пассивном режиме и $s = 1$, если – в активном.

Для первой модели – модели с непрерывным обслуживанием заявки на той полосе, на которую она поступила, пространство состояний имеет вид:

$$X = \{n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, \dots, C_2, s = 1 \vee n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, s = 0\}$$

для второй модели – модели с перенаправленным обслуживанием заявки:

$$X = \left\{ \begin{array}{l} n_1 = 0, \dots, C_1 - 1, n_2 = 0, s = 1 \vee \\ n_1 = C_1, n_2 = 0, \dots, C_2, s = 1 \vee n_1 = 0, \dots, C_1, n_2 = 0, s = 0 \end{array} \right\}$$

Правила приема и обслуживания заявок

В обоих случаях, при поступлении новой заявки в систему, возможны следующие варианты:

- заявка обслуживается на полосе индивидуального использования, если на ней имеются свободные ресурсы;
- заявка обслуживается на полосе совместного использования, если на полосе индивидуального использования нет свободных ресурсов, а полоса

совместного использования находится в активном режиме и имеет свободные ресурсы;

- заявка блокируется, если:
 - a. полоса совместного использования находится в пассивном режиме, а на полосе индивидуального использования нет свободных ресурсов;
 - b. полоса совместного использования находится в активном режиме, но ни она, ни полоса индивидуального использования не имеют свободных ресурсов на полосе индивидуального использования нет свободных ресурсов.

С учетом сформулированных правил приема и обслуживания заявок элементы матриц интенсивностей переходов для первой модели, для всех $(n_1, n_2, s), (n_1', n_2', s') \in X$ определяются соответственно следующим образом:

$$a((n_1, n_2, s)(n_1', n_2', s')) = \begin{cases} \alpha, & \text{если } n_1' = \min(C_1, n_1 + n_2), n_2' = 0, s' = 0, s = 1, \\ \beta, & \text{если } n_1' = n_1, n_2' = n_2 = 0, s' = s + 1, s = 1, \\ \lambda, & \text{если } n_1' = n_1 + 1, n_2' = n_2, s' = s, n_1 < C_1, \\ \text{или } n_1' = n_1 = C_1, n_2' = n_2 + 1, s' = s = 1, n_2 < C_2, \\ n_1\mu, & \text{если } n_1' = n_1 - 1, n_2' = n_2, s' = s, n_1 > 0, \\ n_2\mu, & \text{если } n_1' = n_1, n_2' = n_2 - 1, s' = s = 1, n_2 = 0, \\ *, & \text{если } n_1' = n_1, n_2' = n_2, s' = s, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где,

$$* = -(s\alpha + (1 - s)\beta) + \lambda I\{n_1 < C_1\} + \lambda I\{n_1 = C_1, s n_2 < s C_2\} + n_1\mu I\{n_1 > 0\} + n_2\mu I\{n_2 > 0\}$$

С учетом сформулированных правил приема и обслуживания заявок элементы матриц интенсивностей переходов для второй модели, для всех $(n_1, n_2, s), (n_1', n_2', s') \in X$ определяются соответственно следующим образом:

$$a((n_1, n_2, s)(n_1', n_2', s')) = \begin{cases} \alpha, & \text{если } n_1' = \min(C_1, n_1 + n_2), n_2' = 0, s' = 0, s = 1, \\ \beta, & \text{если } n_1' = n_1, n_2' = n_2 = 0, s' = 1, s = 0, \\ \lambda, & \text{если } n_1' = n_1 + 1, n_2' = n_2, s' = s, n_1 < C_1, \\ & \text{или } n_1' = n_1 = C_1, n_2' = n_2 + 1, s' = s = 1, n_2 < C_2, \\ n_1\mu, & \text{если } n_1' = n_1 - 1, n_2' = n_2 = 0, s' = s, n_1 > 0, \\ n_1\mu + n_2\mu, & \text{если } n_1' = n_1 = C_1, n_2' = n_2 - 1, s' = s = 1, n_2 = 0, \\ *, & \text{если } n_1' = n_1, n_2' = n_2, s' = s, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где,

$$* = -(s\alpha + (1 - s)\beta) + \lambda\{n_1 < C_1\} + \lambda\{n_1 = C_1, sn_2 < sC_2\} + n_1\mu\{n_1 > 0\} + n_2\mu\{n_2 > 0\}$$

Выводы

В работе предложена модель сотовой сети 3GPP LTE с применением системы совместного использования радиочастотного спектра LSA. В дальнейшем планируется получить формулы для расчета основных вероятностных характеристик модели – вероятности блокировки и вероятности прерывания обслуживания заявки при отключении полосы совместного использования, а также провести численный анализ этих показателей эффективности.

Литература

1. Gudkova I.A., Samouylov K.E., Ostrikova D.Y., Mokrov E.V., Ponomarenko-Timofeev A.A., Andreev S.D., and Koucheryavy Y.A. Service failure and interruption probability analysis for Licensed Shared Access regulatory framework // Proc. of the 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2015. – USA, New Jersey, Piscataway, IEEE. – 2015. – P. 123–131.
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. – IEEE. – 2014. – P. 490–496.

3. *Borodakiy V.Y., Samouylov K.E., Gudkova I.A., and Markova E.V.* Modelling and performance analysis of pre-emption based radio admission control scheme for video conferencing over LTE // Proc. of the 6th International Conference ITU Kaleidoscope: Living in a converged world - impossible without standards? K-LCW-2014. – Switzerland, Geneva, ITU. – 2014. – P. 53–59.

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ РЕСУРСАМИ СОВМЕСТНОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕТИ LTE⁴¹

Скрипкин В.С., Острикова Д.Ю.

¹Российский университет дружбы народов,
vsskripkin@gmail.com, ostrikova_dyu@rudn.university

Построена математическая модель распределения нагрузки между ресурсами совместного и индивидуального использования в сети 3GPP LTE.

Ключевые слова: LTE, LSA, прерывание обслуживания, СМО.

Введение

В условиях практически повсеместного внедрения современных технологий и инноваций, растет уровень зависимости человечества от Интернета, а число пользователей увеличивается с каждым днем. В связи с этим также нарастает количество устройств, работающих круглосуточно по принципу M2M (Machine-to-Machine, межмашинное взаимодействие), которым не требуется постоянное внимание человека. Однако, возникает проблема чрезмерной нагрузки на сеть при работе множества подобных устройств. Одним из предложенных решений является технология LSA (Licensed Shared Access). Она реализуется путем привлечения дополнительных ресурсов, а также совместного их использования арендатором и владельцем под контролем третьих лиц. Приоритет получает владелец данного ресурса. Арендатор получает контроль над ресурсами только на определенное договором время, что может вызвать прерывание обслуживания пользователей при возврате ресурсов владельцу.

Математическая модель

На систему, состоящую из C_1 надежных приборов и C ненадежных приборов, а также очереди размера r , поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью λ . Заявки

⁴¹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

занимают сначала надежные приборы. В случае отсутствия свободных надежных приборов, заявки занимают ненадежные приборы. Предполагается, что находящиеся на ненадежных приборах заявки сохраняют за собой место в очереди. При этом ненадежные приборы могут одновременно отказывать с интенсивностью α , а затем восстанавливаться через некоторое время с интенсивностью β . Отказ и восстановление приборов распределены по экспоненциальному закону. Если в момент поступления заявки в системе есть свободные приборы, то заявка 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 ненадежные приборы отказывают, то обслуживающиеся на них заявки немедленно занимают свободные надежные приборы и на них дообслуживаются. В случае отсутствия свободных мест на надежных приборах заявки переходят в очередь для ожидания. После восстановления ненадежных приборов, либо появления свободных мест на надежных приборах прерванные заявки продолжают обслуживаться с того места, на котором были прерваны.

Пусть $N_1(t)$ – число заявок на надежных приборах в момент t , $N(t)$ – число заявок на ненадежных приборах в момент t , $M(t)$ – число заявок в очереди в момент t , $S(t)$ – состояние ненадежных приборов в момент t : $S(t) = 1$, если все приборы исправны в момент t , $S(t) = 0$, если все приборы неисправны в момент t . Тогда функционирование системы описывает составной марковский СП.

Вычислив распределение $p(n_1, n, m, s)$, $(n_1, n, m, s) \in Z$, можно рассчитать основные ВВХ рассматриваемой модели:

- вероятность I того, что обслуживание хотя бы одной заявки на ненадежном приборе будет прервано;
- вероятность B блокировки заявки;
- вероятность $P\{s=0\}$ того, что ненадежные приборы неисправны;
- среднее число Q заявок в очереди.

$$I = \sum_{n=1}^C \sum_{n_1=C_1-n+1}^{C_1} \frac{\alpha}{\alpha + \lambda + (n + n_1)\mu} p(n_1, n, 0, 1) +$$

$$+ \sum_{m=1}^{r-C-1} \frac{\alpha}{\alpha + \lambda + (C + C_1)\mu} p(C_1, C, m, 1) + \frac{\alpha}{\alpha + (C + C_1)\mu} p(C_1, C, r - C, 1),$$

$$B = p(C_1, 0, r, 0) + p(C_1, C, r - C, 1),$$

$$P\{s=0\} = \sum_{n_1=0}^{C_1} p(n_1, 0, 0, 0) + \sum_{m=1}^r p(C_1, 0, m, 0),$$

$$Q = \sum_{m=1}^r mp(C_1, 0, m, 0) + \sum_{m=1}^{r-C} mp(C_1, C, m, 1).$$

Выводы

Таким образом, в работе была рассмотрена математическая модель распределения нагрузки между ресурсами совместного и индивидуального использования, а также выведены формулы основных вероятностных характеристик.

Литература

1. Тухвинский В.О., Бочечка Г.С. Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания // Электросвязь. – 2014. – № 11. – С. 40–43
2. Gudkova I.A., Samouylov K.E., Ostriкова D.Y., Mokrov E.V., Ponomarenko-Timofeev A.A., Andreev S.D., and Koucheryavy Y.A. Service failure and interruption probability analysis for Licensed Shared Access regulatory framework // Proc. of the 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control

Systems ICUMT-2015. – USA, New Jersey, Piscataway, IEEE. – 2015. – P. 123–131.

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. – IEEE. – 2014. – P. 490–496.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ МНОГОАДРЕСНОГО ТРАФИКА В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ СМО С ТРЕБОВАНИЯМИ СЛУЧАЙНОГО ОБЪЕМА⁴²

Смекалина Е.В., Медведева Е.Г., Гайдамака Ю.В.

*Российский университет дружбы народов,
ekat_smek@mail.ru, egmedvedeva@gmail.com,
gaydamaka_yuv@rudn.university*

Для современных беспроводных сетей актуальной является задача разработки моделей обслуживания многоадресного трафика с помощью СМО с требованиями случайного объема, которые позволяют учитывать технологию мультимедийного трафика, используемую при передаче мультимедийного трафика, и особенности передачи данных в ненадежной среде, которой является радиоканал.

Ключевые слова: мультимедийное, многоадресный трафик, случайные объемы ресурса.

Введение

Прогнозируемое увеличение объема трафика в беспроводных сетях создает высокие требования к пятому поколению мобильных систем (5G) [1, 2]. Согласно отчету компании, Cisco «Наглядный индекс развития сетевых технологий» [1], ежегодный прирост трафика, создаваемый мобильными беспроводными устройствами, составляет 53% и достигнет 30,6 экзабайт в месяц к 2020 г., при этом 70% передаваемого по сети трафика будет трафиком видео. Для передачи такого трафика, предъявляющего высокие требования к пропускной способности сети, известны технологии многоадресной доставки информации (мультимедийного), на основе которых разрабатываются новые протоколы групповой передачи

⁴² Исследование выполнено при поддержке Программы РУДН «5-100» и частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-03608, 16-07-00766.

трафика. Эти протоколы, работающие в беспроводных сетях, должны учитывать ненадежную среду передачи, когда радиосигнал подвергается помехам и затуханию, которые компенсируются с помощью специальных механизмов кодирования и за счет управления мощностью сигнала.

В этих условиях востребованными оказываются модели передачи данных по каналу связи в виде систем массового обслуживания с многоадресным трафиком [3]. Важно, что при моделировании следует учитывать особенности передачи данных в беспроводном канале. В современных беспроводных сетях ширина выделяемой для передачи полосы радиочастот или количество ресурсных блоков определяется многими случайными факторами, основным из которых является расстояние между приемо-передающими устройствами. При перемещении мобильных абонентов в процессе передачи данных это расстояние меняется, также изменяются условия передачи сигнала (рельеф местности, экранирование). Поэтому объем ресурса, выделенный абоненту в момент установления соединения, динамически меняется в процессе предоставления услуги и может отличаться объема, высвобождаемого при завершении ее предоставления. В терминах теории массового обслуживания эти особенности могут быть учтены с помощью моделей ресурсных систем массового обслуживания (СМО) с случайными требованиями заявки к выделяемому для ее обслуживания ресурсу [4-6]. Таким образом, для современных беспроводных сетей задача разработки моделей обслуживания многоадресного трафика с помощью СМО с требованиями случайного объема является актуальной.

Важно, что наряду с трафиком мультимедиа в беспроводных сетях следует учитывать также наличие трафика, создаваемого при предоставлении традиционных услуг, например, речевого трафика, который передается по принципу одноадресной доставки. Построение и исследование таких моделей является задачей дальнейших исследований.

Литература

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020 White Paper. – Cisco, Feb 01, 2016. <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.
2. Ericsson mobility report. – Ericsson, 2016. <https://www.ericsson.com/res/docs/2016/ericsson-mobility-report-2016.pdf>.
3. *Наумов В.А., Самуйлов К.Е., Гайдамака Ю.В.* Мультипликативные решения конечных цепей Маркова: монография. М.: Изд-во РУДН, 2015. – 159 с.
4. *Naumov V., Samuoylov K.* (2016). On relationship between queuing systems with resources and Erlang networks. Informatics and its Applications, 10(3): pp. 9-14.
5. *Naumov V., Samouylov K.* Analysis of multi-resource loss system with state dependent arrival and service rates. Probability in the Engineering and Informational Sciences, 2017 (в печати)
6. *В. А. Наумов, К. Е. Самуйлов, А. К. Самуйлов.* О суммарном объеме ресурсов, занимаемых обслуживаемыми заявками, Автомат. и телемех., 2016, № 8, 125–135; Autom. Remote Control, 77:8 (2016), 1419–1427.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО БИЗНЕС-ПРОЦЕССА⁴³

Смирнова Н. М., Алексеева А. С.

Российский Университет Дружбы Народов,
smirnovanika7@gmail.com, alexeeva.97@mail.ru

В работе представлено моделирование бизнес-процессов в нотации IDEF3, сетях Петри, анализ которых позволяет получить краткую характеристику процессов.

Ключевые слова: нотация IDEF3, сеть Петри, моделирование бизнес-процессов.

Введение

Компании всё чаще сталкиваются с необходимостью автоматизировать процессы, протекающие в их организациях. Особую роль занимает здесь моделирование процессов. Одним из примеров является методология моделирования IDEF3, которая предназначена для описания логики взаимодействия работ и последовательности их выполнения.

Одним из инструмента математического моделирования и исследования сложных систем являются сети Петри. Данный математический аппарат позволяет проанализировать процесс на начальном этапе его создания, проектирования, для своевременной оценки корректности построения процесса и предостережения системы от возможных ошибок, допущенных разработчиками. [1]

Методы моделирования бизнес-процессов

Для моделирования бизнес-процессов существует большое разнообразие методологий и нотаций. В представленной работе будем работать с методологиями: IDEF3, с помощью диаграмм которой возможен анализ сценария любого процесса, а каждый подобный сценарий состоит из описания процесса, который может быть использован для наглядной демонстрации бизнес-функций предприятия, и сети Петри, при использовании

⁴³ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

которых применяются два пути практического применения для проектирования и анализа системы.

В первом случае сети Петри рассматриваются как вспомогательный инструмент для анализа. Первоначально используются общепринятые методы проектирования (например, построение бизнес-процесса в методологии IDEF3), после чего данная система моделируется сетью Петри, по которой в дальнейшем осуществляется анализ.

Второй путь практического применения сетей Петри представляет собой термы сетей Петри, в которых проходит процесс проектирования и определения характеристик. [2]

Моделирование бизнес-процесса «Доставка товара»

На примере бизнес – процесса «Доставка товара» рассмотрим его согласно описаниям методологий и получим результаты анализа характеристик.

Представим модель вышеупомянутого процесса в методологии IDEF3 (рис. 1). [4]

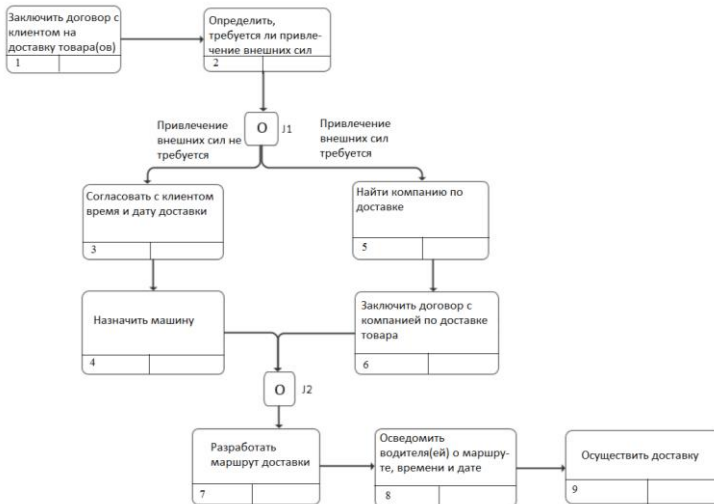


Рис. 4. Модель бизнес-процесса, представленного в методологии IDEF3

На основе данной модели (рис. 1), модель бизнес-процесса «Доставка товара» можно представить в виде сети Петри (рис. 2).

На основе двойственной сети, при переходе к которой структура графа сохраняется, а позиции и переходы меняются местами, можно построить дерево достижимости (рис. 3), проанализировав который, можно получить основные характеристики процесса, следовательно, сделать конкретные выводы относительно него.

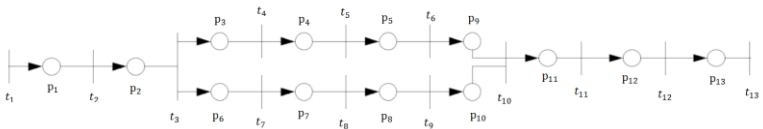


Рис. 2. Модель бизнес-процесса, представленного с помощью сети Петри

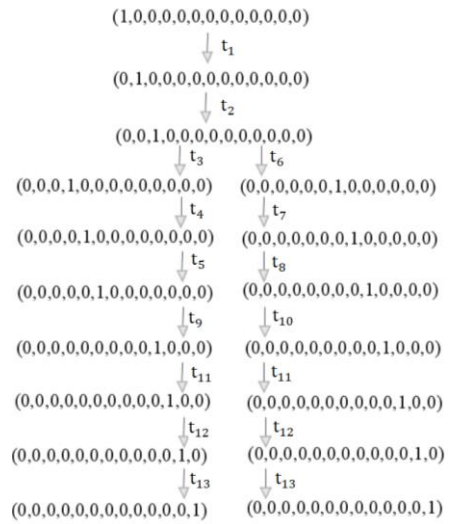


Рис. 3. Дерево достижимости для бизнес-процесса, представленного с помощью сети Петри

Выводы

Проанализировав дерево достижимости (рис. 3), относительного исследуемого бизнес-процесса «Доставка товара» пришли к следующим выводам:

1. Сеть Петри безопасна, так как число фишек в каждой позиции не превышает 1;
2. Сеть Петри ограничена, так как существует такое целое $k(1)$, что число фишек в любой позиции не может превысить $k(1)$, и символ ω отсутствует в ее дереве достижимости;
3. Сеть Петри является L_4 живой, так как t срабатывает в каждой маркировке. Концепция живости позволяет анализировать систему на потенциальную возможность возникновения тупиковых ситуаций;
4. Сеть Петри является сохранной, так как она ни теряет, ни порождает фишки, а просто передвигает их по сети.

Литература

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
2. Котов В.Е. «Сети Петри». М.: Наука, 1984, 160с
3. Волков О.Н. Стандарты и методологии моделирования бизнес-процессов. М.: АСВ, 2000, 145 с.
4. Григорьев Д.И. Моделирование бизнес-процессов предприятия. М.: ИРЦ, 2006, 214 с.

К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ⁴⁴

Смирнова Н. М.

Российский университет дружбы народов,
smirnovanika7@gmail.com

В работе представлен анализ модели бизнес-процесса телекоммуникационной компании, состоящей из семи эталонных клиентоориентированных процессов, стандартизированных глобальной ассоциацией по оцифровке бизнеса TM Forum.

Ключевые слова: карта eТОМ, бизнес-процесс, телекоммуникационная компания, имитационная модель, теория массового обслуживания.

Введение

Ввиду растущей конкуренции на телекоммуникационных рынках по всему миру для операторов связи наиболее важными задачами являются постоянное улучшение своих позиции по соотношению цены и качества, укрепление репутации компании как конкурентоспособной и максимально надёжной для клиентов, принимая во внимание их нестабильное поведение. В этом контексте определение эффективных и ориентированных на клиента бизнес-процессов [2], а также применение различных математических инструментов к ним для получения характеристик функционирования системы [3,4] являются решающими факторами успеха телекоммуникационной компании. Некоммерческий международный консорциум TMForum (TeleManagement Forum) [1] разрабатывает идею эталонных сквозных бизнес-процессов, направленных на повышение качества обслуживания клиентов и эффективность предоставления телекоммуникационных услуг.

Целью работы является применение математических инструментов к модели, представляющей собой совокупность

⁴⁴ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

всех клиенториентированных бизнес-процессов телекоммуникационной компании для того, чтобы можно было оценить качество предоставления услуг телекоммуникационной компании в целом.

Описание бизнес-процессов

Согласно консорциуму TMForum разработаны семь клиенториентированных бизнес-процессов телекоммуникационной компании. Они отображают примеры взаимодействия клиентов с компанией по различным типам обращений. Бизнес-процессы «Запрос – Изменение», «Потребление – Оплата», «Сбой – Решение», «Прекращение – Подтверждение», «Жалоба – Решение», «Запрос – Ответ» и «Заказ – Оплата» включают в себя такие действия, как обработка информационных запросов, продажи, заказ услуг, закрытие обслуживания, изменение услуг, формирование и выставление счетов, обработка проблем и жалоб и другие, рисунок 1.

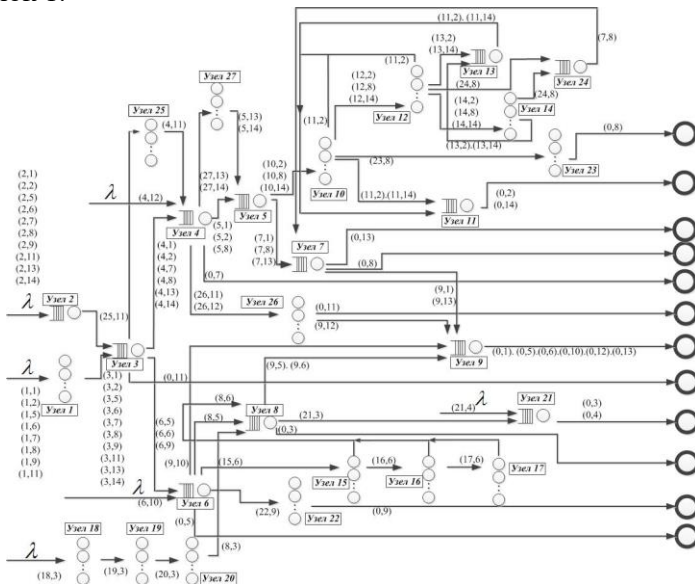


Рис. 5. Модель СеМО для совокупности бизнес-процессов

Для анализа качественных характеристик выполнения запросов клиентов была разработана модель обобщённого процесса, которая представляет собой конвергенцию семи эталонных подпроцессов, где объединены одинаковые функции подпроцессов.

Реализуемый процесс представляем в виде открытой неоднородной экспоненциальной сети массового обслуживания (рис. 1) с узлами двух типов – однолинейный узел с бесконечной очередью и бесконечнолинейный узел типа Infinite Server. Построенная СеМО отражает последовательность выполнения поступивших заявок по каждому типу обращений. Учитывается невозможность повторного обслуживания заявки в узле при цикличной обработке запроса.

Численный эксперимент

Приведем пример численного расчёта. Общее количество поступивших заявок – 100000.

$$\mu_1^{-1} = \mu_2^{-1} = \mu_{10}^{-1} = \mu_{12}^{-1} = \mu_{16}^{-1} = \mu_{23}^{-1} = 7 \text{ мин}, \quad \mu_3^{-1} = \mu_7^{-1} = 8 \text{ мин},$$

$$\mu_4^{-1} = \mu_{15}^{-1} = \mu_{24}^{-1} = \mu_{27}^{-1} = 10 \text{ мин}, \quad \mu_5^{-1} = \mu_9^{-1} = \mu_{26}^{-1} = 9 \text{ мин},$$

$$\mu_6^{-1} = \mu_{21}^{-1} = 4 \text{ мин},$$

$$\mu_8^{-1} = \mu_{13}^{-1} = 6 \text{ мин},$$

$$\mu_{11}^{-1} = \mu_{18}^{-1} = \mu_{19}^{-1} = \mu_{20}^{-1} = \mu_{22}^{-1} = \mu_{25}^{-1} = 5 \text{ мин}, \quad \mu_{14}^{-1} = 13 \text{ мин},$$

$$\mu_{17}^{-1} = 15 \text{ мин} \quad - \quad \text{средние длительности выполнения}$$

подпроцессов. В результате время моделирования обобщенного бизнес-процесса составило 19993 минуты, что приблизительно равно двум месяцам работы компании, учитывая восьмичасовой рабочий день. На рис. 2 приведен график среднего времени выполнения процесса в зависимости от интенсивности поступления заявок в СеМО. Из рисунка видно, что при росте интенсивности среднее время выполнения бизнес-процесса растет. При нулевой интенсивности потока запросов среднее время выполнения процесса очень мало и стремится к нулю. А при единичной интенсивности потока поступающих запросов среднее время выполнения процесса приблизительно равняется

30 минутам. Это обусловлено тем, что в каждом узле, в который попадает заявка, обслуживание осуществляется по экспоненциальному закону с разными и интенсивностями.

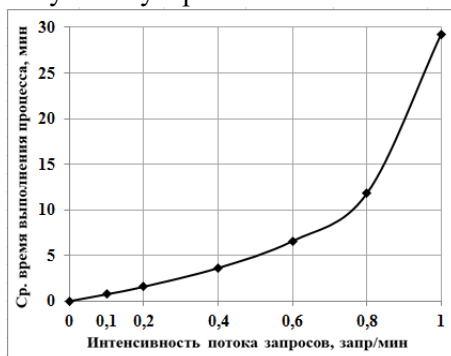


Рис. 2. Среднее время выполнения процесса

Выводы

Достоинством разработанного метода является универсальность – предложенная техника, показанная на примере анализа обобщенного процесса, может быть применена для оценки эффективности других бизнес-процессов, протекающих в компании, например, отвечающих за сетевую работу компании.

Литература

1. TeleManagement Forum. Enhanced Telecom Operations Map (eTOM) The Business Process Framework. [Электр. ресурс] // URL: www.tmforum.org (дата обращения: 06.10.2017)
2. Business process framework (eTOM). End-to-end business flows. GB921 Addendum E. Release 16.5.0, pp. 1-50.
3. Самуйлов К. Е., Чукарин А. В., Гайдамака Ю. В., Заринова Э. Р. Математическая модель и метод оптимизации времени выполнения бизнес-процесса телекоммуникационной компании // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – №1.
4. Sidnev A., Tuominen J., Krassi B. Business process modeling and simulation. // Helsinki University of Technology. Industrial Information Technology Laboratory Publications. 2005, pp. 1- 116.

МОДЕЛЬ SIR ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕТЕВЫХ ЧЕРВЕЙ⁴⁵

Соболев А.А., Демидова Т.С., Демидова А.В.

*Российский университет дружбы народов,
raven357be@gmail.com, dem_tatiana@mail.ru,
demidova_av@rudn.university*

В работе рассматривается модель SIR, в качестве математической модели для описания динамики распространения сетевых червей и ее численный анализ с помощью разработанной программы, реализованной на языке Python 3.

Ключевые слова: модель эпидемии, SIR, сетевые черви, математическое моделирование.

Введение

В современном мире компьютерные устройства являются неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Данные устройства, являясь частью компьютерных сетей, используются для хранения различной важной и конфиденциальной информации. Однако, благодаря Интернету и большой пропускной способности сетей, вся эта информация находится под угрозой сетевых вирусов. Одной из разновидностей сетевых вирусов являются вредоносные программы, способные к самостоятельному поиску новых узлов для заражения и использующие для своего распространения локальные и глобальные компьютерные сети, создавая свои копии. Современные средства защиты не всегда могут оперативно реагировать на эпидемии сетевых червей, поэтому актуальной является задача моделирования динамики распространения вредоносных программ. Детальное исследование этого явления позволит создавать более эффективные средства защиты, способные предотвращать или сдерживать эпидемии на ранних

⁴⁵ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и частично при поддержке грантами РФФИ № 15-07-08795, 16-07-00556.

стадиях. Многочисленные исследования показали, что использование аппарата математической теории биологических эпидемий позволяет хорошо описать распространение вредоносных программ в сетях [1-4]. В данной работе рассматривается простейшая модель SIR, которая используется для описания динамики распространения сетевых червей.

Модель эпидемии SIR

Модель SIR используется для описания затуханий сетевых эпидемий. В данной системе компьютеры могут находиться в трех состояниях: S - уязвимое, I - зараженное, R - невосприимчивое (т.е. выключенные). Рассматривается замкнутая система, в которой узлы не появляются и не выходят из нее, т.е. для этой модели верно утверждение $S + I + R = N$. Введем переменные $s = S/N$, $i = I/N$, $r = R/N$ для описания относительных численностей узлов, соответствующих типов. Кроме того, предполагается, что все узлы в сети заражаются равновероятно. Таким образом SIR-модель описывается системой дифференциальных уравнений [1,3]:

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = -\beta is, \\ \frac{di}{dt} = \beta is - \gamma i, \\ \frac{dr}{dt} = \gamma i. \end{cases} \quad (1)$$

В системе (1) коэффициент β – скорость заражения компьютеров, γ – скорость выздоровления компьютеров.

Для начала эпидемии необходимо выполнение условия для начального значения $S(0)$:

$$S(0) > \frac{\gamma}{\beta}. \quad (2)$$

Это условие выполняется почти всегда, т.к. γ определяется человеческой реакцией и необходимостью загрузки «заплат», а β – постоянно улучшающимися техническими характеристиками сети.

Численный анализ динамики распространения сетевых червей

Численный анализ динамики распространения сетевых червей проводился с помощью разработанной программы, реализованной на языке Python 3 с использованием библиотек NumPy и SciPy, а также Matplotlib для графического представления вычислений. Кроме того, реализована возможность интерактивного подбора параметров модели с помощью библиотеки Ipywidgets.

Численный эксперимент проводился для сети из $N = 10000$ узлов. Количество инфицированных узлов в начальный момент времени и параметры γ и β подбирались интерактивно. На рис.1 и рис.2 представлены результаты численного эксперимента со значениями $I(0) = 100$ узлов, $\gamma = 0,6$, $\beta = 3,2$ и $I(0) = 100$ узлов, $\gamma = 0,8$, $\beta = 1,5$ соответственно.

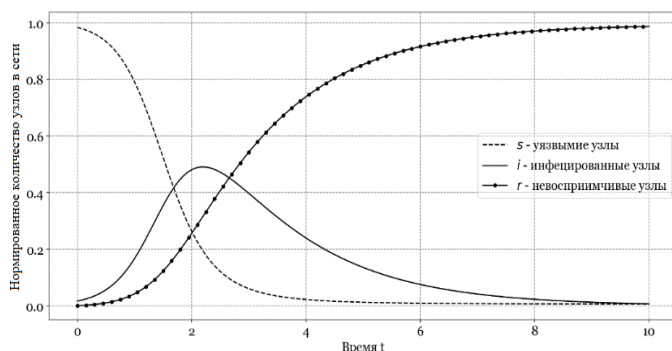


Рис. 1. Динамика распространения эпидемии для модели (1).

$$I(0) = 100, \gamma = 0,6, \beta = 3,2$$

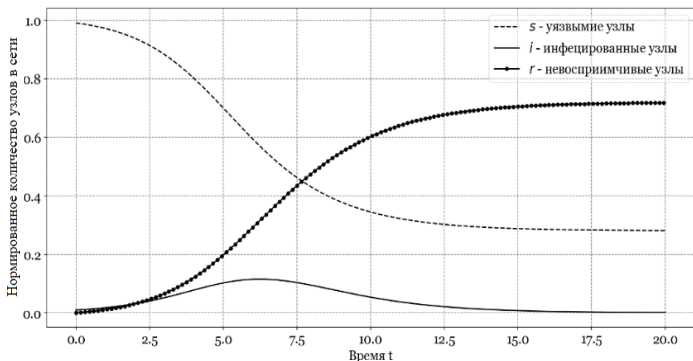


Рис. 2. Динамика распространения эпидемии для модели (1).

$$I(0) = 100, \gamma = 0,8, \beta = 1,5$$

Из графиков (рис.1 и рис.2) видно, что в первом случае происходит затухание эпидемии, количество восприимчивых к заражению и инфицированных узлов становится равно 0 и все узлы сети приобретают иммунитет к вредоносной программе. Для второго набора параметров иммунизация узлов проходит быстрее, чем их заражение. Поэтому число инфицированных узлов быстро уходит в ноль. Система выходит на стационарный режим, при котором существуют как вылеченные узлы, так и восприимчивые к заражению.

Вывод

Анализ простейшей модели SIR показал, что в данной модели не учитываются многие факторы влияющие на динамику распространения сетевых червей. Так данная модель не учитывает структуру сети, возможность появления в сети и ухода из нее узлов, а также различные вероятностные факторы. В дальнейших работах планируется исследование модификаций модели SIR, а также построение ее стохастического аналога, с целью изучения влияния на поведение системы введения в модель стохастики.

Литература

1. *Котенко И.В., Воронцов В.В.* Аналитические модели распространения сетевых червей // Труды СПИИРАН. 2007. Вып. 4. С. 208-224.
2. *Захарченко А.* Черводинамика: причины и следствия // Защита информации. Конфидент, 2004. № 2, С. 50–55.
3. *Herbert W. Hethcote* The Mathematics of Infectious Diseases // SIAM Review, 2000. — V. 42(4). — P. 599–653. — doi:10.1137/S0036144500371907
4. *Harko T., Lobo F.S.N., and Mak M.K.* Exact analytical solutions of the Susceptible-Infected-Recovered (SIR) epidemic model and of the SIR model with equal death and birth rates // Applied Mathematics and Computation, 2014. — Vol. 236. — P. 184–194.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА МЕНЕДЖМЕНТА КАДРОВ НА ГИПЕРГРАФАХ⁴⁶

Соловьева А.С., Салпагаров С.И.

*Российский университет дружбы народов,
salpagarov_si@pfur.ru*

В работе рассмотрена задача кадрового менеджмента. Математическая модель этой задачи представлена на языке теории гиперграфов. В качестве критериев многокритериальной постановки задачи были выбраны критерии вида MAXSUM. Первый критерий означает ожидаемый суммарный доход организации. Второй – ожидаемый уровень социализации всех претендентов, назначенных на соответствующие должности.

Ключевые слова: менеджмент кадров, покрытие гиперграфа, целевая функция, многокритериальная оптимизация.

Введение

Математическая модель задачи кадрового менеджмента [1] базируется на теории гиперграфов [2,3,4], специфика которой в наибольшей степени приспособлена для представления рационального назначения. При этом задача кадрового менеджмента формируется в двухкритериальной постановке, которая требует нахождения не одного оптимального решения, а множества альтернатив. В связи с этим были использованы понятия и методы многокритериальной оптимизации, комбинаторного анализа и математического программирования. После проведения анализа исходных данных задачи кадрового менеджмента и определения критериев показателей многокритериальной гиперграфовой задачи кадрового менеджмента стало возможным построение оптимизационной модели кадрового менеджмента на гиперграфах.

⁴⁶ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Содержательная постановка задачи

Объекты моделирования представим в виде трех множеств: M_1 – множество сотрудников компании, прошедших отбор и рассматриваемых в качестве претендентов на множество M_2 . Элементами множества M_2 являются вакантные (условно вакантные) должности, которые включены в бизнес-план данной организации. M_3 – множество видов обучения, выполняющих поддерживающую функцию, функцию социализации и мотивации представителей множества M_1 . Элементами множества M_3 являются различные виды обучения, например, начального, повторного и развивающего: рабочий инструктаж, ротация должностей, обучение в учебном центре на базе организации, обучение в вечерней школе, обучение на курсах повышения квалификации и переподготовки кадров, обучение в лицеях, колледжах, ВУЗах и академиях. Сформулируем следующую задачу. Претендента из множества M_1 , прошедшего определенный вид обучения из множества M_3 , назначить на соответствующую его способностям, образованию и ожиданиям должность из множества M_2 . Результатом такого назначения должно стать повышение эффективности деятельности организации, выраженное в повышении общего уровня выполнения работы, реализации профессионального потенциала каждого сотрудника и формирования резерва талантливых людей, способностями которых организация могла бы воспользоваться в будущем. С точки зрения математического моделирования эта задача представляет собой обобщение известной в теории дискретной оптимизации задачи о назначениях. При определении допустимых решений этой задачи должны быть учтены ограничения на финансовые, производственные, трудовые и временные ресурсы, имеющиеся в распоряжении данной организации. Качество этих решений оценивается как экономическими (в рублях), так и социально-психологическими критериями. Значениями социально-психологических критериев могут служить результаты тестов (в баллах), которые проводятся для оценки детерминант,

определяющих уровень и качество выполнения работы. Например, такими детерминантами являются способность, готовность и возможность выполнять работу. Таким образом, рассматриваемая задача формулируется как многокритериальная.

Математическая модель

Математическая постановка рассматриваемой задачи базируется на 3-дольном 3-однородном гиперграфе $G = (V_1, V_2, V_3, E)$. Вершины первой доли V_1 (второй доли V_2) поставлены во взаимно однозначное соответствие указанному выше множеству претендентов M_1 (множеству должностей M_2), т.е. имеет место равенство мощностей: $|V_1| = |M_1|$ ($|V_2| = |M_2|$). Вершины третьей доли V_3 отражают множество видов обучения претендентов с учетом представленных выше ограничений следующим образом. Пусть элементы множества M_3 перенумерованы индексом $r = 1, 2, \dots, L$, и для каждого значения r определено максимально возможное количество m_r людей, для которых организация может осуществить r -ый вид обучения; обозначим $R = \sum_{r=1}^L m_r$. Каждому индексу $r \in \{1, 2, \dots, L\}$ поставим в соответствие множество $V_3^r = \{v\}$ мощности $|V_3^r| = m_r$. Тогда третья доля V_3 определяется как теоретико-множественное объединение всех множеств V_3^r , т.е. $V_3 = \bigcup_{r=1}^L V_3^r$.

Рассмотрим пару элементов $v_1 \in V_1$, $v_2 \in V_2$, где v_1 означает определенного претендента, а v_2 представляет определенную должность. Тогда, если кандидат v_1 может заполнить вакансию v_2 после прохождения r -го вида обучения, согласно стратегии принятия решений о распределении вакантных должностей в данной организации, то считаем, что множество E содержит m_r ребер вида,

$$e = (v_1, v_2, v'), v' \in V_3^r, V_3^r \subset V. \quad (1)$$

Ребро такого вида условимся называть допустимой тройкой. Множество E всех ребер гиперграфа $G = (V_1, V_2, V_3, E)$, $V_3 = \bigcup_{r=1}^L V_3^r$ образуется в результате теоретико-множественного объединения допустимых троек вида (1) по всем элементам $v_1 \in V_1, v_2 \in V_2, v_3 \in V_3, r = 1, 2, \dots, L$.

В классической постановке задачи о назначениях, сформулированной на 2-дольном графе, как правило, термин «допустимое решение» означает совершенное (максимальное) паросочетание на этом графе. Допустимым решением рассматриваемой задачи на гиперграфе является всякое тупиковое сочетание. Для данного гиперграфа $G = (V, E)$ тупиковое сочетание представляем в виде его подгиперграфа $x = (V_x, E_x)$, $V_x \subseteq V, E_x \subseteq E$. Через $X = X(G) = \{x\}$ обозначим множество всех допустимых решений (МДР) задачи о сочетаниях на гиперграфе G .

Каждому ребру $e \in E$ вида (1) гиперграфа $G = (V, E)$ приписаны два веса $w_v(e)$, $v = 1, 2$, которые означают $w_1(e) = f_1(v_1, v_2, v_3)$ – экономический эффект, т.е. ожидаемый доход организации (в рублях) в случае, когда претендент, представленный вершиной v_1 , прошел вид обучения, представленный вершиной v_3 , и назначен на должность, представленную вершиной v_2 ; $w_2(e) = f_2(v_1, v_2, v_3)$ – социально-психологический эффект, т.е. ожидаемый уровень социализации претендента (в баллах) в этом же случае.

Качество допустимых решений этой задачи $x \in X$ оценивается с помощью векторной целевой функции (ВЦФ) $F(x) = (F_1(x), F_2(x))$, состоящей из критериев вида $MAXSUM: F_k(x) = \sum_{e \in E_x} w_k(e) \rightarrow \max, k = 1, 2$.

Критерий $F_1(x)$ означает ожидаемый суммарный доход организации от указанного выше назначения. Критерий $F_2(x)$ означает ожидаемый уровень социализации всех претендентов, назначенных на соответствующие должности.

ВЦФ $F(x)$ определяет в МДР X паретовское множество (ПМ) \tilde{X} , состоящее из паретовских оптимумов (ПО) \tilde{x} [5]. В случае, если одинаковые по значению ВЦФ решения $x', x'' \in X$ считаются эквивалентными (неразличимыми), то из ПМ \tilde{X} выделяется полное множество альтернатив (ПМА) X^0 . ПМА X^0 представляет собой максимальную систему векторно-несравнимых ПО из \tilde{X} , $X^0 \subseteq \tilde{X}$. Наиболее целесообразное решение выбирается из ПМА с помощью процедур теории выбора и принятия решений [6].

Выводы

Полученные в работе результаты могут быть использованы при автоматизации распределения сотрудников организации по должностям после установленного выбора вида обучения. Это упростит работу кадровых менеджеров крупных компаний.

Литература

1. Джуэлл Л. Индустриально-организационная психология. – СПб.: Питер, 2001. – 720 с.
2. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тьликевич Р.И. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990. – 384с.
3. Берж К. Теория графов и ее применения. – М.: Изд. иностр. лит-ры, 1962. – 320с.
4. Зыков А.А. Гиперграфы//Успехи Матем. наук. – 1974. Т. 29. вып.6. – С. 89–154.
5. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
6. Сакович В.А. Исследование операций. – Минск.: Вышэйшая школа, 1984. – 256 с.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В СИСТЕМЕ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ⁴⁷

Сопин Э.С., Ашурметова Н.З.

*Российский университет дружбы народов,
sopin_es@rudn.university, mfox262@mail.ru*

В данной работе рассматривается концепция туманных вычислений, построена математическая модель в виде системы массового обслуживания

Ключевые слова: туманные вычисления, система массового обслуживания, миграция виртуальных машин

Введение

Управление в современном мире становится все более трудным делом, поскольку организационная структура общества усложняется. Исследованию подвергаются все более и более сложные системы, в которых изменение одной из характеристик может легко привести к изменениям во всей системе или создать потребность в изменениях в других частях системы. Соответственно, возникает необходимость в использовании все более сложных методов научных исследований.

Это модель, в которой для хранения данных, их анализа и принятия решений используются ресурсы устройств, работающих «на земле» (персональных компьютеров, гаджетов, бытовых приборов, видеокамер и так далее), а не центральных узлов сети.

Проще понять смысл термина, отталкиваясь от понятия «облако», с которым уже многие знакомы. В облачной модели основные функции выполняют централизованные дата-центры, которые собирают данные с крайних узлов сети и находят им дальнейшее применение. Облака, содержащие миллионы терабайт информации, есть у всех IT-гигантов: Apple, Google,

⁴⁷ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Intel и других. В облачной модели многое зависит от пропускной способности каналов, по которым идет обмен информацией между облаком и периферией. По замыслу авторов идеи туманных вычислений, передача значительной части этой работы «на места» позволит увеличить скорость принятия решений. Централизованное «облако» и децентрализованный «туман» не исключают друг друга, а скорее взаимодополняют.

Описание концепции туманных вычислений

Термин «туманные вычисления» был впервые предложен компанией Cisco. Согласно концепции, эта платформа напоминает граничные вычисления (edge computing), и обе рассматриваются как противовес облачной модели.

Напомним, что главной особенностью облачной модели вычислений является существование централизованного набора разнообразных вычислительных ресурсов, которые предоставляют свои сервисные функции дистанционно распределенным клиентам, получающим доступ через сеть для работы с облачной инфраструктурой.

В отличие от облачной модели для туманных и граничных вычислений применяется другой тип взаимодействия: потребители используют сервисные функции ресурсов, размещенных на периферийных устройствах в распределенной сети. Используемые в таких системах данные размещаются на клиентских узлах, где предстоит их последующая обработка, или поблизости; для сбора данных часто используется беспроводная связь.

Достоинство туманных и граничных вычислений перед облачными системами состоит прежде всего в заметном снижении латентности собираемых данных. Эта особенность является определяющим фактором для систем реального времени. Локальная обработка собранных данных может осуществляться в таких системах непосредственно на месте их генерации. Защищенность таких систем также выше, чем при облачных вычислениях.

Хотя модели граничных и туманных вычислений во многом близки между собой, у них также есть и отличия. В граничной модели периферийные устройства всегда подключены онлайн и осуществляют непрерывную передачу данных по сети. В случае туманных вычислений данные могут «приземляться» на любом участке сети — от центральных узлов до периферийных устройств.

Построение математической модели

В общем виде система состоит из центрального облака, группы из конечного числа периферийных облаков и конечной очереди поступающих запросов. Вычислительная мощность главного облака намного превосходит мощность первичных облаков, поэтому будем считать ее бесконечной.

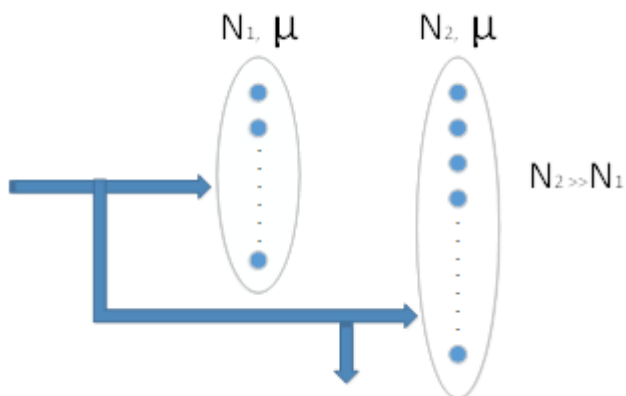


Рис. 6. Общий вид схемы

Обозначим C_0 - количество приборов на дата-центре, $C_{1,2,n}$ - емкость периферийного облака, λ - интенсивность входящего пуассоновского потока и μ - интенсивность обслуживания.

Рассмотрим систему с одним периферийным облаком и одним дата-центром конечной емкости N_1 и N_2 соответственно. Состояние системы будем задавать парой чисел x, y , где $x \leq N_1$ - число заявок, одновременно обрабатываемых первичным облаком. $y \leq N_1 + N_2$ - общее число заявок в системе.

На рисунке 2 показана диаграмма интенсивностей переходов $N_1=3, N_2=5$.

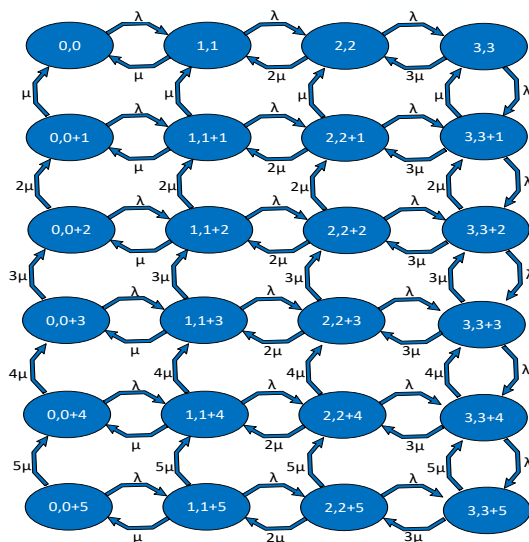


Рис. 2. Диаграмма интенсивностей переходов для частного случая.

Для вычисления стационарных характеристик системы была составлена и решена система уравнений равновесия.

Выводы

Участниками этого консорциума стали компании ARM, Cisco, Dell, Intel, Microsoft и др. В апреле 2016 года GE Digital, Schneider Electric и IEEE вошли в совет директоров этой организации, тогда же в ней появился первый представитель из Азии — компания Sakura Internet.

Литература

1. *F. Bonomi, R. Milito, P. Natarajan, and J. Zhu*, “Fog computing: A platform for internet of things and analytics,” in Big Data and

Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments. Springer, 2014, pp. 169-186.

2. <https://www.openfogconsortium.org/resources/>

3. https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf

К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИГРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН В ТУМАННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ⁴⁸

Сопин Э.С., Беляев И.А.

*Российский университет дружбы народов,
sopin_es@rudn.university, iwanbelyaev@ya.ru*

В данной работе рассматривается парадигма туманных вычислений и её архитектура, построена математическая модель системы.

Ключевые слова: туманные вычисления, система массового обслуживания, миграция виртуальных машин

Введение

В современном мире все большее распространение получают мобильные устройства, пользователи хотят иметь доступ к данным в любом месте и в любое время. Для удовлетворения их потребностей была разработана технология облачных вычислений, получившая большое распространение. В принципе, эта технология решает поставленную перед ней задачу, но конечным пользователям приходится мириться со сравнительно большими задержками доступа к облачным ресурсам. Проблема вызвана тем, что сервера, выполняющие роль облака, базируются в нескольких крупных дата-центрах, из чего вытекает падение скорости и увеличение времени отклика, особенно при большой нагрузке на сервер. Решением проблемы может стать увеличение количества дата-центров, но это сопряжено с огромными затратами. Поэтому была разработана концепция туманных вычислений, которая и будет рассмотрена в данной работе. Данная технология основана на использовании распределенной сети малых дата-центров. Такие сервера имеют меньшую вычислительную мощность по сравнению с традиционным облаком, зато они расположены ближе к конечному пользователю, что положительно сказывается на

⁴⁸ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

снижении задержек. В случае недостатка мощности малый дата-центр может обращаться за ресурсами к более крупному. Подобная иерархическая структура призвана повысить качество обслуживания.

Архитектура и функционал системы туманных вычислений

Рассмотрим основные архитектурные компоненты, необходимые для обеспечения миграции виртуальных машин и претворения в жизнь концепции туманных вычислений.

На верхнем уровне архитектуры находится пользовательское приложение, исполняемое на клиентском устройстве и поддерживающие такие функции взаимодействия с туманом, как загрузка данных в облако, аренда у сервера вычислительной мощности, синхронизация, поиск мини-серверов первого звена, миграция, а также контроль качества предоставления услуг

На уровне API мини-серверов должны быть реализованы такие функции как анализ перемещений пользователя, миграция виртуальных машин, поиск мини-серверов и механизм контроля качества услуг и выставления счетов за обслуживание

На уровне облака используются ныне существующие механизмы распределения нагрузки между дата центрами и разделению сервисов на уровни для «туманного» провайдера, чтобы он мог построить сеть и предоставлять услуги в соответствии со своей бизнес-моделью. Стоит отметить, что описанный выше набор функций не является стандартом и может быть расширен/изменен в случае необходимости.

Построение математической модели

В общем виде система состоит из центрального облака, группы из конечного числа периферийных облаков и конечной очереди для поступающих запросов. Вычислительная мощность центра намного превосходит мощность первичных облаков, поэтому будем считать ее бесконечной.

Обозначим $C_0 = \infty$ - количество приборов на центральном облаке, C_n – емкость периферийного облака, λ – интенсивность входящего потока и μ – интенсивность обслуживания.

Рассмотрим систему с одним периферийным облаком и одним дата-центром конечной емкости N_1 и N_2 соответственно и очередь для поступающих заявок длины R . Состояние системы будем задавать парой чисел X, Y , где $X \leq N_1$ – число заявок, одновременно обрабатываемых первичным облаком. $Y \leq N_1 + N_2 + R$ – общее число заявок в системе. В этом случае имеем следующий граф интенсивности переходов.

Зададим значение $N_1=3, N_2=5, R=2$. Построим граф интенсивности переходов для заданного частного случая.

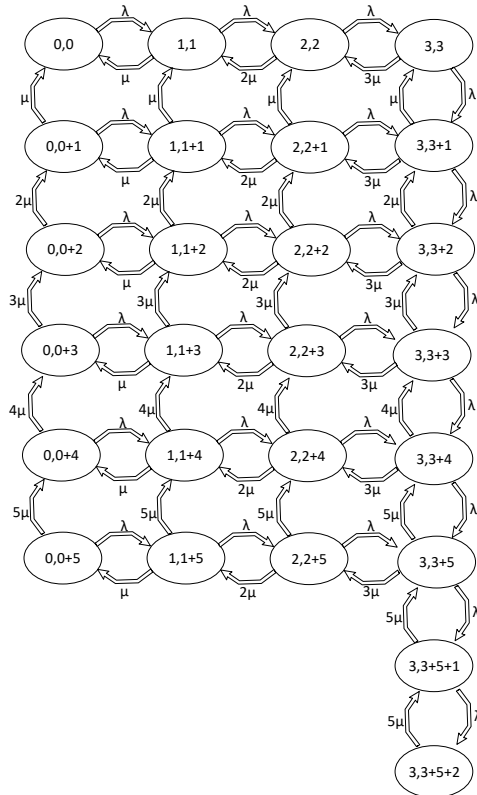


Рис. 1. Граф интенсивности переходов для частного случая

Для вычисления стационарных характеристик системы была составлена и решена система уравнений равновесия

Выводы

В данной работе была построена модель системы туманных вычислений в виде системы массового обслуживания с двумя типами приборов.

Литература

1. *Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S.* Fog computing and its role in the internet of things // *Studies in Computational Intelligence*, vol. 546, 2014, pp. 169 – 186.
2. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/iot-fog-applications.html>

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ТРАФИКА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В ВИДЕ МАР ПОТОКА⁴⁹

Сопин Э.С., Талыбов Э.Г.

*Российский университет дружбы народов,
sopin_es@rudn.university, hulking2@gmail.com*

В статье проведен анализ СМО с дискретными ограниченными ресурсами и требованиями к случайным ресурсам в условиях МАР потока заявок, которая позволяет адекватно моделировать схемы распределения ресурсов в современных беспроводных сетях.

Ключевые слова: система массового обслуживания, МАР поток, ограниченные ресурсы, беспроводная сеть

Введение

Быстрые мобильные соединения за последнее десятилетие становятся более доступными для деловых и личных коммуникаций. С тех пор мобильные устройства значительно улучшили возможности обработки и экономии батареи. Оба этих фактора влияют на мобильный трафик данных и смещают фокус с голосовых услуг на видео и услуги передачи данных.

Значительное увеличение потребностей в пользовательском трафике требует совершенствования широкополосного доступа и развития технологий в будущей эволюции мобильных систем, которые часто называют сетями пятого поколения (5G). Среди реализованных улучшений в модуляции и кодировании, методы ММО, сетевые решения также нацелены на улучшение производительности беспроводной сети. Уплотнение сети, прямые внутрисполосные и внеполосные коммуникации «устройство-устройство» считаются популярными и экономически эффективными решениями для повторного использования пространственной частоты и значительного увеличения мощности [1].

⁴⁹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Процесс выделения ресурсов может быть смоделирован в терминах многолинейных систем массового обслуживания (СМО), в которых клиентам требуется не только сервер, но и случайное количество ограниченных ресурсов. Такие системы массового обслуживания со случайными требованиями к ресурсам, входящим пуассоновским потоком и экспоненциальным временем обслуживания были исследованы ранее [2-4]. Однако реальная модель трафика не может быть адекватно описана пуассоновским процессом. В этой статье мы рассматриваем систему массового обслуживания со случайными требованиями к ресурсам в условиях MAP (Markovian Arrival Process) потока [5,6], которые могут аппроксимировать широкий диапазон реальных процессов поступления. Предлагаемый метод анализа применяется только для дискретных требований к ресурсам, а для непрерывных потребностей в ресурсах - рассчитано для дальнейших исследований.

Математическая модель

Рассмотрим многолинейную систему массового обслуживания с N серверами и ресурсами R . Клиенты прибывают в соответствии с MAP входящим потоком, управляемым цепью Маркова с непрерывным временем с M состояниями, которая называется здесь управляющей цепью Маркова. Процесс поступления характеризуется матрицами A_0 и A_1 , $A_0 + A_1 = A$, где A - матрица интенсивностей переходов управляющей цепи Маркова. Предположим, что матрица A неприводима и θ обозначает стационарный вектор вероятностей управляющей цепи Маркова. Тогда интенсивность поступления определяется как $\lambda = \theta a$, где $a = A1$, а 1 является вектором единиц с соответствующим размером.

Для обслуживания поступающей заявки требуется не только сервер, но и j ресурсов с вероятностью $p_j, j \geq 0$. Мы предполагаем, что требования к ресурсам должны быть

взаимно независимыми одинаково распределенными случайными величинами, независимы от процессов прибытия и обслуживания. Если при поступлении заявки нет доступных серверов или достаточного количества свободных ресурсов в системе для удовлетворения требований, то заявка теряется. Если при поступлении заявки достаточно ресурсов, то клиент занимает один сервер и необходимое количество ресурсов на весь срок обслуживания. Время обслуживания предполагается экспоненциально распределенным с интенсивностью μ .

Чтобы упростить анализ, мы не отслеживаем количество ресурсов, занимаемых каждой заявкой. Вместо этого мы отслеживаем только общее количество занятых ресурсов всеми заявками вместе. Таким образом, мы не знаем точное количество ресурсов, высвобождаемых при окончании обслуживания заявки. Если перед завершением обслуживания в системе имеется k клиентов и занято r ресурсов, то j ресурсов высвобождаются с вероятностью $\frac{p_{r-j}^{(k-1)} p_j}{p_r^{(k)}}$, где $p_r^{(k)}$ это k -кратная свертка распределения вероятности $\{p_j\}$, $j \geq 0$.

Поведение системы описывается марковским процессом $X(t) = \{\xi(t), \delta(t), \eta(t)\}$, где $\xi(t)$ - количество заявок в момент времени t , $\delta(t)$ обозначает общее количество занятых ресурсов и $\eta(t)$ состояние управляющей цепи Маркова. Множество состояний $X = \bigcup_{k=0}^N X_k$ можно разложить на подмножество $X_0 = \{(k, m) : 0 \leq k \leq N, 1 \leq m \leq M\}$ и N подмножеств $X_k = \{(k, r, m) : 0 \leq k \leq N, 0 \leq r \leq R, p_r^{(k)} > 0, 1 \leq m \leq M\}$, $1 \leq k \leq N$. Пусть s_k - число ненулевых вероятностей в k -кратных свертках $p_r^{(k)}$, $0 \leq r \leq R$. Тогда число состояний в подмножестве X_0 равно M , а подмножество X_k содержит $s_k M$ состояний. Наконец, пусть $l(k, r)$ - порядковый номер $p_r^{(k)}$ в строке ненулевых k -кратных

сверток распределения вероятностей $\{p_j\}$, $j \geq 0$. Таким образом, составляя систему уравнений равновесия и решая ее, получим стационарное распределение системы.

Выводы

В этой статье построена математическая модель в виде многолинейной системы массового обслуживания с дискретными ограниченными ресурсами с входящим МАР потоком. Описанная система массового обслуживания может применяться для анализа показателей производительности современных беспроводных сетей.

Литература

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021 <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.pdf>
2. O.M. Tikhonenko, *Automation and Remote Control*, **58**:6, pp. 969–973 (1997).
3. V.A. Naumov, K.E. Samuilov, A.K. Samuilov, *Automation and Remote Control*, **77**, 8, pp 1419–1427 (2016).
4. V. Naumov, K. Samouylov, N. Yarkina, E. Sopin, S. Andreev and A. Samuylov, *Proc. of 7th Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, pp. 100–103 (2015).
5. G. Basharin and V. Naumov, Proc. of the 3rd International Seminar on Teletraffic Theory “Fundamentals of Teletraffic Theory”, Moscow, VINITI, pp. 38–44 (1984).
6. D. M. Lucantoni, K. S. Meier-Hellstern, and M. F. Neuts, *Advances in Applied Probability*, **22**, 3, pp. 676–705 (1990).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА⁵⁰

Стихуров В.В., Фомин М.Б.

Российский университет дружбы народов,
vstikhurov@ya.ru, fomin_mb@rudn.university

Рассматриваются способы построения деревьев решений для интеллектуального анализа кредитоспособности с помощью энтропии Шеннона.

Ключевые слова: дерево решений, энтропия по Шеннону, скоринг.

Введение

В современном мире, когда все более крупные игроки выходят на банковский рынок, перед кредитными организациями остро встает задача выбора способа организации быстрых и качественных банковских услуг.

Одной из важных задач является автоматизация принятия решений при рассмотрении кредитной заявки – задача кредитного скоринга. Необходимость обработки больших объемов информации и использования имеющихся исторических и статистических данных сделала актуальной задачу разработки эффективных методов количественной оценки кредитоспособности заемщика.

Одним из таких методов является построение деревьев решений (лесов), использование которых в процессе обучения на исторических данных может в короткий срок предоставить надежный прогноз.

Ниже будут описаны основные идеи этого метода.

Энтропия Шеннона

Формулу энтропии по Шеннону можно получить из формулы комбинаторной энтропии:

⁵⁰ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

$$H_{comb} = \frac{\text{Log}_2(w)}{N} = \frac{1}{N} \text{Log}_2\left(\frac{N!}{\prod Ni!}\right) = \frac{1}{N} \text{Log}_2\left(\frac{N!}{N_1!N_2!N_3!\dots}\right). \quad (1)$$

Используя свойства логарифма разложим выражение (1):

$$H_{comb} = \frac{1}{N} \text{Log}_2\left(\frac{N!}{\prod Ni!}\right) = \frac{1}{N} (\text{Log}_2(N!) - \text{Log}_2(\prod Ni!)) = \frac{1}{N} (\text{Log}_2(N!) - \sum \text{Log}_2(Ni!))$$

Далее, предположив, что N достаточно велико, воспользуемся формулой Стерлинга:

$$\ln(N!) = N \ln N - N + O(\ln N) \approx N \ln N - N.$$

Отсюда имеем

$$\begin{aligned} H_{comb} &\approx \frac{1}{N} (\text{Log}_2(N!) - \sum \text{Log}_2(Ni!)) \\ &\approx k \frac{1}{N} (N \ln N - N - \sum (Ni * \ln Ni) + \sum Ni) \\ &= k \frac{1}{N} (\sum Ni * \ln N - \sum (Ni * \ln Ni)) \\ &= -k \frac{1}{N} (\sum Ni (\ln Ni - \ln N)) \\ &= -k \frac{1}{N} (\sum Ni * \ln \frac{Ni}{N}) = -k (\sum \frac{Ni}{N} * \ln \frac{Ni}{N}) \\ &= -\sum \frac{Ni}{N} * \log_2\left(\frac{Ni}{N}\right), \end{aligned}$$

где k - коэффициент перехода к натуральному логарифму.

Можно заметить, что вероятность получить объект i при условии, что количество таких объектов – Ni , равна Ni/N . Исходя из этого, формула для энтропии по Шеннону приобретает вид (2):

$$H = -\sum p_i * \text{Log}_2(p_i). \quad (2)$$

По сути энтропия по Шеннону является не чем иным, как пределом для комбинаторной энтропии. Поэтому ее значение всегда больше, чем значение комбинаторной энтропии.

Ниже представлен график энтропий для множества, состоящего из двух типов элементов для случая $N=100$.

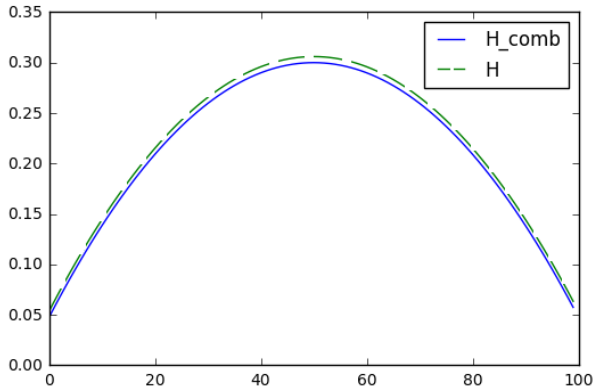


Рис. 1. График энтропий

Дерево решений

Метод деревьев решений в отличие от других методов машинного обучения позволяет не только классифицировать объекты, но и обосновать принятие того или иного решения.

Дерево решений представляет собой древовидный граф, в котором каждая вершина – это предикат, делящий выборку на две части так, чтобы суммарная энтропия множества уменьшалась.

Листья дерева решения – это классы объектов. Для того, чтобы классифицировать объект, нужно «спустить» его из корня до одного из листьев (такой путь должен выбираться исходя из значений предикатов). Движение объекта от корня до листа соответствует выбору варианта отнесения объекта к

определенному классу, на каждом уровне дерева – в соответствии со своим признаком.

В случае кредитного скоринга в качестве деревьев могут выступать графы классификации различных аспектов таких характеристик заемщика, как платежеспособность, склонность к мошенничеству, поведенческие особенности, влияющие на аккуратность выполнения обязательств.

Можно предложить следующую интерпретацию: объекты являются точками в многомерном пространстве, а предикаты – гиперплоскостями, разделяющими множество объектов в этом пространстве на подмножества. Процедура классификации при этом сводится к задаче о поиске ограниченных объемов в этом пространстве.

Исходя из описанных свойств энтропии можно сформировать следующий алгоритм построения дерева решений:

1. Выбрать исходный предикат, который в дальнейшем будет корневым узлом дерева. Выбор предиката (то есть, признака и метода его сравнения) необходимо производить, основываясь на показателе средней энтропии для получившихся множеств. Таким образом, анализируя признаки и методы их сравнения, выбираются такие признак и метод, которые приводят к минимальному значению средней энтропии.
2. Повторять пункт 1 для всех сформированных множеств до тех пор, пока не будет достигнут критерий остановки.

В качестве критерия остановки как правило выступает значение энтропии в результирующем множестве. Если использовать классификатор с учителем, и обучать классификатор, до достижения условия $H=0$, то велика вероятность «переобучиться», то есть подогнать классификатор под обучающую выборку. В этом случае на новых данных он будет работать некорректно.

Лес деревьев

Как было указано выше, задача формирования критерия остановки итерационного процесса может приводить к большим

сложностям. Решить эту задачу можно путем применения метода «Лес деревьев» (или «Random forest»).

Суть этого метода состоит в разбиении исходного множества объектов на K случайных подмножеств, для каждого из которых строится свое классифицирующее дерево.

Получившийся в итоге ансамбль подмножеств используют для дальнейшей классификации. Прогоняя объект от корня к листьям на каждом из участников ансамбля, можно выявить его класс в случае каждого конкретного дерева. Таким образом происходит голосование за то, какому классу принадлежит объект. Основываясь на результатах такого «голосования» можно сделать вывод о вероятности принадлежности объекта к тому или иному классу.

метода «Лес деревьев» не только нивелирует ошибки выбора критерия остановки (по сути можно использовать любой вариант), но также позволяет корректно обрабатывать пограничные случаи выбора.

Выводы

В работе был рассмотрен метод машинного обучения «Лес деревьев», который может быть применён для решения задачи кредитного скоринга.

Метод позволяет не просто получить значение кредитоспособности, но описать логические условия, которые привели к тому или иному выбору.

Литература

1. *Segaran T.* Programming Collective Intelligence. – O'Reilly Media, 2008. – 368 p.
2. *Marsland S.* Machine Learning: An Algorithmic Perspective. – Chapman and Hall/CRC, 2014. – 457 p.

НЕВЕРИЕ В БУДУЩЕЕ И ИНВЕСТИЦИИ В КАПИТАЛ ЗДОРОВЬЯ

Суворова О., Розмаинский И.

*Национальный исследовательский университет «Высшая
школа экономики»,
ksysh-a@mail.com*

Вводится понятие «неверия в будущее» и анализируется его влияние на инвестиции капитал здоровья.

Ключевые слова: человеческий капитал, «неверие в будущее», инвестиционная близорукость.

Введение

Теория человеческого капитала стала одним из перспективных направлений развития экономической науки девятнадцатого века. Эффективное развитие экономики в постиндустриальном обществе подразумевает усовершенствованный подход к использованию человеческого потенциала. Увеличение инновационного производства в современном мире приводит к возрастанию роли человеческого фактора. Именно он становится самым ценным активом в конкурентной борьбе.

Резкое сокращение государственных вложений в человеческий капитал и отсутствие стимулов для частных инвестиций являются особенностью постсоветской жизни в России. Это способствует негативным воздействиям на формирование человеческого капитала. Здоровье как базовый актив человеческого капитала находится в наиболее затруднительной ситуации.

На протяжении истории люди стремились улучшить качество жизни не только в текущий момент времени, но и в будущем. Это является причиной использования здоровья как инвестиционного блага. Индекс развития человеческого потенциала (ИРПЧ) является основной характеристикой для оценки качества жизни. В работе рассматривается средняя ожидаемая продолжительность жизни как одно из направлений построения ИРЧП.

Толчком к написанию статьи выступил тот факт, что социальная жизнь постсоветской России отличается чрезвычайно низкой продолжительностью жизни населения. Хотя стоит заметить, что в последние годы наблюдается тенденция к увеличению продолжительности жизни населения в стране.

По нашему мнению, главной проблемой ухудшения показателей продолжительности жизни в России являются негативные инвестиции в капитал здоровья, которые порождаются таким явлением как «неверие в будущее», подразумевающее под собой настроения безысходности, пессимизм и чрезмерное беспокойство о будущем, и выражаются увеличением спроса на алкогольную продукцию и сигареты. Такие инвестиции приводят к тому, что люди, которые не верят в будущее и сосредоточены исключительно на краткосрочных задачах, «проедают» капитал здоровья [1].

Построение эконометрической модели

Цель исследования заключается в проверке гипотезы о том, что «неверие в будущее» является причиной негативных инвестиций в капитал здоровья, вследствие которых растет склонность к употреблению алкоголя и табака, а склонность к занятиям спортом уменьшается.

Эмпирической базой исследования служат данные, собранные путем проведения опроса в социальной сети, составленного на основе вопросов из базы RLMS. Объем выборки составил 145 наблюдений.

В качестве прокси для зависимой переменной в эконометрических моделях выделяют переменные, отражающие факт и частоту потребления алкоголя в течение последних 30 дней, факт потребления табака в течение последних 7 дней, периодичность занятий спортом, а также частоту посещения врача в течение года.

В качестве прокси для объясняющей переменной выделяются переменные, показывающие уровень жизнерадостности индивида, а также уровень удовлетворенности жизнью. Эти

переменные отражают желание индивида уйти от психологических и социальных проблем с помощью алкоголя. Для контролирования зависимости такой характеристики как посещение врача используется самооценка здоровья, которая имеет высокую степень корреляции с реальным состоянием здоровья индивида. Желание индивида снять напряжение и снизить ежедневный стресс с помощью курения контролируется переменной, которая отражает уровень беспокойства индивида о будущем.

В качестве контролирующих переменных выделяются переменные образования, семейного положения и материального положения семьи.

Для исследования бинарных зависимых переменных предполагается построение logit и/или probit-регрессии, а для исследования категориальных и упорядоченных переменных применяются упорядоченные logit и/или probit-регрессии.

Для дальнейшего исследования необходимо было определиться, какая из моделей будет использована. С этой целью были вычислены информационные критерии Байеса (BIC) и Акаике (AIC).

В результате в соответствии с обоими критериями для переменной, отражающей факт потребления табака, целесообразно использовать logit-модель, а для переменной, отражающей факт потребления алкоголя, наоборот – probit-модель. Но поскольку нам важно продемонстрировать все модели, используя одну разновидность регрессии, было решено использовать probit-модель. Для оценки упорядоченных переменных также будет использоваться probit-модель.

Для моделей бинарного выбора в дополнение к коэффициентам рассчитывают предельные эффекты регрессоров на ожидаемое значение объясняемой переменной. Предельный эффект отвечает на вопрос о том, как изменится вероятность того, что $Y_i = 1$ с ростом регрессора на единицу.

Табл. 3 – Предельный эффект для бинарных переменных

7kurl	Margin	Std. Err.	P> z	30alk1	Margin	Std. Err.	P> z
happy11				happy11			
2	-0.6736	0.1674	0	2	-0.0072	0.0133	0.589
3	-0.9515	0.0346	0	3	-0.1049	0.0745	0.159
4	-0.9661	0.0271	0	4	-0.0829	0.0709	0.243
5	-0.9972	0.0064	0	5	-0.7010	0.2862	0.014
1.poll	0.2090	0.0891	0.019	1.poll	-0.2264	0.1178	0.055
1.vozr1	-0.9271	0.0553	0	1.vozr1	0.1249	0.2743	0.649
velchl				velchl			
2	0.9968	0.0170	0	2	0.6114	0.3217	0.057
3	-0.0023	0.0174	0.895	3	0.9898	0.0121	0
4	0.9855	0.0252	0	4	0.2853	0.3350	0.394
1.slbcen1	-0.8760	0.1509	0	1.slbcen1	0.4281	0.4072	0.293
1.seml	-0.7268	0.2515	0.004	1.seml	0.2120	0.2875	0.461
matpoll				matpoll			
2	0.0667	0.0389	0.086	2	0.0456	0.0994	0.646
3	0.3232	0.0810	0	3	0.0034	0.1205	0.977
4	0.2541	0.2234	0.255	4	0.0964	0.1083	0.373
besb121				besb121			
2	-0.2547	0.1066	0.017	2	-0.0020	0.0840	0.981
3	0.1935	0.2003	0.014	3	0.0721	0.0700	0.303
4	-0.2533	0.1116	0.023	4	-0.0107	0.1089	0.922
5	-0.2753	0.1050	0.009	5	-0.3614	0.4545	0.427
uvertmatpoll				uvertmatpoll			
2	0.1842	0.0661	0.005	2	0.0156	0.0942	0.868
3	0.0587	0.0514	0.253	3	0.0372	0.1126	0.741
4	0.1372	0.0933	0.141	4	-0.0036	0.1385	0.979
5	-0.0024	0.0065	0.71	5	-0.2670	0.3025	0.377
oczl				oczl			
2	-0.0752	0.2926	0.797	2	0.2734	0.2898	0.345
3	-0.0840	0.2965	0.777	3	0.4079	0.2759	0.139
4	0.6842	0.3818	0.073	4	0.4388	0.2754	0.111
gorod1				gorod1			
0	0.0016	0.0020	0.829	0	-0.0016	0.0004	0.698
2	0.7903	0.1307	0	2	-0.5281	0.1490	0

Выводы

В результате проведенного анализа были получены следующие выводы

Снижение степени удовлетворенности жизнью оказывает влияние на частоту потребления алкогольных напитков, увеличивая ее. Также она оказывает влияние на регулярность занятий спортом, которая уменьшается с уменьшением степени удовлетворенности.

Уровень жизнерадостности индивида оказался сильно значимым при анализе зависимости потребления табачных изделий, с его уменьшением вероятность курения индивидом возрастает.

Самооценка здоровья индивидом оказалась значимым регрессором при анализе зависимости потребления алкоголя, с ее увеличением увеличивается как вероятность (незначительно), так и частота потребления алкоголя. Также она оказывает

влияние на частоту посещения индивидом специалистов, и чем выше самооценка здоровья индивидом, тем меньше вероятность посещения специалиста индивидом.

Увеличение величины города влечет за собой увеличение потребления алкоголя.

Индивиды, проживающие в Европейской части России, потребляют сигареты меньше, чем индивиды, проживающие в других городах, а алкоголь, напротив, больше.

Индивиды, проживающие в Томске, потребляют сигареты больше, чем индивиды, проживающие в Москве и Санкт-Петербурге, а алкоголь, напротив, меньше.

Таким образом, выдвинутая в работе гипотеза о влиянии «неверия в будущее» на инвестиции в капитал здоровья, по крайней мере, не отвергается.

В своей статье И. Розмаинский предлагает способы решения проблем в сфере здоровья и увеличения средней продолжительности жизни в нашей стране [1]. По его мнению, необходимо стимулировать у россиян нормальную, а не заниженную оценку будущего времени. Формирование институтов, помогающих укрепить уверенность в завтрашнем дне, будет способствовать борьбе с инвестиционной близорукостью. А развитие институтов гражданского общества поможет обеспечить контроль общества над властью.

Конечно, вышеперечисленные способы помогут решить часть проблем в сфере здравоохранения, но не стоит забывать и о том, что в большинстве случаев именно отдельные частные лица принимают решения о характере инвестиций в капитал здоровья. Именно поэтому необходимо просвещать население в сфере здравоохранения и пропагандировать здоровый образ жизни, бороться с высоким потреблением алкоголя и табака.

Литература

1. *Розмаинский И.* Почему капитал здоровья накапливается в развитых странах и «проедается» в постсоветской России? // Вопросы экономики. –2011. – №10. – С. 113–131.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ИДЕНТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

*Тельтевская В.А., Маколкина М.А., Киричек Р.В.
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-
Бруевича»,
valeria-telt@yandex.ru*

В данной статье рассматриваются проблемы идентификации устройств Интернета Вещей человеком. В качестве одного из возможных решений предлагается архитектура программно-аппаратного комплекса человеко-машинного взаимодействия с использованием технологий дополненной реальности.

Ключевые слова: дополненная реальность, идентификация, позиционирование, Интернет Вещей.

Введение

В настоящее время одним из самых актуальных направлений развития информационных технологий являются технологии Интернета Вещей (ИВ) [1]. Существует ряд проблем, который сопровождает внедрение данной технологии во все сферы человеческой жизнедеятельности.

Одной из этих проблем является идентификация устройств Интернета Вещей человеком. В настоящее время не существует единого способа поиска и идентификации устройств ИВ в окружающем пространстве [2, 3]. В качестве решения данной проблемы предлагается использовать технологии дополненной реальности.

Дополненная реальность – это группа технологий, позволяющих дополнить окружающий мир информацией из цифрового пространства [4, 5].

В данной статье предлагается архитектура программно-аппаратного комплекса (ПАК) для идентификации и

позиционирования устройств Интернета Вещей с помощью технологий дополненной реальности (ДР).

Архитектура программно-аппаратного комплекса

Для решения проблемы идентификации и позиционирования устройств Интернета Вещей предлагается архитектура программно-аппаратного комплекса (рис. 1), состоящего из:

- Устройства ДР (очки дополненной реальности);
- Сервера дополненной реальности;
- Меток, использующихся для идентификации и позиционирования устройств ИВ;
- Беспроводного маршрутизатора, соединенного с сетью связи общего пользования.

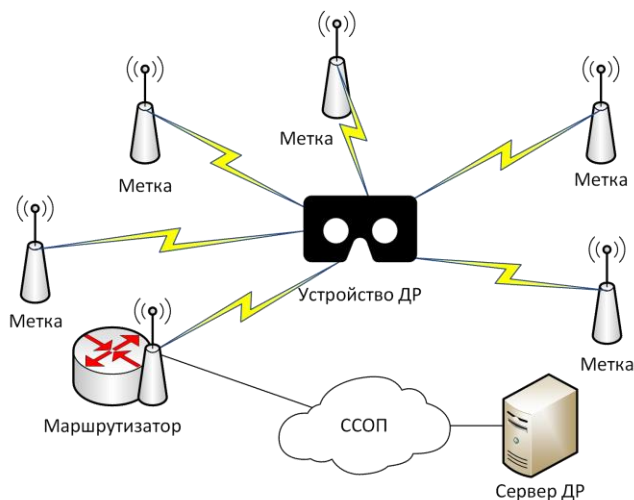


Рис. 1. Архитектура программно-аппаратного комплекса

В данном ПАК устройство ДР представляет собой вычислительное устройство, имеющее радиointерфейс, использующийся для поиска и идентификации меток ИВ.

Сервер ДР представляет собой сервер, хранящий идентификаторы меток и информацию об устройствах

Интернета Вещей и выполняющий вычисление местоположения меток в окружающем пространстве.

Метки являются маломощными беспроводными устройствами, хранящими идентификатор устройства ИВ, которому они принадлежат.

Для идентификации и позиционирования устройств ИВ человеком используется устройство ДР. Приложение, функционирующее на нем, сканирует окружающее пространство на наличие активных меток. Если метка находится на расстоянии менее 3 метров от устройства ДР (определяется с помощью предварительно разработанной системы позиционирования), приложение отправляет на метку запрос идентификатора. С помощью полученного идентификатора приложение получает информацию об устройстве ИВ и выводит информацию в устройстве ДР.

Выводы

На базе предложенной архитектуры ПАК планируется разработать модельную сеть идентификации и позиционирования устройств Интернета Вещей с помощью технологий ДР и провести тестирование ее производительности.

Литература

1. *Кучерявый А.Е.* Интернет Вещей//Электросвязь. 2013. № 1. С. 21-24. ISSN: 0013-5771;
2. *Данилов К.Н., Киричек Р.В., Кулик В.А.* Методы обнаружения интернет вещей в глобальной сети//Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 4. С. 48-56. ISSN: 2307-1303;
3. *Данилов К.Н., Кулик В.А., Киричек Р.В.* Исследование методов идентификации и аутентификации устройств Интернета Вещей//Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 49-57. ISSN: 2307-1303;
4. *Тельтевская В.А., Маколкина М.А.* Метод оценки качества восприятия в системах дополненной реальности// «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (DCCN-2016): материалы

Девятнадцатой международной научной конференции: в 3 томах. 21-25 ноября 2016. С. 419-426;

5. *Маколкина М. А., Тельтевская В. А., Кулик В. А., Киричек Р. В.* Исследование взаимодействия приложений дополненной реальности и методов управления БПЛА//Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, Т. 4, № 2. С. 33-42. ISSN: 2307-1303.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЁЖНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ К ВИДУ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ОТКАЗАМИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ⁵¹

Уанкпо Г.Ж.К., Козырев Д.В.

Российский Университет Дружбы Народов,
gibsonhouankpo@yahoo.fr, kozyrev_dv@rudn.university

Рассматривается система $\langle M_n/GI/I \rangle$ холодного резервирования с экспоненциальной функцией распределения (ФР) времени безотказной работы (в.б.р.) и произвольной ФР времени ремонта её элементов. Получены явные аналитические выражения для стационарного распределения вероятностей состояний системы и для стационарного вероятности б.р. системы. Проведено имитационное моделирование системы на основе дискретно-событийного подхода. Численные и графические результаты имитационного моделирования хорошо аппроксимируют аналитическую модель системы, а значит она может быть использована в тех случаях, когда не удается получить выражения для стационарных вероятностей состояний системы в явном аналитическом виде.

Ключевые слова: надежность резервированных систем, стационарные вероятности, чувствительность, математическое и имитационное моделирование

Введение

Постоянное развитие компьютерных сетей и систем передачи данных подчеркивает увеличивающуюся потребность в адекватных математических моделях и инструментальных средствах, позволяющих проводить исследование их функционирования. Необходимо иметь помощь как на этапах проектирования (для сравнения решений), так и эксплуатации

⁵¹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

(управление качеством сервиса) сетевых систем. Действительно, разработка сложной технической системы требует не только качественного моделирования, чтобы проверять, насколько логически правильно она построена, но требуется также и априорная проверка производительности системы на этапе проектирования.

Целью работы является проведение аналитического моделирования системы $\langle M_n/GI/1 \rangle$.

Модель и аналитические результаты

Рассмотрим случайный процесс $v(t)$ - число отказавших элементов в момент времени t , множество состояний системы $E = \{0, 1, 2, \dots, n\}$. Для описания поведения системы с помощью марковского процесса, введём дополнительную переменную $x(t) \in R_+^1$ - время, затраченное в момент t , на ремонт отказавшего элемента. Получим двумерный процесс $(v(t), x(t))$, с расширенным пространством состояний $\varepsilon = \{(0), (1, x), (2, x), \dots, (n, x)\}$.

Обозначим $p_0(t)$ - вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии $i = 0$, $p_i(t; x)$ - плотность распределения (по непрерывной компоненте) вероятностей того, что в момент времени t система находится в состоянии $i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, и время, затраченное на ремонт отказавшего элемента, находится в интервале $(x, x + dx)$.

$$p_0(t) = P\{v(t) = 0\},$$

$$p_i(t, x)dx = P\{v(t) = i, x < x(t) < x + dx\}, \quad i = \overline{1, n}$$

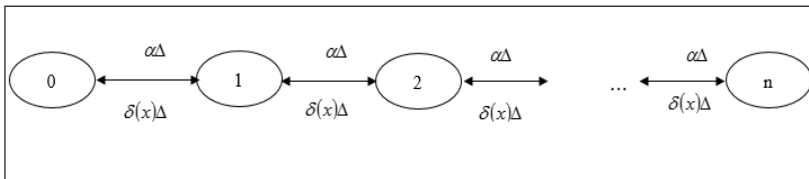


Рис.1. График интенсивности

С помощью формулы полной вероятности перейдем к выводу системы уравнений Колмогорова, а с предельным переходом при $\Delta \rightarrow 0$ и в предположении что процесс имеет стационарное распределение при $t \rightarrow \infty$, получаем систему дифференциальных уравнений Колмогорова (СДУК) с граничными условиями в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \cdot p_0 = \int_0^{\infty} p_1(x) \cdot \delta(x) dx \\ \frac{dp_i(x)}{dx} = -(\alpha + \delta(x)) \cdot p_i(x), \quad i = \overline{1, n-1} \\ \frac{dp_n(x)}{dx} = \alpha \cdot p_{n-1}(x) - p_n(x) \cdot \delta(x) \\ \text{Граничное условие} \\ p_i(0) = \alpha \cdot p_{i-1} + \int_0^{\infty} p_{i+1}(x) \cdot \delta(x) dx, \quad i = \overline{1, n-1} \end{array} \right.$$

Отсюда получаем стационарные вероятности состояний системы, используя метод вариации постоянной.

$$p_0 = C_1 \cdot \frac{\tilde{b}(\alpha)}{\alpha}$$

$$p_i = C_1 \cdot \frac{(1 - \tilde{b}(\alpha))^i}{\alpha \cdot \tilde{b}^{i-1}(\alpha)}, \quad i = \overline{1, n-1}$$

$$p_n = C_1 \cdot \frac{(1 - \tilde{b}(\alpha))^{n-2} \cdot (\rho^{-1} - 1 + \tilde{b}(\alpha))}{\alpha \cdot \tilde{b}^{n-2}(\alpha)}, \quad \rho^{-1} = \frac{EB}{EA} = b \cdot \alpha$$

$$C_1 = \alpha \cdot \left[\tilde{b}(\alpha) + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(1 - \tilde{b}(\alpha))^i}{\tilde{b}^{i-1}(\alpha)} + \frac{(1 - \tilde{b}(\alpha))^{n-2} (\rho^{-1} - 1 + \tilde{b}(\alpha))}{\tilde{b}^{n-2}(\alpha)} \right]^{-1}$$

На рисунке 1 представлены графики зависимости стационарной в.б.р. системы от относительной скорости восстановления. При $n = 3$

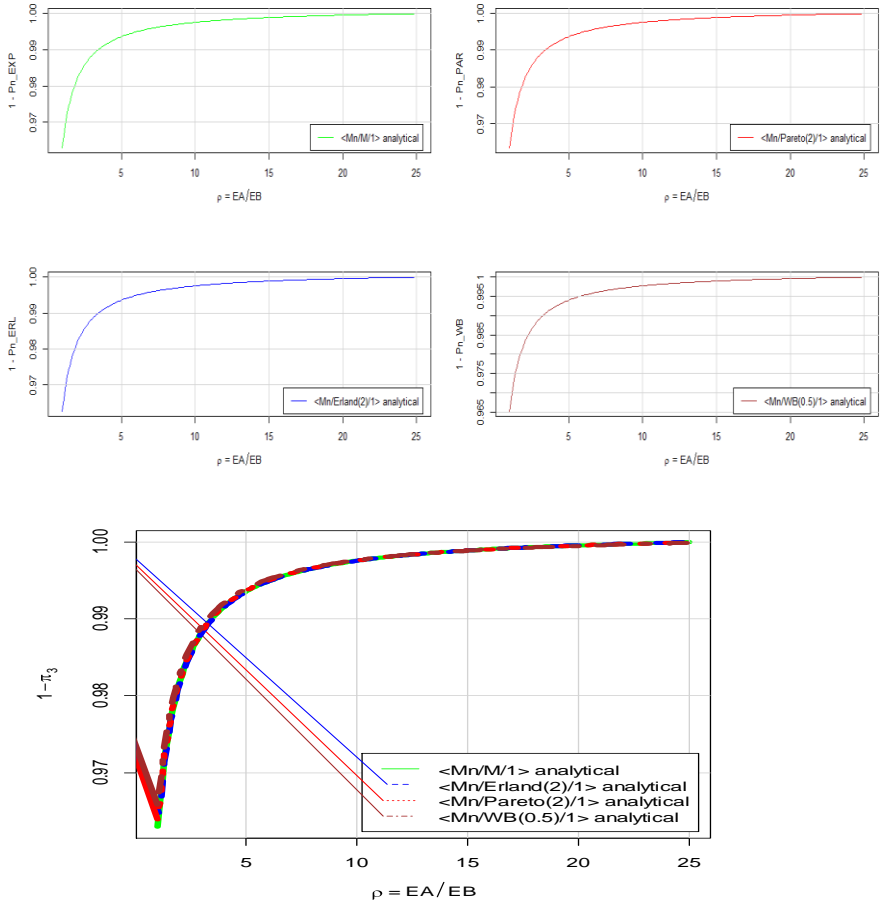


Рис.2. Графики зависимости стационарности вероятности б.р. $1 - p_n$ от ρ для различных ФР времени ремонта. При $n = 3$

Выводы

Для восстанавливаемой системы $\langle M_n / GI / 1 \rangle$ холодного резервирования с одним восстанавливающим устройством, с экспоненциальной ФР в.б.р. её элементов и произвольным законом распределения времени их ремонта были получены

явные аналитические выражения для стационарного распределения вероятностей состояний системы и для стационарной в.б.р. системы как в общем случае, так и для некоторых частных случаев распределений. Полученные формулы показывают наличие явной зависимости этих характеристик от вида ф.р. времени ремонта её элементов. Однако численные исследования и анализ построенных графиков показали, что эта зависимость становится исчезающе малой при «быстром» восстановлении, то есть с ростом относительной скорости восстановления ρ .

Литература

1. *Vishnevsky V.M., Kozyrev D.V., Semenova O.V.* Redundant queuing system with unreliable servers // International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops. IEEE Xplore, 2015. Pp. 283-286
2. *Козырев Д.В.*, Анализ вероятностно-временных характеристик высоконадёжных телекоммуникационных систем: диссертация ... кандидата физико-математических наук Москва, 2013.- 128 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-1/1005
3. *Гнеденко Б.В.*, О ненагруженном дублировании // Изв. АН СССР. Тех. кибернетика. 1964. № 4. С. 3–12.
4. *Гнеденко Б.В.*, О дублировании с восстановлением // Изв. АН СССР. Тех. кибернетика. 1964. № 5. С. 111–118.
5. *Соловьёв А.Д.*, Резервирование с быстрым восстановлением // Изв. АН СССР. Тех. кибернетика. 1970. № 1. С. 56–71.
6. *Рыков В., Чан Ань Нгуа*, О чувствительности характеристик надёжности систем к виду функций распределения времени безотказной работы и восстановления их элементов. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика. Информатика. Физика. № 3 (2014), стр.65-77.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА ЧИСЛА ЗАЯВОК В RQ-СИСТЕМЕ M/M/1⁵²

Фёдорова Е.А

Национальный исследовательский Томский государственный
университет,
moiskate@mail.ru

В работе исследуется случайный процесс числа заявок в RQ-системе M/M/1. Показано, что характеристическая функция имеет форму дискретного гамма-распределения.

Ключевые слова: RQ-система, орбита, дискретное гамма распределение.

Введение

В инфо-коммуникационных системах часто возникают ситуации повторных обращений заявок к обслуживающему прибору после неудачной попытки получить обслуживания. Такие повторные вызовы могут быть вызваны не только отсутствием свободных серверов в моменты поступления заявок, но техническими причинами (например, наличие технических неисправностей). В качестве математической модели подобных систем, как правило, используются системы массового обслуживания с повторными вызовами или RQ-системы (Retrial Queueing System) [1–2]. С помощью аппарата теории массового обслуживания находятся основные характеристики систем, необходимые для их анализа и оптимизации в будущем.

Описание модели

В работе рассматривается однолинейная RQ-система (рис. 1), на вход которой поступает простейший поток заявок с параметром λ , время обслуживания каждой заявки распределено по экспоненциальному закону с параметром μ . Если поступившая заявка застаёт прибор свободным, то оно занимает

⁵² Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00292 мол_а.

его для обслуживания. Если прибор занят, то заявка переходит на орбиту, где осуществляет случайную задержку, продолжительность которой имеет экспоненциальное распределение с параметром σ . С орбиты после случайной задержки заявка вновь обращается обслуживающему прибору с повторной попыткой его захвата. Если прибор свободен, то заявка с орбиты занимает его для обслуживания, в противном случае заявка мгновенно возвращается в источник повторных вызовов для реализации следующей задержки.

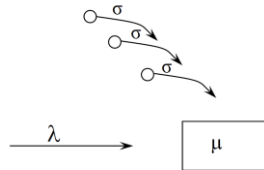


Рис. 1. RQ-система M|M|1

Ставится задача нахождения распределения вероятностей числа заявок в такой системе.

Исследование системы

Пусть $i(t)$ – число заявок в системе, а $k(t)$ – определяет состояние прибора следующим образом:

$$k(t) = \begin{cases} 0, & \text{если прибор свободен,} \\ 1, & \text{если прибор занят.} \end{cases}$$

Обозначим $P\{k(t)=k, i(t)=i\} = P(k, i, t)$ – вероятность того, что прибор в момент времени t находится в состоянии k и в системе находится i заявок.

Причем процесс $\{k(t), i(t)\}$ изменения состояний данной системы во времени является марковским.

Для распределения вероятностей $P(k, i, t)$ состояний рассматриваемой RQ-системы составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{\partial P(0,i,t)}{\partial t} = -(\lambda + i\sigma)P(0,i,t) + \mu P(1,i+1,t), \\ \frac{\partial P(1,i,t)}{\partial t} = -(\lambda + \mu)P(1,i,t) + \lambda P(0,i-1,t) + i\sigma \cdot P(0,i,t) + \lambda P(1,i-1,t). \end{cases} \quad (1)$$

В стационарном режиме система (1) примет вид:

$$\begin{cases} -(\lambda + i\sigma)P(0,i) + \mu P(1,i+1) = 0, \\ -(\lambda + \mu)P(1,i) + \lambda P(0,i-1) + i\sigma \cdot P(0,i) + \lambda P(1,i-1) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $P(k,i) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(k,i,t)$.

Перейдем к частичным характеристическим функциям $H_k(u) = \sum_i e^{ju} P(k,i)$.

Введем параметр $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, характеризующий загрузку системы.

Тогда система уравнений (2) для характеристических функций переписется в виде:

$$\begin{cases} e^{-ju} H_1(u) - \rho H_0(u) + \frac{j\sigma}{\mu} H_0'(u) = 0, \\ \rho e^{ju} H_0(u) + (\rho(e^{ju} - 1) - 1) H_1(u) - \frac{j\sigma}{\mu} H_0'(u) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Сложив уравнения системы (3), нетрудно получить равенство

$$H_1(u) = \frac{\rho}{e^{-ju} - \rho} H_0(u). \quad (4)$$

Подставим (4) в 1-е уравнение системы (3):

$$\begin{aligned} \frac{\rho e^{-ju}}{e^{-ju} - \rho} H_0(u) - \rho H_0(u) + \frac{j\sigma}{\mu} H_0'(u) &= 0, \\ \frac{\rho^2}{e^{-ju} - \rho} H_0(u) &= -\frac{j\sigma}{\mu} H_0'(u). \end{aligned}$$

Очевидно, что решение последнего выражения имеет вид

$$H_0(u) = C(1 - \rho e^{ju})^{-\frac{\rho\mu}{\sigma}}. \quad (5)$$

Подставим (5) в (4).

$$H_1(u) = \frac{\rho}{e^{-ju} - \rho} C(1 - \rho e^{ju})^{-\frac{\rho\mu}{\sigma}}.$$

Тогда характеристическая функция числа заявок в системе может быть представлена в виде:

$$H(u) = H_0(u) + H_1(u) = C(1 - \rho e^{ju})^{-\frac{\rho\lambda}{\sigma}} \frac{e^{-ju}}{e^{-ju} - \rho}$$

Из условия нормировки получаем, что $C = (1 - \rho)^{\frac{\rho\lambda}{\sigma} + 1}$. Тогда окончательно имеем:

$$H(u) = \left(\frac{1 - \rho}{1 - \rho e^{ju}} \right)^{\frac{\lambda}{\sigma} + 1}. \quad (6)$$

Нетрудно заметить, что $H(u)$ имеет форму гамма-распределения. Однако, исследуемый случайный процесс числа заявок в RQ-системе дискретный. В связи с этим, предлагается называть распределение вида (6) дискретным гамма-распределением.

Выводы

В работе выполнено исследование случайного процесса числа заявок в RQ-системе M/M/1. Получено, формула для характеристической функции числа заявок в системе в виде дискретного гамма-распределения. Предполагается в дальнейшем использовать полученные результаты для аппроксимации дискретным гамма-распределением более сложных RQ-систем (например, MMPP/M/1), для которых допредельное исследование выполнить невозможно.

Литература

1. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial Queueing Systems: A Computational Approach. – Berlin: Springer, 2008. – 267 p.
2. *Falin G.L., Templeton J.G.C.* Retrial queues. – London: Chapman & Hall, 1997. – 328 p.

О ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЯХ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АБОНЕНТОВ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ⁵³

Фомченко Т.Д., Волинец А.С., Крупко О.С., Медведева Е.Г.

Российский университет дружбы народов,
fomchenkotat@gmail.com., volynetc.sp@yandex.ru,
alesiakrupko@yandex.ru, egmedvedeva@gmail.com

Представлен пример дискретной модели движения для описания перемещения абонентов беспроводной сети внутри здания при решении задачи анализа загруженности разных частей здания. Такой анализ, являющийся обязательным этапом при проектировании зданий, позволяет составить оптимальный план эвакуации при устранении последствий чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: модели движения, Bluetooth Low Energy, беспроводная сеть, модели движения

Моделирование движения объектов приобретает большую актуальность в условиях растущего темпа современной жизни. Известны различные классы моделей движения – как модели индивидуальной мобильности (entity mobility models), когда исследуется перемещение объектов, движущихся независимо друг от друга, так и модели групповой мобильности (group mobility models), в которых, например, движение группы основано на траектории логического центра. Во многих странах мира моделирование движения объектов является обязательным этапом при проектировании зданий. Возможность достоверной оценки занятости пространства внутри помещения может оказаться полезной для управления в экстренной ситуации, поскольку дает возможность для наиболее эффективного распределения ресурсов, например, персонала для устранения инцидента. При моделировании движения внутри здания с

⁵³ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

целью оценки распределения объектов как правило, используются модели индивидуальной мобильности. Примером такой модели является т.н. «модель движения по сетке». Это модель в дискретном времени, когда на каждом временном такте объект передвигается на единичное расстояние с заданной вероятностью [1].

Для определения направления потоков и навигации внутри помещений, что необходимо для задания исходных данных для моделирования, используют технологию Bluetooth Low Energy (BLE), разработанную группой Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) и Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) в рамках стандарта IEEE 802.15.1 [2]. BLE-технология представляет собой технологию беспроводной персональной сети и используется для передачи данных на короткие расстояния. BLE-технология популярна благодаря низкому уровню электропотребления, низкой стоимости и совместимости с разными мобильными платформами и операционными системами. В [3] предлагается система для сбора исходных данных, которая состоит из маячков с технологией BLE, установленных внутри здания, мобильного приложения на телефоне посетителя и сервера удаленного доступа. Данный подход не требует проведения каких-либо операций на мобильном устройстве, так как все вычисления происходят на управляющем сервере. Маячки, расположенные в заданных зонах внутри здания, работают в режиме исходящих сообщений, передавая сигнал, который принимает мобильное устройство. Приложение, установленное на устройстве, затем по беспроводной сети передает информацию о его местонахождении на сервер, который собирает и обрабатывает статистику, необходимую для случая экстренной ситуации.

Литература

1. *Tracy Camp, Jeff Boleng and Vanessa Davies. A survey of mobility models for ad hoc network research. Wireless Comm. and Mobile Computing (WCMC), 2(5):483–502, 2002.*

2. Стандарты рабочей группы IEEE 802.15. Режим доступа – свободный: <http://ieee802.org/15/Bluetooth/index.html>.
3. *Avgoustinos Filippoupolitis, William Oliff, and George Loukas.* Occupancy Detection for Building Emergency Management Using BLE Beacons. ISICIS 2016: 233-240. 2016.

К АНАЛИЗУ МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ СЛУЧАЙНО РАСПОЛОЖЕННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕ УСТРОЙСТВ ⁵⁴

Харин П.А., Макеева Е.Д.

*Российский университет дружбы народов,
pxarin@mail.ru, len16730637@yandex.ru*

В работе проводится построение и исследуется модель беспроводной сети с совместным использованием радиочастот, в которой устройства случайным образом расположены в пространстве – находятся на производном расстоянии от базовой станции и на произвольной высоте.

Ключевые слова: беспроводная сеть, совместное использование радиочастот, Licensed Shared Access (LSA), Poisson Point Process (PPP), система массового обслуживания

Существуют различные факторы, которые влияют на качество сигнала в беспроводной сети – это плотность построек, ландшафт, высота расположения устройств.

Рассмотрим следующую модель: в соте радиуса R равномерно распределены устройства. Расстояние между устройством и базовой станцией обозначим случайной величиной ξ_d , мощность сигнала ξ_p , затухание сигнала G / ξ_d^k , где G коэффициент затухания сигнала, k степень затухания сигнала. Зависимость скорости передачи данных от расстояния между устройством и базовой станцией, а также коэффициент распространения сигнала описывается по формуле Шеннона. Достижимая скорость $r(\xi_d, \xi_p)$ передачи данных зависит от

⁵⁴ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

ширины полосы частот ω , мощности сигнала ξ_p , расстояния

$$\xi_d \text{ и уровня шума } N_0 \quad r(\xi_d, \xi_p) = \omega \ln \left(1 + \frac{G \xi_p}{\xi_d^k N_0} \right).$$

Пусть высота мобильного терминала также является случайной величиной ξ_h , которая распределена по стандартному нормальному закону. Интерес представляет совместная плотность распределения двух случайных величин ξ_d и ξ_h , на базе которой в работе проводится расчет показателей качества обслуживания устройств, в том числе вероятности блокировки.

Литература

1. *Ahmadian, A., Galinina, O., Gudkova, I.A., Andreev, S., Shorgin, S., Samouylov, K.* On capturing spatial diversity of joint M2M/H2H dynamic uplink transmissions in 3GPP lte cellular system // (2015) Lecture Notes in Computer Science, 9247, pp. 407-421.
2. *Samouylov, K., Gudkova, I., Markova, E., Dzantiev, I.* On analyzing the blocking probability of M2M transmissions for a CQI-based RRM scheme model in 3GPP LTE // (2016) Communications in Computer and Information Science, 638, pp. 327-340.
3. *Sopin, E., Gudkova, I., Markova, E., Ageyev, K.* Approximation of resource requirements distribution for the analysis of M2M traffic characteristics // (2016) CEUR Workshop Proceedings, 1763, pp. 64-70.
4. *Gudkova, I., Markova, E., Masek, P., Andreev, S., Hosek, J., Yarkina, N., Samouylov, K., Koucheryavy, Y.* Modeling the utilization of a multi-tenant band in 3GPP LTE system with Licensed Shared Access // (2016) International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, 2016-December, статья № 7765343, pp. 119-123.

О МЕТОДАХ БИЗНЕС-АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ (PROCESS INTELLIGENCE) ⁵⁵

Хуракай Д.М.

*Российский университет дружбы народов,
homelinkin@mail.ru, gudkova_ia@rudn.university*

В работе исследованы методы бизнес-анализа моделей процессов.

Ключевые слова: журнал событий, логи, анализ процесса, анализ эффективности, соответствие процесса

Event Log (лог, журнал событий) – одно из приложений в BPMN, которое обрабатывает информацию, где владелец процесса может просмотреть, как участник процесса выполняет задачи, и, опираясь на информацию, сделать выводы по ним. Event Log направлен на грамотный анализ процесса, его методы направлены на обнаружение слабых мест процесса. Цель работы состоит в изучение модели Event Log и методов ее анализа и критериев, использующихся в методе.

Журнал событий, в целом, относит каждое событие к моменту его возникновения, что отображается как сюжетное событие на временной оси. Существует два уровня детализации для построения события в виде диаграмм: точечная диаграммы (рис. 1), использующая метку времени, чтобы нарисовать событие, и диаграмма сроков, показывающая длительность выполнения задачи и время ожидания (рис. 2).

⁵⁵ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

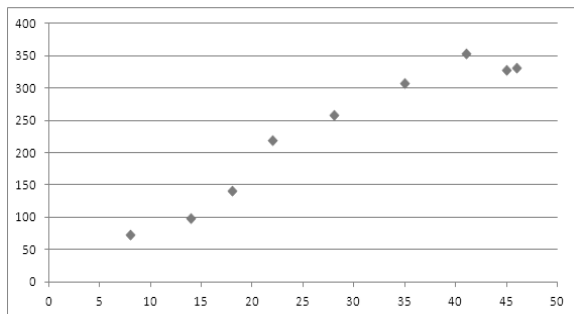


Рис. 1. Точечная диаграмма данных журнала

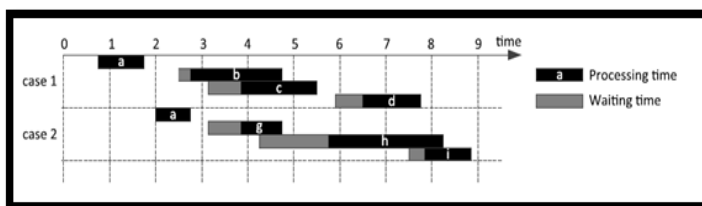


Рис. 2. Ступенчатая диаграмма

Интеллектуальный анализ рассматривается как мощный инструмент для продуктивной работы не только с BPMN, но и с другими самостоятельными системами. Такая связь образуется благодаря Event Logs. Через Event Logs можно посмотреть, какие процессы являются самыми актуальными или какие являются ненужными. Event Logs систематизируют данные, а методы анализа, обработки, соответствия, применяемые к ней, помогают облегчить работу с информацией.

Литература

1. *Dumas, M., Mendling, J. et al. Fundamentals of Business Process Management//Springer.-2013.- 414.*
2. *Samouylov, K., Gaidamaka, Y., Zaripova, E. Analysis of business process execution time with queueing theory models // (2016) Communications in Computer and Information Science, 638, pp. 315-326.*

К ВЫБОРУ КЛАССА МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ АНАЛИЗЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В СЕТЯХ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ⁵⁶

Цветкова О.О., Гарибян А.А., Стуклов Д.Н., Медведева Е.Г.

*Российский университет дружбы народов,
oksana.tsvetkova.1995@mail.ru, armen.zed@yandex.ru,
stuklov1996@mail.ru, egmedvedeva@gmail.com*

Поставлены задачи исследования моделей движения для анализа интерференции в сетях пятого поколения.

Ключевые слова: модели движения, случайные блуждания, скорость, контрольная точка, взвод, промежуток времени, дальность, очередь одиночного сервера, период занятости.

В настоящее время важное место в жизни каждого человека занимает мобильный Интернет. Человек может подключиться к сети в любой географической точке, и уже не только со смартфона, а так же используя умные часы, планшет, ноутбук. С этими задачами могут справиться сети пятого поколения (Fifth Generation, 5G) за счет увеличения емкости при применении технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT). В ближайшем будущем на одном аккаунте у каждого пользователя будет около 100 устройств, требующих подключения к сети, большая часть из них будет представлять собой датчики света, датчики температуры, сигнализации дома, машины. Часть этих беспроводных устройств могут быть подвижными, поэтому исследование качества предоставления услуг в сетях пятого поколения необходимо проводить с учетом траекторий движения абонентов.

В настоящее время для моделирования передвижения беспроводных устройств традиционно используются два типа моделей мобильности: так называемые «следы» (traces) и синтетические модели (synthetic models). Моделирование

⁵⁶ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-03051.

«следов» основано на сборе и анализе статистики движения абонентов в реальных беспроводных сетях. Этот тип моделей обеспечивает достоверную информацию за счет включения большого количества участников и длительного периода наблюдения, однако применим лишь при анализе уже существующих сетей. Поскольку сети 5G еще не реализованы, необходимо использовать синтетические модели. Синтетические модели должны реалистично воспроизводить поведение абонентов беспроводной сети, задавая правило изменения скорости и направления движения мобильных узлов, которые должны происходить в разумных временных интервалах. Например, мобильные узлы не должны иметь прямую траекторию движения и постоянную скорость в течение всего времени моделирования, потому что в реальных сетях движение абонентов имеет более сложный характер. В обзоре [1] представлены несколько синтетических моделей мобильности, описывающих независимое друг от друга движение абонентов беспроводной сети, т.н. модели индивидуальной мобильности (entity mobility models), а также модели групповой мобильности (group mobility models), в которых, например, движение группы основано на траектории логического центра. В числе первых модель RW (Random Walk), для которой в каждой точке направление и скорость движения разыгрываются случайным образом, ее расширение - модель RWP (Random Waypoint), в которой предусмотрено время остановки в каждой точке перед продолжением движения, а также модель RD (Random Direction), для которой направление и скорость движения меняется при достижении объектом границы области моделирования. Интересным развитием модели RWP также является ее вероятностная версия, в которой следующая позиция мобильного узла определяется в соответствии с заданными вероятностями. Также к моделям индивидуальной мобильности относится т.н. «модель движения по сетке» - модель в дискретном времени, когда на каждом временном такте объект передвигается на единичное расстояние

с заданной вероятностью. К моделям групповой мобильности относятся модель ECRM (Exponential Correlated Random Mobility), основанная на экспоненциальной зависимости скорости движения объектов; модель CM (Column Mobility), в которой моделируется движение объектов, выстроенных в линию; NCM (Nomadic Community Mobility), модель преследования (Pursue Mobility), в которой группа следует за лидером, передвигающимся по заданной траектории, а также наиболее общая модель Reference Point Group Mobility Model, в которой предусмотрено случайное движение группы, а также случайное перемещение каждого отдельного мобильного узла внутри группы.

Интересной является также задача моделирования движения автомобилей [2] для анализа дорожного трафика, с помощью которой можно найти среднее число транспортных средств в кортеже, среднее число последующих транспортных средств в свободном состоянии потока, а также среднюю длину кортежа и расстояние между кортежами.

Литература

1. *Tracy Camp, Jeff Boleng, Vanessa Davies* “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research”, *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 2002; 2:483–502 (DOI: 10.1002/wcm.72)
2. *V. Naumov*, “New Queueing Approach to the Vehicle Platoon Analysis”, *Fifth International Multi-conference on Computing in the Global Information Technology*, 2010, pp.175-179

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ С РЕСУРСАМИ В СЛУЧАЙНОМ ОКРУЖЕНИИ⁵⁷

Цурлуков В.В.

*Российский университет дружбы народов,
dober.vvt@gmail.com*

Представлено описание системы с выделением ресурсов, функционирующей в случайной среде. Сформулированы основные цели исследования.

Ключевые слова: система с выделением ресурсов, случайная среда.

Введение

Математическая модель анализа функционирования современных телекоммуникационных систем должна учитывать воздействие внешних факторов, реализуемых при построении модели с помощью элементов теории массового обслуживания (теории телетрафика) [1,2], а именно с помощью процессов поступления и/или обслуживания, управляемых внешним случайным процессом. Один из простейших случаев, позволяющий как построить адекватную математическую модель, так и получить хорошие аналитические выражения, это случай, когда процессы поступления/обслуживания управляются марковским процессом (Markov modulated arrival process (MMAP), Markov modulated service process (MMSP)) [3,4].

Также актуальным является анализ систем, когда поступающим запросам помимо обслуживания требуется еще и предоставление дополнительных ресурсов фиксированной или переменной длины [5].

В данной работе представлено описание системы, функционирующей в случайной среде и предоставляющей ресурсы фиксированного объема.

⁵⁷ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Описание системы

Будем рассматривать систему вида $MMPP_2|MMSP_2|n|r|R_1, R_2$ (в нотации Башарина-Кендалла [1,2]), состоящую из $1 \leq n < \infty$ однородных приборов, время обслуживания на каждом из которых подчинено экспоненциальному распределению, и накопителя емкости $r \leq \infty$. В систему поступает пуассоновский поток заявок. R_1 и R_2 – объем ресурсов, предоставляемый системой поступившим заявкам.

Случайное окружение представлено двумя марковскими процессами (МП) $\eta_1(t)$ и $\eta_2(t)$, управляющими поступлением и обслуживанием с предоставлением ресурсов, каждый из управляющих процессов имеет лишь два состояния. Если МП $\eta_1(t)$ находится в состоянии 1, то заявки поступают с интенсивностью λ_1 и каждой поступающей заявке требуется фиксированный k_1 объем ресурсов, для состояния 2 МП $\eta_1(t)$ – заявки поступают с интенсивностью λ_2 с требованием на k_2 ресурсов. Если управляющий обслуживанием и предоставлением ресурсов МП $\eta_2(t)$ находится в состоянии 1, то общий объем ресурсов системы равен $R_1 < \infty$ и интенсивность обслуживания равна μ_1 . Если МП $\eta_2(t)$ пребывает в состоянии 2, то заявки на приборах обслуживаются с интенсивностью μ_2 и общий объем ресурсов системы равен $R_2 = \infty$. Переходы управляющих МП $\eta_1(t)$ и $\eta_2(t)$ из одного состояния в другое определяются соответствующими инфинитезимальными матрицами Λ и M .

Функционирование системы можно описать следующим случайным процессом $\xi(t) = \{\xi_1(t), \xi_2(t), R(t), \eta_1(t), \eta_2(t)\}$, где $\xi_1(t)$ – число заявок с требованиями на ресурс размера k_1 , $\xi_2(t)$ – число заявок с требованиями на ресурс размера k_2 , $R(t) = \max(0, R_1 - \xi_1(t)k_1(t) - \xi_2(t)k_2(t))$ – текущий объем ресурсов всей системы. Будем предполагать, что $R_1 > n \cdot \max(k_1; k_2)$ – конечного объема ресурсов системы достаточно для обслуживания заявок на имеющихся приборах.

Предполагается, что, если $R(t)$ меньше требуемого поступающей заявкой ресурса, то данная заявка теряется. Также возможны потери заявок, уже находящихся в системе, из-за перехода системы из состояния с неограниченным объемом ресурсов R_2 в состояние с ограниченным объемом ресурсов $R(t) = R_1 - \xi_1(t)k_1(t) - \xi_2(t)k_2(t)$.

Основная задача – попытаться получить основные вероятностно-временные характеристики данной системы.

Выводы

В работе построена математическая модель системы, функционирующей в случайной среде, с выделением ресурсов поступающим заявкам, сформулированы основные задачи исследования

Литература

1. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика. – М.: Изд. РУДН, 3-е изд., испр. и доп. — М.: РУДН, 2009.
2. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. – М.: РУДН, 1995 г
3. Zaryadov I.S., Korolkova A.V., Kulyabov D.S., Milovanova T.A., Tsurlov V.V. The Survey on Markov-Modulated Arrival Processes and Their Application to the Analysis of Active Queue Management Algorithms // DCCN 2017. – Communications in Computer and Information Science. – Vol. 700. – Springer International Publishing AG. – Pp. 417–430.
4. Ng Chee-Hoc, Soong Boon-Hee. Queueing Modelling Fundamentals with Applications in Communication Networks. 2nd Edition. – John Wiley & Sons Ltd, 2008
5. Naumov V., Samouylov K., Yarkina N., Sopin E., Andreev S., Samuylov A. LTE Performance Analysis Using Queueing Systems with Finite Resources and Random Requirements // 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems ICUMT-2015» (October 6–8, 2015, Brno, Czech Republic). – Pp. 100–103.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ⁵⁸

Чухно Н.В

Российский университет дружбы народов,
nadezdachukhno@yandex.ru

В работе рассмотрен клиентоориентированный процесс телекоммуникационной компании. Для оценки эффективности работы компании отрасли связи было применено математическое моделирование. Исследование проведено на основе расширенной карты процессов деятельности eТОМ и диаграммы последовательности шагов в нотации BPMN. Результат работы - математическая модель в виде открытой неоднородной сети массового обслуживания с разнотипными заявками для процесса «Проблема-Решение». Также рассчитано среднее время протекания процесса.

Ключевые слова: расширенная карта процессов деятельности eТОМ, бизнес-процесс, сеть массового обслуживания, среднее время обслуживания клиента, математическая модель.

Введение

Телекоммуникационный сектор включает в себя компании, которые предоставляют доступ к связи в глобальном масштабе по телефону или через Интернет. Эти компании создали инфраструктуру, которая позволяет пересылать данные в любую точку мира. Основными сегментами в телекоммуникационной отрасли являются беспроводная связь, оборудования связи, системы и продукты обработки данных, междугородние и международные телекоммуникационные услуги, а также диверсифицированные услуги связи.

Самая быстрорастущая область в секторе – беспроводная связь, так как все больше коммуникаций и вычислений

⁵⁸ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

переносится на мобильные устройства. В перспективе главная задача отрасли – не отставать от спроса людей на более быструю связь. Компании, которые могут удовлетворить эти потребности, процветают.

С каждым годом конкуренция между компаниями отрасли телекоммуникаций возрастает. Для того, чтобы сохранить рентабельность в условиях возросшей конкуренции, компаниям необходимо четкое определение и описание бизнес-процессов[1,2]. Также одним из важных факторов для успешного развития компании отрасли связи является анализ эффективности работы, например, с помощью математического моделирования[3,4].

Построение математической модели

Процесс «Проблема-Решение» имеет дело с технической жалобой (проблемой), исходящей от клиента. Данный процесс анализирует проблему клиента, определяет источник проблемы, инициирует решение, осуществляет контроль за ходом восстановительных работ и закрывает инцидент (проблему), когда неисправность устранена.

Основанием для открытия инцидента являются сбои в работе продукта/услуги или снижение качества продукта/услуги.

Процесс «Проблема-Решение» состоит из 8 узлов, каждый из которых отвечает за определенные задачи в рамках своей деятельности и реализует их (рис. 1). Процесс начинается с запроса клиента: узлы 1 и 2 отвечают за взаимодействие клиента и компании. 3 узел – начальный уровень решения проблемы клиента. За решение проблемы на уровне услуг несет ответственность 4 узел. 5 Узел – уровень ресурсов, 6 – уровень поставщиков и партнеров. Когда проблема клиента разрешена, активируются 7 и 8 узлы – Система управления выставлением счетов и Система проверки качества соответственно.

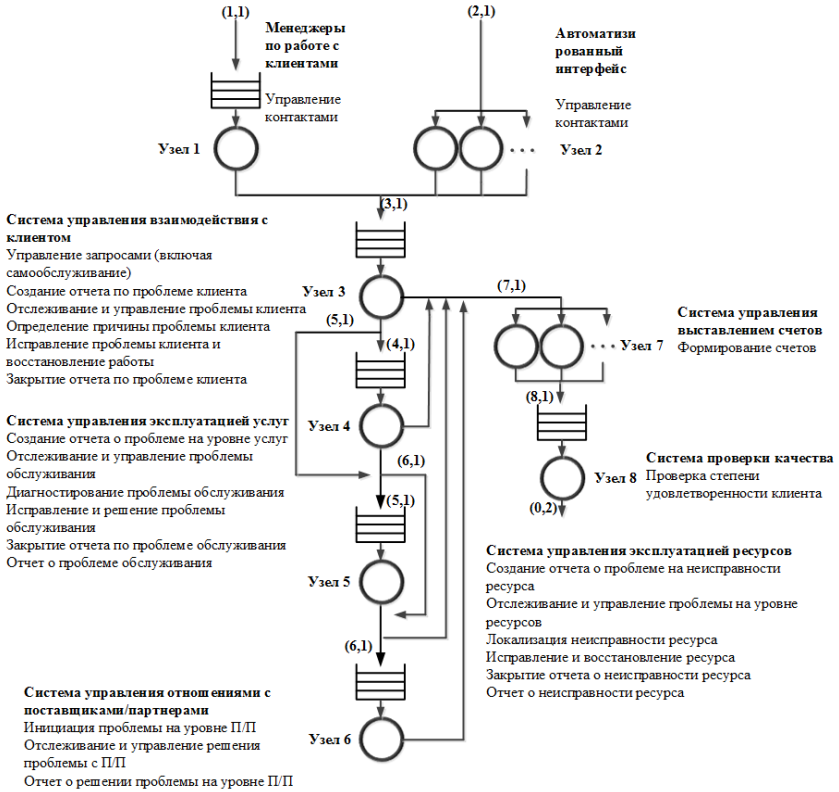


Рис. 1. Модель СеМО для клиентоориентированного процесса «Проблема – Решение»

На рис. 1 представлена схема СеМО для моделирования исходного бизнес-процесса. Математическая модель обслуживает 2 типа заявок. В зависимости от масштаба проблемы, заявка может пройти через 8 узлов модели – в самом серьезном случае, и через 4 узла – в самом простом, когда проблема решается на начальном уровне.

Выводы и задачи дальнейших исследований

В работе рассмотрена архитектура бизнес-процесса и разработана математическая модель сквозного эталонного процесса телекоммуникационной компании. По данной модели произведен расчет среднего времени выполнения процесса и проанализирована работа компании.

Планируется исследовать другие аспекты, влияющие на эффективность работы телекоммуникационной компании, например, оценить долю удовлетворенных клиентов, время ожидания клиента, доход компании, прибыль и т.д.

Литература

1. *Самуйлов К.Е., Серебренникова Н.В., Чукарин А.В., Яркина Н.В.* Основы формальных методов описания бизнес-процессов. Учеб. пособие – М.: РУДН, 2008. – 130 с.: ил.
2. Сайт международного некоммерческого консорциума TeleManagementForum, релиз 16.5 [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.tmforum.org, ограниченный доступ (требуется пароль).
3. *Самуйлов К.Е., Чукарин А.В., Гайдамака Ю.В., Зарипова Э.Р.* Математическая модель и метод оптимизации времени выполнения бизнес- процесса телекоммуникационной компании // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №1. С. 37-44.
4. *Бочаров П.П., Печинкин А.В.* Теория массового обслуживания. – М.: РУДН, 1995. – 529 с.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА
«ПОТРЕБЛЕНИЕ-ОПЛАТА»
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ В ВИДЕ
СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ⁵⁹**

Чухно О.В.

Российский университет дружбы народов,

olga-chukhno95@yandex.ru

В докладе разработана математическая модель бизнес-процесса «Потребление-Оплата» в виде сети массового обслуживания с неоднородными заявками. Проведен анализ одного из основных показателей эффективности деятельности телекоммуникационной компании - среднего времени обслуживания клиентов.

Ключевые слова: расширенная карта процессов деятельности eTOM, TM Forum Framework, эталонный сквозной бизнес-процесс, сеть массового обслуживания, среднее время выполнения бизнес-процесса, математическая модель.

Введение

В настоящее время индустрия коммуникаций находится в завидном положении, имея огромный спрос на свой «основной продукт» и особенно на услуги передачи данных по всему миру. В цифровой индустрии есть масса новых возможностей для отрасли связи. Одной из самых больших оперативных задач для телекоммуникационных компаний является то, что ожидания клиентов, которые постоянно растут, нужно оправдывать и удовлетворять. Телекоммуникационные компании вкладывают значительные средства и всегда стремятся доставить то, что хочет клиент. Также целью телекоммуникационных компаний всегда было уменьшение затрат. TM Forum [1] является некоммерческой отраслевой организацией для поставщиков услуг в сфере телекоммуникаций и индустрии развлечений. Жизненная трансформация должна упростить предложение

⁵⁹ Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

продукта и услуг, особенно в области ИТ, внедрить стандарты, чтобы улучшить согласованность и легкость интеграции, а также оптимизировать операции [2]. Проанализировать эффективность внедрения стандартов можно с помощью построения математических моделей [3,4].

Построение модели бизнес-процесса «Потребление-Оплата» в виде сети массового обслуживания

Для анализа эффективности работы телекоммуникационной компании рассмотрим сквозной эталонный процесс «Потребление-Оплата».

Процесс начинается с того, что клиент делает запрос на услугу, телекоммуникационные компании предоставляют данную услугу клиенту. Затем рассчитывается стоимость предоставленной услуги, направляется счет клиенту для оплаты. Также клиент может запросить платежные данные, которые предоставит ему компания. В завершении процесса сотрудники компании оценивают качество предоставленной услуги.

В работе применен аппарат сети массового обслуживания для построения модели деятельности компании на примере бизнес-процесса «Потребление-Оплата» (рис. 1). Запросы, поступающие от клиентов, являются входными потоками СеМО. В каждом узле отдельные СМО обрабатывают заявки на определенных этапах. Выходные заявки СеМО – результаты обработки запросов. Множество узлов СеМО имеет вид $M = \{1,2,3,4,5,6\}$. Узел 0 моделирует внешнюю среду, 1 – систему управления обеспечения ресурсами, 2 – систему управления предоставления услуги клиенту, 3 – систему управления тарифными планами клиентов, 4 – систему управления выставлением счетов, 5 - систему управления взаимодействием с клиентом, 6 - отдел по качеству обслуживания клиентов. В сети циркулируют заявки двух типов: запрос на использование и оплату и информационный запрос.

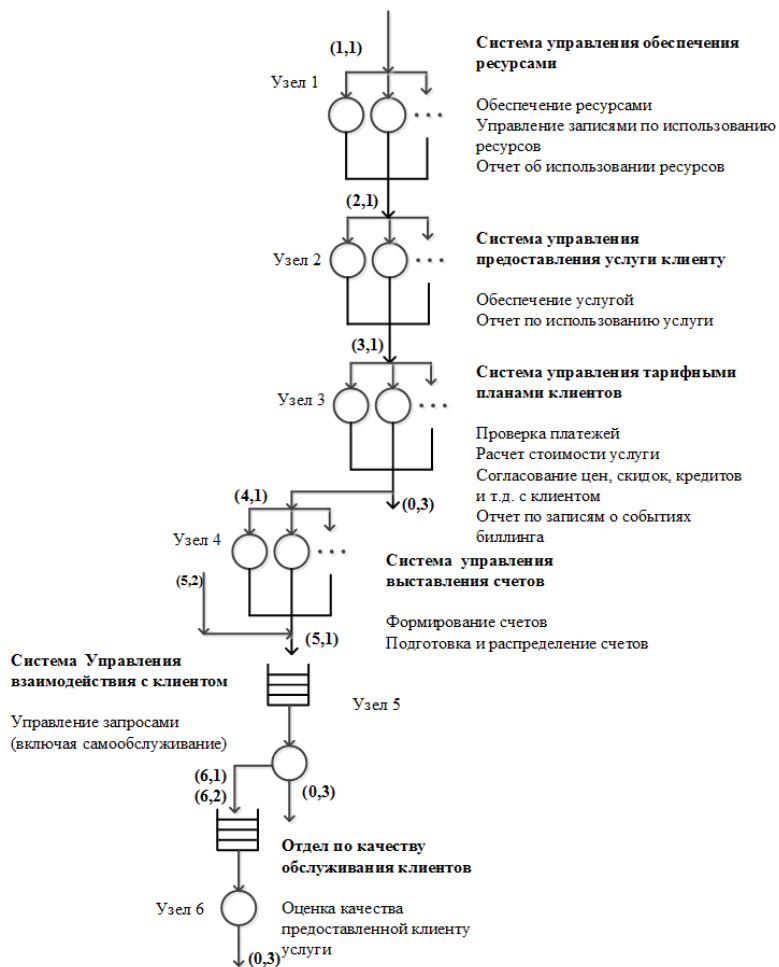


Рис. 1. Модель процесса в виде СеМО

Процесс «Потребление-Оплата» касается всех видов деятельности телекоммуникационной компании, связанных с обработкой продукта / услуги. Основной целью этого процесса является обеспечение точности ценообразования, когда все

данные об использовании фиксируются и обрабатываются для генерации счетов, а также обслуживание любых платежных запросов.

Выводы и задачи дальнейших исследований

Построена математическая модель эталонного сквозного процесса деятельности телекоммуникационной компании «Потребление-Оплата» в виде СеМО с неоднородными заявками. Данная модель в экспоненциальном случае позволит провести оценку среднего времени обслуживания клиента.

Задачей дальнейших исследований является анализ бизнес-процесса на основе таких показателей производительности, как расходы на ресурсы и обслуживание.

Литература

1. Чукарин А.В., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В. Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями. Монография. – М.: Альпина Паблишерз. 2016. – 619 с.: ил.
2. Сайт международного некоммерческого консорциума TeleManagementForum, релиз 16.5 [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.tmforum.org, ограниченный доступ (требуется пароль).
3. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. – М.: РУДН, 1995 – 529 с.
4. Самуйлов К.Е., Чукарин А.В., Гайдамака Ю.В., Зарипова Э.Р. Математическая модель и метод оптимизации времени выполнения бизнес- процесса телекоммуникационной компании // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №1. С. 37-44.

РЕШЕНИЯ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ⁶⁰

Андреев С.Д.

*Институт проблем информатики Федерального
исследовательского центра «Информатика и управление»
Российской академии наук, Москва, Россия,*

e-mail: serge.andreev@gmail.com

Ожидается, что число подключенных к сетевой инфраструктуре автоматических и автономных устройств (машин) к 2021 году достигнет отметки в 28 миллиардов, что в разы превышает количество соединений, требующихся человеку. Совокупность таких подключенных машин принято называть Интернетом Вещей (ИВ), который находит применение в различных сферах жизнедеятельности, от автоматизации промышленного производства и здравоохранения до автомобилестроения и общественной безопасности. Разнообразие современных приложений ИВ можно условно разделить по их техническим показателям на два класса: (1) “массовые” ИВ-системы и (2) “критические” ИВ-системы.

“Массовые” приложения ИВ отличаются большими объемами подключенных устройств, таких как интеллектуальные сенсоры и измерители, а также прочее оборудование мониторинга низкой стоимости. С другой стороны, “критические” системы ИВ (промышленные роботы, небольшие беспилотные летательные аппараты, подключенные и автономные автомобили и др.) имеют более высокую стоимость и, как следствие, более строгие требования к показателям надежности, доступности и задержки соответствующих сетевых соединений [1]. Современные беспроводные технологии так называемого пятого поколения

⁶⁰ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках научного проекта № 16-11-10227.

направлены на удовлетворение разнородных требований, характерных обоим классам систем ИВ.

Ожидается, что разнообразные ИВ-устройства будут использовать весь спектр современных и перспективных беспроводных технологий, включая текущие микроволновые телекоммуникационные стандарты (3GPP LTE, IEEE 802.11 и т.д.), а также новейшие системы связи на крайне высоких частотах (использующие миллиметровые волны) [2]. При этом увеличивается разрыв между потребительским и промышленным сегментами ИВ, который приводит к формированию соответствующих типовых решений беспроводной связи. В то время как потребительские ИВ-приложения (такие как средства автоматизации домашнего хозяйства) присутствуют на рынке уже более десятилетия, промышленные ИВ-системы только начинают проникать в различные сферы “бизнес для бизнеса”.

На сегодняшний день, использование традиционных средств беспроводной связи для новейших промышленных ИВ-приложений, называемых также Промышленным Интернетом (ИИ), крайне затруднено тем фактом, что они в силу своего исторического развития ориентировались на удовлетворение требований, характерных соединениям от пользователей-людей. В свою очередь, подключенные к сети машины более чувствительны к показателям задержки передачи информации (вплоть до значения в 1 мс), доступности, а также надежности (порядка 99.999%) беспроводного соединения [3]. Удовлетворение данных критериев требует разработки принципиально новых решений беспроводной связи, которые отличаются от известных более широкой полосой пропускания (и, как правило, более высокочастотной направленной передачей), более надежными средствами помехоустойчивого кодирования, а также более гибкими и динамичными протоколами канального уровня.

Необходимость скорейшей разработки перспективных технологий для бурно развивающихся приложений ИИ,

особенно обостряющаяся в связи с переходом к цифровой экономике, признана по всему миру и в настоящее время активно ведется в рамках таких инновационных программ как “Industrie 4.0” (финансируемая правительством Германии), “Made in China 2025” (инициированная в Китае) и многих других. В России проектирование и внедрение беспроводных решений ИИ еще не получило должного внимания и необходимо оперативное проведение опережающих исследований в целях предотвращения возможного отставания от ведущих международных инициатив в данной области.

Литература

1. *M. Palattella, M. Dohler, L. Grieco, G. Rizzo, J. Torsner, T. Engel, L. Ladid: Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 34(3): 510-527 (2016).*
2. *A. Orsino, A. Ometov, G. Fodor, D. Moltchanov, L. Militano, S. Andreev, O. Yilmaz, T. Tirronen, J. Torsner, G. Araniti, A. Iera, M. Dohler, Y. Koucheryavy: Effects of Heterogeneous Mobility on D2D- and Drone-Assisted Mission-Critical MTC in 5G. IEEE Communications Magazine 55(2): 79-87 (2017).*
3. *J.-Q. Li, F. Yu, G. Deng, C. Luo, Z. Ming, Q. Yan: Industrial Internet: A Survey on the Enabling Technologies, Applications, and Challenges. IEEE Communications Surveys and Tutorials 19(3): 1504-1526 (2017).*

Научное издание

**МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
ПО ПРИКЛАДНОЙ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ
(АРТСТ–2017)**

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*

Подписано в печать 02.10.2017 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 19,3. Тираж 500 экз. Заказ 1876.

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. 952-04-41