

УДК 621.391.6
МРНТИ 49.33.29

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРАФИКА M2M

А.Д. МУХАМЕДЖАНОВА, К.Х. ТУМАНБАЕВА

Алматинский университет энергетики и связи

Аннотация: Число соединений в виде межмашинного взаимодействия или соединений «машина с машиной» (M2M) в сети мобильной связи стремительно возрастает. Растущий M2M трафик оказывает существенное влияние на качество обслуживания пользователей в мобильных сетях связи и на процессы их эксплуатации. Кроме того в экстремальных случаях (стихийные бедствия, пожары) одновременное срабатывание активных M2M-устройств приводит к всплеску трафика в сети. Для определения эффективных характеристик сети, оценки параметров качества обслуживания (QoS) в сети мобильной связи и оценки использования ресурсов сети необходимо применить математическое моделирование. При этом важную роль играет разработка математической модели трафика M2M. В работе сделан сравнительный анализ разработанных моделей трафика. Рассмотрены два подхода к моделированию трафика M2M: разработка модели агрегированного трафика от всех M2M-устройств и разработка модели трафика M2M-устройств с учетом его типа, характеристик и функций. Рассмотрены модели трафиков, разработанных для конкретных сетей мобильной связи (LTE, 5G). При моделировании трафика M2M используются методы теории массового обслуживания. В рассмотренных работах поток заявок, поступающих в систему массового обслуживания (СМО), рассматривается как ММРР (Markov Modulated Poisson Process), пуассоновский поток, в котором заявки образуют «кластеры». Для наглядной интерпретации особенностей поведения трафика в пакетных сетях в некоторых работах выбрано моделирование трафика типа ON/OFF, который использован при описании пульсирующей структуры трафика. Выявлены преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов моделирования трафика M2M.

Ключевые слова: межмашинное взаимодействие, M2M трафик, устройство, мобильная сеть, математическая модель, имитационная модель, качество обслуживания

COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF M2M TRAFFIC

Abstract: The number of machine-to-machine (M2M) connections in the mobile network is increasing rapidly. The growing M2M traffic has a significant impact on the quality of user service in mobile networks and on the processes of their operation. In addition, in extreme cases (natural disasters, fires), simultaneous operation of active M2M devices leads to a surge of traffic in the network. To determine the effective characteristics of the network, assess the quality of service (QoS) parameters in the mobile network, and assess the use of network resources, you must apply mathematical modeling. An important role is played by the development of a mathematical model of M2M traffic. The paper presents a comparative analysis of the developed traffic models. Two approaches to modeling M2M traffic are considered: the development of a model of aggregated traffic from all M2M devices and the development of a traffic model of M2M devices taking into account its type, characteristics and functions. Traffic models developed for specific mobile networks (LTE, 5G) are considered. When modeling M2M traffic, methods of Queuing theory are used. In the considered works, the flow of applications to the Queuing system (QS) is considered as MMPP (Markov Modulated Poisson Process), a Poisson flow in which applications form “clusters”. For a visual interpretation of the features of the behavior of traffic in packet networks in some works, the modeling of traffic type ON/OFF, which is used in the description of the pulsating traffic structure, is chosen. The advantages and disadvantages of each of the considered methods of modeling M2M traffic are revealed.

Keywords: machine-to-machine interaction, M2M traffic, device, mobile network, mathematical model, simulation model, quality of service

М2М ТРАФИГІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа: Ұялы байланыс желісінде машинааралық өзара әрекеттесу немесе «машина-машина» (M2M) қосылыстары түріндегі қосылыстар саны қарқынды өсуде. M2M өсіп келе жатқан трафи-гі мобильді байланыс желілерінде пайдаланушыларға қызмет көрсету сапасына және оларды пайдалану процестеріне елеулі әсер етеді. Сонымен қатар, төтенше жағдайларда (табиғи апаттар, өрттер) белсенді M2M-құрылғылардың бір мезгілде іске қосылуы желіде трафиктің көбеюіне әкеледі. Байланыс желісінің тиімді сипаттамаларын анықтау, ұялы байланыс желісінде қызмет көрсету сапасының (QoS) параметрлерін бағалау және желі ресурстарын пайдалануды бағалау үшін математикалық модельдеуді қолдану қажет. Бұл ретте M2M трафи-гінің математикалық моделін әзірлеу маңызды рөл атқарады. Жұмыс барысында дайындалған трафик модельдерінің салыстырмалы талдаулары жасалды. M2M трафи-гін модельдеудің екі тәсілі: барлық M2M-құрылғылардың агрегацияланған трафиктің моделін және M2M-құрылғыларының оның түрі, сипаттамалары және функцияларын ескере отырып трафик моделін әзірлеу. Ұялы байланыстың нақты желілері (LTE, 5G) үшін дайындалған трафик үлгілері қарастырылған. M2M трафи-гін модельдеу кезінде жаппай қызмет көрсету теориясының әдістері қолданылады. Аталған жұмыстарда жаппай қызмет көрсету жүйесіне (ЖҚЖ) келіп түсетін өтінімдер ағыны, өтінімдер «кластерлерді» құрайтын Пуассон ағыны MMPP (Markov Modulated Poisson Process) ретінде зерттеледі. Дестелік желілерде трафиктің мінез-құлық ерекшеліктерін көрнекі интерпретациялау үшін кейбір жұмыстарда трафикті модельдеу ON/OFF үлгіде таңдалған, ол трафиктің пульсациялаушы құрылымын сипаттау кезінде қолданылады. M2M трафи-гін модельдеудің ұсынылғын әдістерінің әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Түйінді сөздер: машинааралық өзара қатынасу, M2M трафи-гі, құрылғы, мобильді байланыс, математикалық модель, имитациялық модель, қызмет көрсету сапасы

Соединения в виде межмашинного взаимодействия (Machine-type Communication (MTC)) или соединения «машина с машиной» (M2M) представляют собой форму передачи данных между устройствами, которая не обязательно требует взаимодействия с человеком [1].

Согласно прогнозам, результаты которых приведены на рисунке 1, количество M2M соединений в сетях мобильных операторов к 2022 году превысит 2,5 миллиарда. При этом доля M2M соединений в общем числе соединений в сетях достигнет за указанный период 22% [1].

Таким образом, в сетях мобильной связи возникает ситуация, при которой устройства M2M и смартфоны используют одну и ту же инфраструктуру сети доступа 3GPP, однако современные сети мобильной связи спроектированы с учетом особенностей трафика передачи данных в цепочке конечных пользовате-

лей H2H от смартфонов. Поэтому вскоре число устройств M2M в сетях мобильной связи может существенно превысить число обычных смартфонов, и мобильные операторы столкнутся с проблемами эффективного использования ресурсов сети при попытке одновременно принять разнородный трафик - как от устройств M2M, так и от смартфонов [2].

Растущий M2M трафик оказывает существенное влияние на качество обслуживания в мобильных сетях связи и на процессы их эксплуатации. В связи с этим актуальной является задача математического моделирования M2M трафика.

Математическая модель M2M трафика необходима для определения эффективных характеристик сети, для оценки параметров качества обслуживания (QoS) в сети мобильной связи, оценки эффективного использования ресурсов сети.

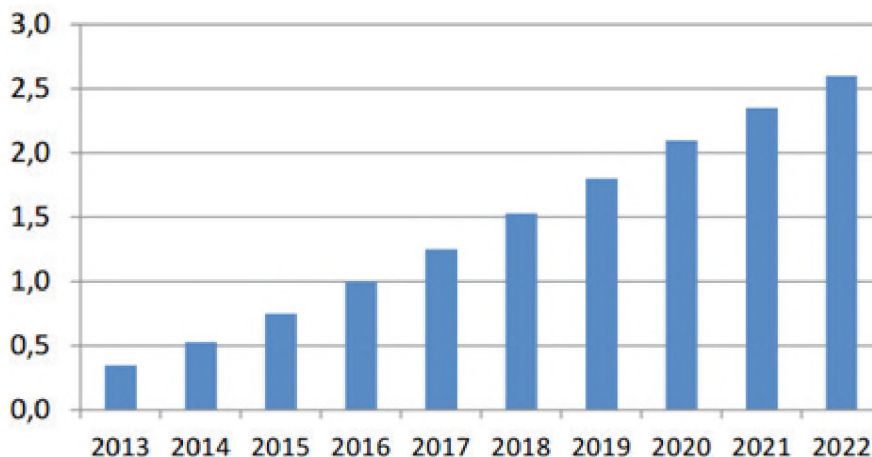


Рис. 1 – Число M2M соединений

Цель данной работы заключается в проведении сравнительного анализа математических моделей M2M трафика.

Организация 3GPP в 2011 году опубликовала документ 3GPP TR 37.868 [3], в котором предложена модель трафика M2M в сети LTE и приведены результаты моделирования.

В документе предложен способ моделирования трафика, суть которого заключается в том, что рассматривается конечный интервал времени, на котором трафик генерируется всеми имеющимися M2M-устройствами. В работе представлены две модели трафика и два временных интервала длиной 60 с. и 10 с.

Функция распределения трафика на интервале задана плотностью вероятности $P(t)$, количество сообщений за некоторое время $[t_i, t_i + 1]$ находится как:

$$N = \int_{t_i}^{t_i + 1} P(t) dt$$

Для первой модели $p(t)$ определяется равномерным распределением

$$P(t) = 1/T$$

где T – ширина интервала.

Для второй модели $P(t)$ характеризуется β -распределением

$$P(t) = t^{\alpha-1} (T-t)^{T/\alpha + \beta - 1} \text{Beta}(\alpha, \beta), \alpha, \beta > 0$$

где $\text{Beta}(\alpha, \beta)$ – β -функция.

В первой модели каждое из M2M-устройств один раз в 60с передает одно сообщение в сеть. Промежутки между поступлениями пакетов распределены по равномерному закону. В этом случае трафик всех M2M-устройств независим друг от друга.

Во второй модели рассматривается сценарий, в котором некоторое внешнее событие вызывает активизацию M2M-устройств, каждое из которых передает одно сообщение в течение 10с., вероятность передачи распределена по β -распределению. При большом числе M2M-устройств появляется повышенная нагрузка.

Недостатком предложенного алгоритма является то, что рассматриваемый интервал времени ограничен. Кроме того рассматривается агрегированный поток, в который объединены все потоки сообщений от всех M2M-устройств. В этом случае не учитываются особенности трафика от различных устройств.

В работе [4] приведена классификация трафика в M2M сети, три типа трафика обозначены следующим образом:

а) Periodic Update (PU), трафик, генерируемый устройствами, передающими регулярно данные центральному серверу (примерами могут быть счетчики газа, электроэнергии, воды);

б) Event-Driven (ED), трафик, генерируемый устройствами в том случае, когда измеряемые параметры выходят за пределы заданного порога (примерами могут быть датчики о стихийных бедствиях, об аварийном состоянии наблюдаемого объекта);

в) Payload Exchange (PE), трафик, генерируемый после передачи трафика первых двух видов. Он включает в себя все случаи, когда между чувствительными устройствами и сервером происходит обмен большим объемом данных. Этот трафик, скорее всего, будет доминирующим по восходящей линии связи и может иметь либо постоянный размер, как в телеметрии, либо переменный размер, такой как передача изображения, или даже потоковую передачу данных, инициированную сигналом тревоги.

Для наглядной интерпретации особенностей поведения трафика в пакетных сетях наиболее предпочтительным является моделирование трафика типа ON/OFF [4], который может быть использован при описании пульсирующей структуры трафика.

Протекающему во времени стационарному случайному процессу восстановления, у которого интервалы между точками — независимые случайные величины, имеющие одинаковую плотность распределения, можно придать колебательную форму. Пусть началу интервала ON соответствует какая-либо точка. Тогда следующей точке будет соответствовать окончание интервала ON и наступление интервала OFF. В результате получаем последовательность чередующихся ON/OFF интервалов, длительности которых случайны, независимы и для каждого ON и OFF интервала одинаково распределены.

Для моделирования трафика в сети M2M в работе [4] применяется описанный ON/OFF процесс. Предполагается, что устройства M2M могут находиться в одном из четырех состояний: OFF, PU, ED и PE (рисунок 2). В состояниях PU, ED и PE передаются пакеты, следовательно наступает процесс ON. Когда пакеты не передаются ни от, ни к соответствующей машине наступает процесс OFF. Это соответствует ситуации, когда устройство находится в режиме ожидания.

В данной работе рассматриваются три подхода к моделированию трафика M2M: объект моделирования представляется как агрегированный трафик, объектом моделирования являются трафики от различных источников (M2M-устройств) и объектом моделирования является трафик, включающий характеристики первого и второго объектов. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования, который показал, что первый подход приемлим при очень большом количестве M2M-устройств, второй случай оправдан, когда необходимо учитывать особенности и характеристики M2M-устройств, третий способ, несмотря на сложность реализации, обладает преимуществом первого и второго.

При моделировании трафика M2M используются методы теории массового обслуживания. В рассмотренных выше работах поток заявок, поступающих в систему мас-

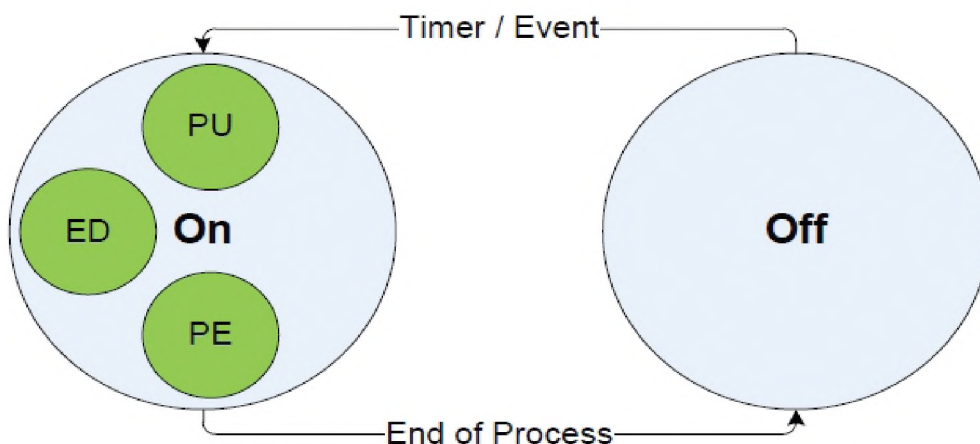


Рис. 2 – ON/OFF процесс

сового обслуживания (СМО), рассматривается как ММРР (Markov Modulated Poisson Process), пуассоновский поток, в котором заявки образуют «кластеры» [5].

В работах [6,7] предложены комплексные модели, объединяющие два рассмотренных типа моделей.

Моделируемый трафик в работе [6] рассматривается как СММР (Coupled Markov Modulated Poisson Process), соединенный пуассоновский поток, в котором заявки образуют «кластеры». Результаты моделирования показывают, что метод имеет преимущества при малом или среднем количестве устройств, обладает высокой точностью.

Для моделирования трафика в работе [7] используется ON/OFF процесс, в котором свойства трафика, производимого за интервал ON определяется β – распределением вероятности. При этом агрегированный трафик состоит из двух видов потоков, генерируемых пользователями (H2H) и M2M – устройствами. Имитационное моделирование трафика реализовано в среде AnyLogic. Модель использована для исследования влияния трафика M2M при массовой активации устройств на качество обслуживания в мобильной сети связи.

Статистические свойства трафиков различных типов исследованы в работе [5]. Первый тип – опосредованный трафик (Event-Driven (ED)), производится автоматически системами с использованием активных устройств (устройство может быть инициатором передачи данных). Этот трафик можно рассматривать как реакцию на различные случайные события (например, попадание измеряемой величины в некоторый интервал, срабатывание аварийной или иной сигнализации и т.п.). Статистические свойства потока опосредованного трафика определяются также такой особенностью как зависимость источников трафика, которая при наступлении некоторых событий приводит к массовой активности устройств и, как следствие, случайным пикам трафика. Результаты имитационного моделирования данного потока доказывают, что он является антиперсистентным, то есть параметр Херста $H < 0.5$.

Статистические свойства псевдодетерминированного трафика (Periodic Update (PU)), определяются числом и периодами последовательностей опроса устройств, а также интенсивностью рестартов. Результаты имитационного моделирования данного потока доказывают, что он является самоподобным с высокой степенью самоподобия [8].

В некоторых работах [9,10] представлены математические модели трафика M2M – устройств, разработанные с учетом архитектуры, протоколов сети мобильной связи.

В статье [9] представлены результаты исследования о влиянии всплеска трафика M2M устройств, обменивающихся данными в сети мобильной связи LTE на качество обслуживания пользователей смартфонов. В процессе моделирования трафика использованы статистические свойства шести категорий M2M – устройств, полученные в результате обработки данных, представленных оператором мобильной связи США. Результаты имитационного моделирования в среде OPNET показали, что при увеличении количества определенных категорий M2M – устройств они оказывают существенное влияние на качество обслуживания пользователей как показано в таблице 1 [9]. В отдельных случаях, показатели QoS превышают установленную норму.

Как видно из таблицы 1 такой показатель качества обслуживания, как нормализованная средняя задержка пакетов восходящей линии в сети, при росте числа M2M- устройств телемедицины с 500 до 2000 выросла с 0,00155 до 0,00194.

В работе [10] разработана новая модель и алгоритм агрегации трафика данных в среде 5G Network Slicing, основанная на классификации и измерении трафика данных, для обеспечения качества обслуживания для интеллектуальных систем в среде интеллектуального города.

Алгоритм агрегации данных M2M показан на рисунке 3 и описывает следующее:

- данные от K M2M устройств рассматриваются для агрегирования.
- проверяется такой существенный параметр для агрегирования данных M2M, как

Таблица 1 – Нормализованная средняя задержка пакетов восходящей линии

Категория M2M трафика	Нормализованная средняя задержка пакетов восходящей линии			Средний градиент
	500	1000	2000	
Отслеживание активов	0,00141	0,00516	0,00697	0,00020
Умная сеть	0,00146	0,00147	0,00157	0,00006
Персональное отслеживание	0,00144	0,00145	0,00158	0,00007
Телемедицина	0,00155	0,00146	0,00194	0,00015
GPS навигаторы	0,00484	0,00486	0,00152	0,00002
Дистанционная тревога	0,00150	0,00148	0,00174	0,00011

максимальное время задержки T_{max} для пакета в RN.

Авторы работы предполагают, что предлагаемая ими модель и алгоритм агрегации трафика данных M2M в фиксированных RN для восходящей линии связи в сотовых сетях 5G улучшит использование радиоресурсов для M2M-коммутиации в сетях 5G. Данный способ предлагает максимальное усиление мультиплексирования на уровне PDCP для пакетов данных от нескольких устройств M2M, а также учитывает различные приоритеты для решения задержки E2E пакетов. Кроме того, в данном исследовании предлагается модель и алгоритм среза трафика данных для классификации и измерения требований QoS.

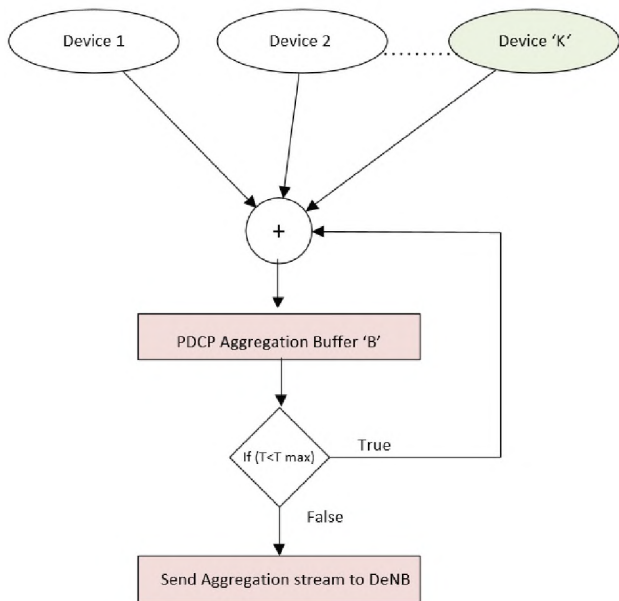


Рис. 3 – Алгоритм агрегирования трафика M2M

Для оценки производительности предложенной модели использована программа имитационного моделирования OPNET 17.5.

Выводы

Рост M2M трафика в современных сетях мобильной связи влияет на качество обслуживания пользователей. В связи, с чем приобрела актуальность задача математического моделирования трафика M2M.

Анализ разработанных моделей показал следующее. В настоящее время существует два подхода к моделированию трафика. В первом случае разрабатывается модель агрегированного трафика, в котором сообщения от всех M2M – устройств объединяются в один поток. Использование такой модели эффективно при очень большом количестве M2M – устройств, но реализация модели не дает результаты высокой точности.

Второй подход заключается в том, что при моделировании учитываются особенности и характеристики M2M-устройств. Реализация модели дает результаты высокой точности, но задача усложняется при возрастании количества M2M – устройств. Ведутся работы по разработке моделей, обладающих преимуществами двух подходов.

Также разрабатываются модели трафика M2M-устройств с учетом архитектуры, протоколов сети мобильной связи (LTE, 5G). Такие модели эффективно использовать для оценки степени влияния роста трафика M2M на качество обслуживания пользователей в заданной сети.

При имитационном моделировании обслуживания трафика M2M для получения более точных результатов необходимо учи-

тывать особенности технологии, соответствующие протоколы мобильной сети, а также особенности самого трафика М2М. Возможность имитационного моделирования трафика М2М на канальном уровне предоставляет последняя версия системы Matlab, выпущенная в 2018 году, которая содержит приложения 5G Toolbox.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tikhvinsky V. O., Bochechka G. S., Nurgozhin B. S., Aitmagambetov A. Z. (2016), IOT/M2M networks: technologies, applications and regulation [Seti IOT/M2M: tehnologii, prilozhenija i regulirovanie], «Ak shagyl» Publishing house, Almaty, 332 p.
2. Tikhvinsky V.O., Koval V.A., Bochechka G.S., Babin A.I. (2017), IoT/M2M networks: technologies, architecture and applications [Seti IoT/M2M: tehnologii, arhitektura i prilozhenija], “Media publisher”, Moscow, 319 p.
3. 3GPP TR 37.868. V11.0.0, (2011), Study on RAN Improvements for Machine – Type Communications; Release 11.
4. M. Laner, N. Nikaein, P. Svoboda, M. Popovic, D. Drajić, S. Krco. Traffic models for machine-to-machine (M2M) communications: types and applications// Electronic resource: http://www.eurecom.fr/en/publication/4265/download/cm-publi-4265.nikaein.02.08.14._final.pdf
5. Paramonov A. I. (2014), Development and research of complex traffic models for public communication networks: Author's thesis [Razrabotka i issledovanie kompleksa modelej trafika dlja setej svjazi obshhego pol'zovanija: avtořef. dis. ... doktora tehničkih nauk], St.Petersburg.
6. M. Laner, P.Svoboda, N. Nikaein, M. Rupp. Traffic Models for Machine Type Communications// Electronic resource: <http://www.eurecom.fr/fr/publication/4079/download/cm-publi-4079.pdf>
7. Tao CH. N., Paramonov A. I. (2018), M2M traffic concentration models and evaluation of its influence on QoS in 5G networks [Modeli koncentracii trafika M2M i ocenka ego vlijanija na QoS v setjah 5G'], Telecommunication, - № 4. pp. 47-54.
8. Shelukhin O. I., Tanachev A. M., Osin A.V. (2003), Fractal processes in telecommunications [Fraktal'nye processy v telekommunikacijah], Radio Engineering, Moscow, 480 p.
9. Jill Jermyn, Roger Piqueras Joverly, Ilona Murynetsy, Mikhail Istominy and Salvatore Stolfo. Scalability of Machine to Machine systems and the Internet of Things on LTE mobile networks // Electronic resource: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7158142>
10. Mohammed Dighriri, Gyu Myoung Lee, Thar Baker, Ali Saeed Dayem Alfoudi. Data Traffic Model in Machine to Machine Communications over 5G Network Slicing// Electronic resource: <https://core.ac.uk/download/pdf/74236911.pdf>