

Сети связи следующего поколения

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ M2M ТРАФИКА ОТ ИСТОЧНИКОВ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В ДВУХ РЕЖИМАХ

Абаев П.О., Бесчастный В.А.

Российский университет дружбы народов, pabaev@sci.pfu.edu.ru, vabeschastny@gmail.com

В работе построена математическая модель обслуживания M2M трафика, источниками которого являются устройства, работающие в двух режимах – нормальном и экстренном.

Ключевые слова: M2M трафик, LTE, лексикографический порядок, система массового обслуживания, MMPP.

Введение

В течение последних нескольких лет наблюдается стремительный рост количества устройств, использующих ресурсы беспроводных сетей, в том числе сетей LTE, развивающихся наиболее быстрыми темпами. В беспроводных сетях с увеличением числа M2M устройств, запрашивающих доступ к ресурсам, изменяется и скорость передачи данных [1]. Характеристики канала беспроводного соединения также могут изменяться с течением времени, поскольку шумы и помехи оказывают значительное влияние на работу сети. Консорциумом 3GPP на основе результатов исследований сетей радиодоступа LTE были предложены две модели M2M трафика: синхронная и асинхронная [3]. В данной работе рассматривается модель с асинхронным трафиком, т.е. устройства независимо друг от друга переходят в состояние, при котором осуществляется передача экстренных сообщений. Такая модель соответствует нормальной работе сети, в которой устройства запрашивают ресурсы равномерно в течение всего рассматриваемого промежутка времени.

Построение математической модели

Канал беспроводного соединения функционирует в двух режимах, которые имеют различную интенсивность обслуживания [1]. При построении модели для описания процесса обслуживания используется MMPP-2 модель, показанная на рис. 1. Обслуживающий прибор может находиться в одном из двух состояний «0» или «1». Длительности пребывания прибора в состояниях «0» и «1» имеют экспоненциальное распределение с параметрами ϕ и ψ . В состоянии «0» прибор обслуживает запросы с интенсивностью μ_0 , в состоянии «1» - с интенсивностью μ_1 . На систему с буфером конечной ёмкости r поступает поток сообщений, которые обслуживаются в соответствии с дисциплиной FCFS.

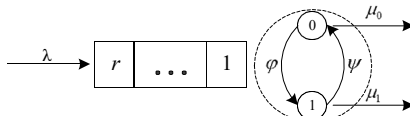


Рис. 1. Модель обслуживания M2M трафика

M2M-устройства также могут функционировать в двух режимах: экстренный (emergency) и нормальный (non-emergency). Согласно [2], агрегированный трафик каждого типа можно моделировать в виде MMPP потока с инфинитезимальным

оператором $\mathbf{Q}_k = \begin{pmatrix} 0 & \alpha_k \\ \beta & 0 \end{pmatrix}$ и матрицей интенсивностей $\mathbf{\Lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_0^k & 0 \\ 0 & \lambda_1^k \end{pmatrix}$. Построенную

модель, изображённую на рис. 2, будем кодировать в обозначениях Башарина-Кендалла как $MMPP_2, MMPP_2 | MMPP_2 | 1 | r$.

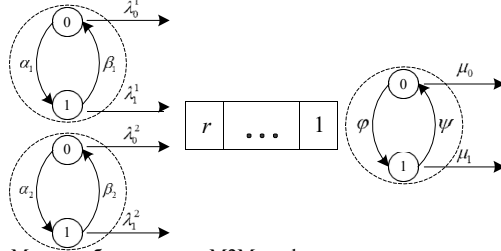


Рис. 2. Модель обслуживания M2M трафика с двумя классами заявок

Обозначим максимальное число заявок в системе $R = r + 1$. Составной случайный процесс $\mathbf{X}(t) = (n_1(t), n_2(t), m_1(t), m_2(t), s(t))$, где $0 \leq n_i \leq R - \text{число заявок } i\text{-типа}, m_i \in \{0, 1\}$ – состояние i -источника, $s \in \{0, 1\}$ – состояние обслуживающего прибора, по построению является марковским и описывает поведение исследуемой системы над пространством состояний $\mathbf{X} = \{n_1, n_2 : n_1 + n_2 \leq R, n_1 \geq 0, n_2 \geq 0\} \times \{0, 1\}^3$. Введём на множестве \mathbf{X} лексикографический порядок

$$\begin{aligned}
 (x' = (n'_1, n'_2, m'_1, m'_2, s') > x'' = (n''_1, n''_2, m''_1, m''_2, s'')) &\Leftrightarrow \left. \begin{aligned} &((n'_1 + n'_2 > n''_1 + n''_2) \vee (n'_1 + n'_2 = n''_1 + n''_2) \wedge \\ &((n'_2 > n''_2) \vee \\ &((n'_1 + n'_2 = n''_1 + n''_2) \wedge (n'_2 = n''_2) \wedge (n'_1 = n''_1) \wedge \\ &((m'_1 + m'_2 > m''_1 + m''_2) \vee \\ &((n'_1 + n'_2 = n''_1 + n''_2) \wedge (n'_2 = n''_2) \wedge (n'_1 = n''_1) \wedge (m'_1 + m'_2 = m''_1 + m''_2) \wedge (m'_1 > m''_1)) \vee \\ &((n'_1 + n'_2 = n''_1 + n''_2) \wedge (n'_2 = n''_2) \wedge (n'_1 = n''_1) \wedge (m'_1 + m'_2 = m''_1 + m''_2) \wedge (m'_1 = m''_1) \wedge (s' > s'')) \end{aligned} \right\} \vee
 \end{aligned}$$

Инфинитезимальный оператор \mathbf{A} МП $\mathbf{X}(t)$ имеет трехдиагональный вид

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{D}_0 & \mathbf{U}_0 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{L} & \mathbf{D} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{U}_{R-2} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{L}_{R-1} & \mathbf{D}_{R-1} & \mathbf{U}_{R-1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{L} & \mathbf{D} \end{pmatrix}$$

Множество \mathcal{X} представимо в виде $\mathcal{X} = \bigcup_{i=0}^R \chi_i$, где $\chi_i = \{(n_1, n_2, m_1, m_2, s) \in \mathcal{X} : n_1 + n_2 = i\}$ и $\chi_i \cap \chi_j = \emptyset, i \neq j$. Наддиагональные блоки \mathbf{U}_i описывают переходы МП из состояний множества χ_i в состояние множества $\chi_{i+1}, i = \overline{0, R-1}$. Аналогично блоки \mathbf{L}_i описывают переходы из состояний множества χ_i в состояния $\chi_{i-1}, i = \overline{1, R}$, а диагональные блоки \mathbf{D}_i – переходы внутри множества $\chi_i, i = \overline{0, R}$. Ненулевые элементы блоков матрицы \mathbf{A} вычисляются по следующим формулам

$$\begin{aligned}
 D^i : (x', x'') &= \begin{cases} \alpha_1, x' = (n_1, n_2, 0, m_2, s), x'' = (n_1, n_2, 1, m_2, s); n_1 = \overline{0, R}; n_2 = \overline{0, R}; m_2, s = 0, 1; \\ \alpha_2, x' = (n_1, n_2, m_1, 0, s), x'' = (n_1, n_2, m_1, 1, s); n_1 = \overline{0, R}; n_2 = \overline{0, R}; m_1, s = 0, 1; \\ \beta_1, x' \equiv (n_1, n_2, 1, m_1, s), x'' \equiv (n_1, n_2, 0, m_1, s); n_1 \equiv \overline{0, R}; n_2 \equiv \overline{0, R}; m_1, s \equiv \overline{0, 1}; \\ \beta_2, x' = (n_1, n_2, m, m, 0), x'' = (n_2, n_1, m, m, 1); \bar{n} = \overline{0, R}; \bar{n} = \overline{0, R}; m, m = 0, 1; \\ \phi, x' = (n_1, n_2, m, m, 1), x'' = (n_1, n_2, m, m, 0); n = \overline{0, R}; n = \overline{0, R}; m^2, m = 0, 1; \end{cases} \\
 U_i : (x', x'') &= \begin{cases} \lambda_k^1, x' = (i, n_2, k, m_2, s), x'' = (i+1, n_2, k, m_2, s); i = \overline{0, R-1}; n_2 = \overline{0, R}; k, m_2, s = 0, 1; \\ \lambda_k^2, x' = (n_1, i, m_1, k, s), x'' = (n_1, i+1, m_1, k, s); n = \overline{0, R}; i = \overline{0, R-1}; m_1, k, s = 0, 1; \end{cases} \\
 L_i : (x', x'') &= \begin{cases} \mu_k, x' = (i, n_2, m_1, m_2, k), x'' = (i-1, n_2, m_1, m_2, k); i = \overline{1, R}; n_2 = \overline{0, R}; m_1, k, s = 0, 1; \\ \mu_k, x' = (n_1, i, m_1, m_2, k), x'' = (n_1, i-1, m_1, m_2, k); n_1 = \overline{0, R}; i = \overline{1, R}; m_1, k, s = 0, 1. \end{cases}
 \end{aligned}$$

Стационарное распределение вероятностей может быть найдено численно, например, с помощью LU-разложения.

Заключение

В работе построена математическая модель обслуживания M2M-трафика, источниками которого служат устройства, работающие в одном из двух режимов (нормальный и экстренный), в виде системы массового обслуживания с буфером конечной емкости и двумя входящими MPP потоками. Функционирование системы описано с помощью пятимерного марковского процесса, инфинитезимальный оператор которого имеет блочный трехдиагональный вид. Задачей дальнейших исследований является построение и анализ модели, которая позволяет учитывать возможность приоритизации сообщений в очереди на обслуживание.

Литература

1. Fu Li, Xue-fen Chi, Jia-sheng Zhang, Xu-dong Li Network Modelling and Performance Analysis under Time-varying Channel and General Arrival of M2M Services.// Proceedings of the 2012 2nd International Conference on Computer and Information Application. – 2012. – P.176-179.
2. Laner M., Svoboda P., Nikaen N., Rupp M. Models for Machine Type Communications.// Proceedings of the Tenth International Symposium on Wireless Communication Systems. – 2013. – P.1-5.
3. 3GPP: Study on RAN Improvements for Machine-type communications. Technical report, TR 37.868, 2012.

MODELLING OF M2M TRAFFIC FROM TWO TYPES OF SOURCES IN LTE NETWORK

Abaev P.O., Beschastnyi V.A.

Peoples' Friendship University of Russia, pabaev@sci.pfu.edu.ru, vabeschastnyi@gmail.com

Modelling of M2M traffic from sources that operate in two modes –emergency and non-emergency was constructed and analysed.

Key words: M2M traffic, LTE, lexical order, queuing model, MPP.