

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ имени
Гумарбека Даукеева»

Кафедра Телекоммуникаций и инновационных технологий

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав.кафедрой PhD, доцент Қадылбекқызы Э.К.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « _____ » _____ 202 _____ г.

(подпись)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На тему: Исследование моделей и методов обслуживания трафика в М2М сети
По образовательной программе 7М06201 «Радиотехника, электроника и
телекоммуникации»

Выполнил: Хамитова Альбина Табузкызы _____ Группа МРЭТн-19-2
(Ф.И.О.)

Научный руководитель: Айтмагамбетов А.З., к.т.н., профессор _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Консультант по технической части: Туманбева К.Х., к.т.н., профессор _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Нормоконтроль: ст. преподаватель Павлова Т.А. _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « _____ » _____ 202 _____ г.
(подпись)

Рецензент: _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « _____ » _____ 202 _____ г.
(подпись)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Гумарбека Даукеева»

Институт Космической Инженерии и Телекоммуникаций

Кафедра Телекоммуникаций и инновационных технологий

По образовательной программе 7М06201 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Хамитовой Альбине Табузкызы

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование моделей и методов обслуживания трафика в M2M сети»

Утверждена приказом по университету №263 от «30» декабря 2020 г.

Срок сдачи законченной диссертации «25» мая 2021 г.

Цель исследования Исследование моделей и методов обслуживания трафика в M2M сети

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Исследование современного состояния межмашинной сети.
2. Анализ трафика в сетях M2M.
3. Определение степени самоподобности M2M трафика в сети LoRaWAN.
4. Моделирование трафика M2M как СМО типа $W / M / 1 / \infty$ в Anylogic.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Аппаратная дезагрегация IoT.
2. Варианты подключения IoT к существующим сетям.
3. Архитектура высокого уровня.

4. Взаимодействие с сетевым доменом M2M.

5. Три модели взаимодействия сети M2M и сети LTE / 3GPP.

Рекомендуемая основная литература:

1 Туманбаева К.Х. , Базарбаев Б. Моделирование трафика M2M сети в среде GPSS WORLD // Международное научно – педагогическое издание «Высшая школа Казахстана» , 2017, №3, С. 263 – 266.

2 Ушанев К. В. , Макаренко С. И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания Pa/M/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования. 2016. № 1 – 42 с.

3 Doh, I., Lim, J., and Chae, K.: Key establishment and management for Secure Cellular Machine– to– Machine Communication. In Proceedings of the Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 579– 584 (2013).

4 Carles Anton-Harro, Mischa Dohler, Machine-to-machine Communications, Architecture, Performance and Applications 1st edition,2015. -30-48-62 p.

График
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Исследование современного состояния межмашинной сети	01.02.2020	
2. Анализ трафика в сетях M2M	01.06.2020	
3. Определение степени самоподобности M2M трафика в сети LoRaWAN	01.11.2020	
4. Моделирование сервиса трафика M2M как СМО типа W/M/1/∞ в Anylogic	01.03.2021	
5. Моделирование сервиса трафика M2M как СМО типа Pa/M/1/∞ в Anylogic	01.05.2021	

Дата выдачи задания 30 сентября 2019г.

Заведующий кафедрой _____ (подпись) (Кадылбекқызы Э.К.) (Ф.И.О.)

Научный руководитель диссертации _____ (подпись) (Айтмагамбетов А.З.) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (подпись) (Хамитова А.Т.) (Ф.И.О.)

Андапта

Ұсынылған диссертациялық жұмыста сымсыз желілердегі М2М трафигі қарастырылды. Мұндай мәселелерді зерттеудің тиімді әдісі - модельдеу. IoT және М2М қызметтер нарығының қазіргі жағдайына талдау жасалды. Өзіне ұқсас трафикті модельдеу $W / M / 1 / K$, $Pa / M / 1 / K$ типті кезектер жүйесімен жүзеге асырылды, сәйкесінше Вейбулл және Парето үлестірімдерін қолданылды.

Аннотация

В предъявленной диссертационной работе рассмотрен М2М-трафик в беспроводных сетях. Эффективным методом исследования подобных задач является имитационное моделирование. Проведен анализ текущего состояние рынка услуг IoT и М2М. Разработаны имитационные модели в среде AnyLogic. Моделирование самоподобного трафика выполняется СМО из типа $W / M / 1 / K$, $Pa / M / 1 / K$ с использованием распределений Вейбулла и Парето соответственно.

Abstract

In the presented thesis, M2M traffic in wireless networks is considered. An effective method for studying such problems is simulation. The analysis of the current state of the market for IoT and M2M services has been carried out. Simulation models have been developed in the AnyLogic environment. Modeling of self-similar traffic is performed by the QS from the type $W / M / 1 / K$, $Pa / M / 1 / K$ using the Weibull and Pareto distributions, respectively.

Содержание

Введение	7
1 Исследование современного состояния межмашинной сети	8
1.1 Концепция Интернета вещей и построения локальной сети IoT	8
1.2 Основы технологий M2M и IoT	10
1.3 Архитектура M2M сетей	14
2 Анализ трафика в сетях M2M	17
2.1 Особенности M2M трафика	17
2.2 Анализ существующих узкополосных сетей для обслуживания устройств M2M	25
3 Моделирование сервиса M2M трафика	38
3.1 Особенности моделирования самоподобного трафика	38
3.2 Моделирование сервиса трафика M2M как СМО типа W/M/1/∞ в Anylogic	40
3.3 Моделирование сервиса трафика M2M как СМО типа Pa/M/1/∞ в Anylogic	48
Заключение	56
Список литературы	57
Аббревиатуры	59

Введение

В настоящее время взаимодействие между различными гаджетами без вмешательства человека используется во многих сферах деятельности, таких как жизнеспособность, безопасность, транспорт и здравоохранение. Эти устройства передают информацию по новейшим системам передачи мультимедиа, что делает их более активными. Термин M2M (Machine-to-Machine) используется для обозначения таких ассоциаций в сетях передачи мультимедиа.

Наиболее убедительным является преимущество M2M-активности удаленных систем. При демонстрации улучшения широкополосной связи, самые прекрасные возможности для организации администрирования M2M дает инновация удаленных систем LTE. Дистанционное устройство LTE изначально предназначалось для передачи голоса, информации, звука и видео данных. Заказчиками этого нововведения были физические лица. В настоящее время LTE-устройство будет обслуживать и программируемые гаджеты. Активность, исходящая от клиентов, называется N2N (индивидуально). В связи с развитием деятельности M2M вопрос о ее влиянии на качество выгод в рамках договоренности стал значительным. В то же время актуальна задача исследования самого M2M-трафика. В Интернете вещей способность идентифицировать, собирать, обрабатывать и передавать данные обеспечивает наиболее эффективное использование вещей и предоставление услуг, основанных на этих вещах и различных приложениях.

Возможности управления в модели Интернета вещей (IoT) охватывают функции управления сетью, устранение неполадок в сети, конфигурацию сети и выставление счетов, а также управление качеством и безопасностью сети. Основными объектами управления являются устройства, локальные сети и их топология, трафик и перегрузки в сетях.

Услуги по управлению сетями M2M и Интернетом вещей, которые позволяют машинам обмениваться информацией друг с другом для реализации процедур и алгоритмов автоматизированного управления производственными процессами, или передавать эту информацию без участия или с ограниченным участием человека, или с ограниченным вмешательством человека в качестве конечного пользователя услуг M2M могут предоставляться операторами сетей и услуг M2M / IoT.

Целью диссертационной работы является исследование моделей и методов обслуживания трафика в M2M сети.

Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задания:

- исследование современного состояния сети M2M трафика;
- анализ трафика в сетях M2M;
- анализ моделирования процесса обслуживания различных типов трафика M2M (Weibull, Pareto) в беспроводной сети LTE с использованием системы моделирования AnyLogic.

1 Исследование современного состояния межмашинной сети

1.1 Концепция Интернета вещей и построения локальной сети IoT

Информационно-телекоммуникационная система в современном мире стала не только как общество его неотъемлемой частью, но во многом определяет жизнь и развитие. С каждым годом растет спрос на мобильные услуги, а также на новые технологии и новые услуги, которые могут улучшить повседневную жизнь человека.

«Вещи» - это физический объект (физическая вещь или объект в виртуальном мире, по сути: виртуальный, как мультимедийный контент или прикладная программа), который можно различать и связывать через коммуникационные сети.

Международный союз электросвязи характеризует «устройство», согласно которому он подразумевает оборудование или вещи с фундаментальной пропускной способностью и дополнительными возможностями оценки для управления вещами, а также для встраивания, хранения и обработки информации. Устройства собирают различные типы данных и передают вызовы в системы передачи данных и связи для предварительной обработки. Некоторые устройства выполняют операции на основе данных, полученных от систем связи. Сеть вещей, высоко ценящая за возможности распознаваемого доказательства, сбора, подготовки и передачи информации, гарантирует высочайшее мастерство использования вещей и организацию администрирования, основанную на этих вещах и различных приложениях.

Следовательно, в долгосрочной перспективе Интернет вещей можно рассматривать как направление технологического и социального развития человеческого общества. Рассмотрим основные характеристики Интернета вещей [2,3].

Возможность создания ссылки. Все может быть связано с глобальной информационной и коммуникационной инфраструктурой.

Вещи, связанные с обслуживанием. Интернет вещей позволяет нам обслуживать такие вещи, как врожденные ограничения, защита личной жизни и семантики, а также согласованность между физическими артефактами и их виртуальными вещами.

Неоднородность. В Интернете устройства могут быть встроены в различное оборудование и программное обеспечение, а также могут иметь место различные проблемы с протоколом связи. В этом случае IoT-устройства должны иметь возможность подключаться к другим устройствам, обмениваться данными с различными сетями связи.

Динамические изменения. В Интернете вещей состояние устройств может меняться динамически, например, переходить в активный спящий режим, подключаться/отключаться от сети, а также может изменяться количество вещей, их положение и скорость.

Количество вещей. Количество устройств должно управляться и обмениваться данными друг с другом, по крайней мере, на порядок больше, чем количество устройств, подключенных к Интернету на данный момент. Абсолютно возрастет важность управления данными и интерпретации ИТ-приложений. Это семантика данных и их фактическая обработка. Эталонный стандарт IoT включает четыре уровня, которые показаны в таблице 1.1. Такие как:

- 1) Уровень применения.
- 2) Уровни поддержки сервисов и приложений.
- 3) Сетевой уровень.
- 4) Уровень устройства.

Следует отметить, что функции управления и безопасности также сочетаются с этими четырьмя уровнями.

Таблица 1.1 - Эталонная модель Интернета вещей

«Общие и специализированные возможности управления»	Уровень приложения	Приложение IoT		«Общие и специальные возможности безопасности» «Возможности безопасности»
	Уровень поддержки сервисов и приложений	Варианты общей поддержки	Особые варианты поддержки	
	Сетевой уровень	Возможности сетевой организации		
		Транспортные возможности		
	Уровень устройства	Возможности M2M устройства		
Возможности шлюза M2M				

Уровень приложений содержит приложения IoT. Эти приложения используют пояснительные процедуры для преобразования информации в роботизированные команды, что делает физические и виртуальные вещи более эффективными.

Уровень поддержки приложений и сервисов включает в себя основные функции, которые могут использоваться различными приложениями IoT, такие как обработка или хранение данных, а также специальные функции, разработанные для удовлетворения потребностей конкретных приложений.

Уровень организации, координирующий такие возможности, как организация управления активами, организация характеристик, организация транспорта и администрирование переносимости, подтверждение, авторизация, регистрация и пропускная способность, например, предоставление сети для обмена данными от различных администраций и приложений IoT [4].

Уровень устройства включает в себя возможности шлюзов M2M и M2M. Полезность устройства направлена на координацию взаимодействия с устройством связи, обходное взаимодействие с устройством связи через вход и

организацию определенных систем. В расширении устройства могут усилить компоненты отдыха и пробуждения, чтобы сохранить жизнеспособность.

Шлюз поддерживает проводное и удаленное взаимодействие с устройствами M2M, а также проводное и удаленное взаимодействие с устройством (Ethernet, DSL, GSM, UMTS и LTE). Портал, кроме того, поддерживает преобразование соглашений, и в случае, если взаимодействие с устройствами и взаимодействие с возможностью компоновки являются отличительными. Возможности администрирования в рамках модели IoT включают организацию работы, администрирование, организацию расследования, организацию, учет и начисление платы, организацию управления качеством и безопасностью. Наиболее важными элементами управления являются гаджеты, системы близлежащих регионов и их топология, активность и организация блокировки.

Устройства безопасности разделены на общие и специализированные зоны. Общие меры безопасности являются автономными для приложений и включают:

- уровень приложения: авторизация, проверка, гарантия и точность информации приложения, обеспечение информации, контроль безопасности и антивирусная защита;

- уровень организации: авторизация, проверка, безопасность информационной безопасности;

- уровень оборудования: проверка, авторизация, проверка гаджета, получение контроля, информационная безопасность и целостность информации.

Конкретные функции безопасности тесно связаны с конкретными требованиями отдельных приложений.

1.2 Основы технологий M2M и IoT

Данные датчиков управления платформой на основе технологии M2M являются обязательной основой для объектной разработки в Интернете (IoT). Его неумолимое развитие требует дальнейшего совершенствования связи M2M как части расширяющейся сети инфраструктуры.

M2M может быть основан на нескольких достижениях: стандартные системы GSM, используемые портативными администраторами, современные частные инновации, такие как LoRa или 5G, и известной спутниковой связи. Вездесущая структура Wi-Fi не является исключением: она идеально подходит для взаимодействия с банкоматом или другим стационарным гаджетом. В любом случае, многочисленные разнообразные способы взаимодействия не сделали объекты всемирной паутиной, и M2M.

Инновации M2M эффективно связаны в различных областях, и к настоящему моменту появилась их способность приносить безошибочные выгоды - получать больше или вкладывать меньше денег. Интересный пример - применение автоматизированных датчиков в сельском хозяйстве. Датчики отлично помогают собирать информацию о липкости и температуре, передавая

ее на центральный сервер. Таким образом, машины могут стать идеальным помощником для полива питомников или строительства домов. Это экономит деньги для группы, а расширенный сбор обеспечивает развитие выгоды компании.

Консервация другого изделия с использованием M2M была обнаружена на одном из морских предприятий. В сочетании с терминальным оборудованием VSAT для длительного доступа в Интернет была установлена связь между транспортными структурами и кадастровыми офисами. Таким образом, транспортная компания контролирует использование топлива, не допуская его «проскальзывания» с одной бесполезной стороны. Результат более чем тот: до 70% меньше использования топлива.

Современные умные города действительно становятся частью всемирного использования M2M-коммуникаций. Интерфейс различных систем позволяет вам создавать множество ценных договоренностей, и это совершенно бесплатно. Например, обмен информацией с камеры на структуру администрирования деятельности, которая позволяет вам изменять время бездействия огней активности в соответствии с текущей деятельностью и распространением транспортных средств на проезжей части.

В любом случае, самое многообещающее - это доступность модулей связи и полный комплект самого дешевого «t-engine» оборудования. В настоящее время все чаще автомобили оснащаются различными датчиками и системами ввода. Таким образом, производитель имеет возможность проверять состояние различных групп автомобилей. В расширении, в случае аварии или угона автомобиля, отчет с оценкой кризиса может быть подготовлен в кратчайшие сроки. Наконец, преимущество геолокации открывает современные мыслимые результаты для оптимизации уличных транспортных средств и имеет значение для проверки водителей, экономии топлива и безопасности транспорта [5].

Идея Интернета вещей зародилась в конце 20 века. На первый взгляд идея кажется простой: неограниченное количество вещей, которые активно участвуют в нашей повседневной жизни, способно создавать сети для оптимизации и автоматизации производственных, экономических и социальных процессов.

Необходимо заменить понятия «прогресс» и «усиление» из-за непонимания разницы между Интернетом и WWW. World Wide Web - это распределенная система, которая обеспечивает доступ к документам, подключенным к различным компьютерам. Возможность доступа к предоставленным документам с языком разметки HTML (Hypertext Markup Language). Стандартные HTML - файлы (веб-сайт) - основной вид ресурсов всемирной паутины.

Текстовые документы также не являются сложными, поэтому стандарты W3C были разработаны, и они были ясными и понятными, но единственной системой адресных документов, URL / URI, HTML и HTTP были три вещи, достаточные для того, чтобы человечество могло общаться.

Используя эмигрантскую терминологию, только Кевин Эштон, предложивший концепцию вещей в Интернете, как в 1999 году, не думал о сети вещей и вещей в Интернете. Позже в 2009 году он писал «Если бы у нас были компьютеры, которые знали все, что мы знаем о вещах, собирая данные о них без нашей помощи, мы могли бы более эффективно контролировать все, что нас окружает. Нам необходимо усилить компьютеры до такой степени, чтобы мы могли слышать и видеть мир во всем его разнообразии» [6].

Интернет вещей состоит из слабо связанных разнородных сетей, каждая из которых используется для решения определенных проблем. Например, в современных автомобилях есть несколько линий: одна контролирует работу двигателя, вторая - систему безопасности, третья - поддерживает связь и так далее. В офисных и жилых зданиях установлено множество сетей для управления отоплением, вентиляцией, кондиционированием, телефоном, охраной, освещением.



Рисунок 1.1 - Аппаратная дезагрегация IoT

По мере развития Интернета эти и многие другие сети будут связаны друг с другом и будут более способны обеспечивать безопасность, анализ и управление (Рисунок 1.1). В результате у Интернета появится еще больше возможностей для открытия новых и широких перспектив для человечества.

По нескольким причинам одна или несколько из этих возможностей регулярно упрощаются на двери.

Можно использовать, например, для экономии заряда батареи, позволяя шлюзу обрабатывать тяжелые функции, такие как подключение к глобальной сети или логические приложения, требующие мощного процессора.

Это также приводит к снижению затрат, поскольку это дорогие компоненты.

Для предоставления услуг M2M может использоваться как специализированная сеть M2M, созданная поставщиками услуг M2M и уже доступная у операторов сетей LTE, так и платформа IMS.

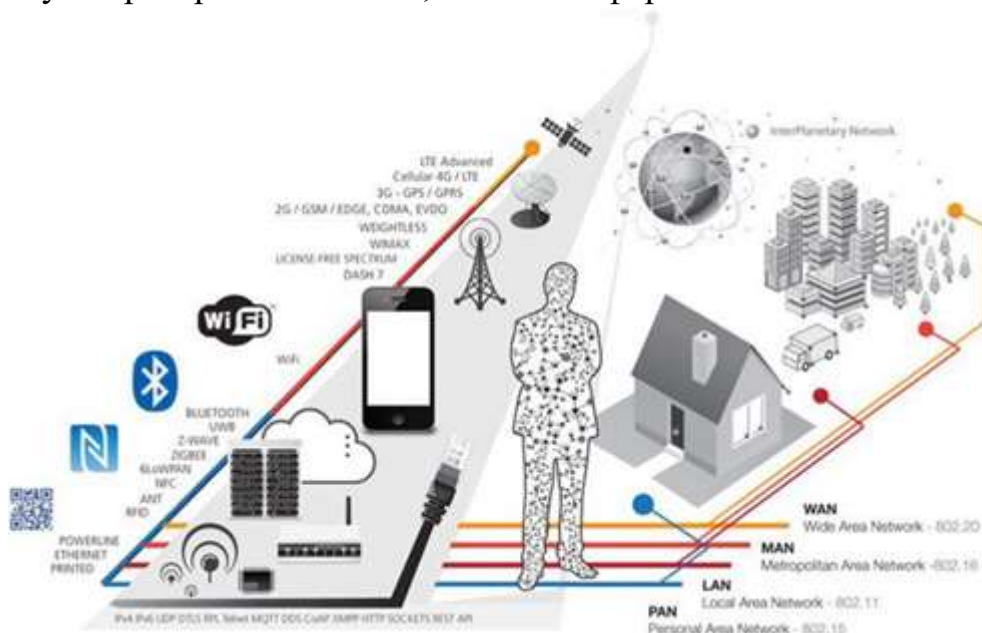


Рисунок 1.2 - Варианты подключения IoT к существующим сетям

Основное отличие M2M от IoT. Интернет вещей – концепция, включающая более широкое применение технологии M2M (от машины к машине). Сегмент M2M в значительной степени основан на концепции IoT и на первом этапе разработки фактически был эквивалентен M2M. На начало 2016 г. у российских операторов еще не было четких критериев разделения IoT и M2M [7].

Успешное внедрение интегрированных Интернет-решений – это не отдельный и независимый процесс (Рисунок 1.2). Cisco признает, что для этого требуется специализированный коммерческий этап, на котором можно будет без труда принять различные меры для успешного и эффективного получения гарантированных коммерческих выгод. Такая онлайн-стадия основана на прочной коммуникационной и инновационной структуре, оперативном и административном администрировании, а также на множестве вертикальных и плоских схем. Возможности Cisco должны дать требуемый результат для всех специализированных и коммерческих элементов Интернета. Эффективная отправка сложных веб-фреймворков дает возможность всей отрасли или всем предприятиям расширить возможности чрезвычайно ценных механизмов IoT.

Уровни, начиная снизу:

- сетевые соединения - сопрягать все договоренности, информацию и приложения с использованием волоконно-оптических кабелей или авторизованной сотовой сети;

- устройство с контролируемым доступом к устройству Wi-Fi или другое удаленное устройство для прохождения через все датчики и приложения;

- инновационный этап может быть этапом, который дает быструю и надежную связь с дизайном неиспользуемых гаджетов по принципу «двойной и игровой», а также с облачными возможностями и службами подготовки информации;

- вертикальные и уровневые устройства - набор устройств и приложений, которые предлагают интересные устройства для различных вертикальных и уровневых секторов индустрии;

- стадия монетизации может использовать стадию для формирования новых источников заработной платы в нескольких вертикалях, таких как опытные города и сегмент B2C;

- Общий этап администрирования может быть общим этапом, который дает администрирование, выгоду для клиента и администрирование для всех решений.

- профессиональные услуги-специальные услуги, такие как системная интеграция, проектирование и инжиниринг.

Управление проектами - услуги по управлению проектами, операции и партнеры по экосистеме. Успешная отправка договоренностей и огромные потенциальные преимущества сети координат не зависят исключительно от учебных предметов и приложений. Для реализации мыслей и желаний требуется комплексный специализированный, операционный и организационный этап для Интернета. - Общая платформа управления может быть общим этапом, который дает администрирование, выгоду для клиента и администрирование для всех решений. - опытное администрирование - необычное администрирование, такое как интеграция фреймворка, планирование и проектирование.

1.3 Архитектура M2M сетей

Интернет-вещи (IoT) - концепция, предполагающая широкое использование технологии M2M (machine-to-machine). Существует несколько эталонных архитектур и моделей как для систем M2M, так и для систем ввода-вывода ". Рассмотрим высокоуровневую архитектуру ETSI M2M. Архитектура на высоком уровне (рисунок 1.3) – это обзор функциональных и топологических характеристик комбинации, который отображает связанную с физической инфраструктурой к функциональным группам (например, устройствам m2m, шлюзы), в то время как другие функциональные группы не имеют топологически специфичного размещения.

Системы M2M характеризуются как системы, которые взаимодействуют с конечными точками, которые работают без участия человека или с ограниченным участием человека, или с ограниченным человеческим участием, или с ограниченным человеческим посредничеством в качестве конечного клиента (рисунок 1.3).

Основное отличие сетей M2M от мобильной связи - низкий уровень трафика конечных устройств и необходимость подключения огромного количества конечных устройств в сети, что на порядок превышает количество абонентов сетей мобильной связи. Помимо этих доменов, сеть M2M включает в себя сеть доступа и транспортную сеть, основанную на сетях 3GPP и NGN.

В архитектуре M2M основными элементами являются сетевой домен, а также устройства и шлюзы [8]. Основное отличие сетей M2M от мобильной связи - низкий уровень трафика конечных устройств и необходимость подключения огромного количества конечных устройств в сети, что на порядок превышает количество абонентов сетей мобильной связи. ETSI M2M рассматривает первый тип сети, который они назвали «M2M-сетями».

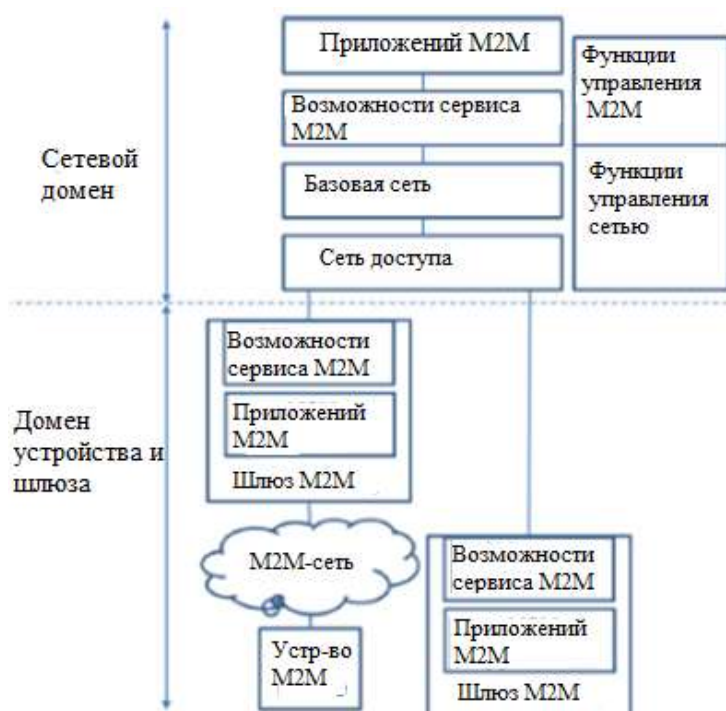


Рисунок 1.3 - Архитектура высокого уровня

Проектирование систем M2M разделено на три области: пространство конечных точек M2M (пространство для размещения капилляров), пространство для организации (организация по центру, M2M) и пространство для приложений M2M. Структура и функциональная совместимость большинства организованных пространств M2M показаны на Рисунке 1.4.

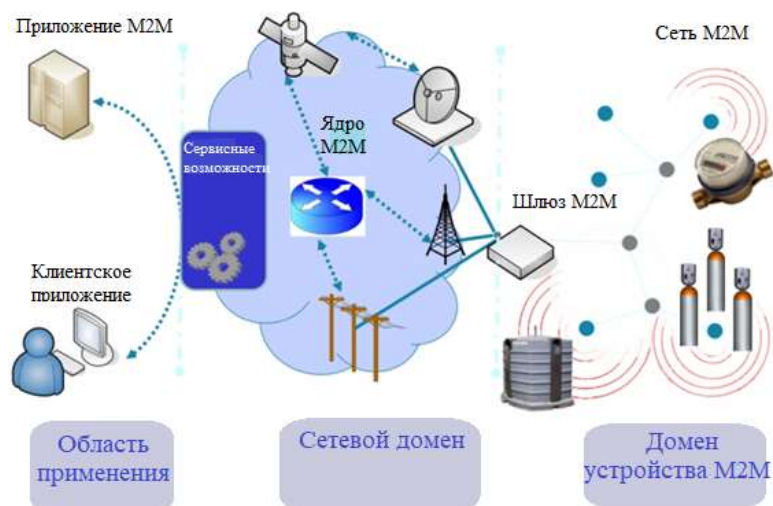


Рисунок 1.4 - Взаимодействие с сетевым доменом M2M

Конечные точки M2M позволяют быстро организовать администрирование, а также использовать эти администрации и использовать пространство для размещения. Устройство M2M можно связать с сетью для организации напрямую или через ближайший шлюз M2M. M2M LAN обеспечивает связь между оконечными точками M2M и шлюзами M2M.

Локальная сеть M2M обеспечивает связь между оконечными устройствами M2M и шлюзами M2M. Примеры локальных сетей: PAN-сети (IEEE 802.15, SRD, UWB, Zigbee, Bluetooth) или PLC, M-BUS, беспроводные сети M-BUS.

Шлюзы M2M предоставляют оконечные точки M2M с гарантированной сетью и сетью для центра организации и пространства приложений. Портал M2M можно использовать для различных приложений M2M и устройств вывода. Практически шлюз M2M объединяется в один модуль с оконечным устройством M2M или совокупностью таких устройств.

Организация на основе M2M: предоставляет сеть M2M-IP, обеспечивает администрирование, администрирование и возможности, функциональную совместимость, блуждание и безопасность. Полезность организации на основе M2M основана на сравнении характеристик существующих систем на основе 3GPP-CN (например, GPRS, EPC, ETSI TISPAN CN) [9].

Модули преимуществ M2M: реализованные в центре M2M, они организуют и предлагают возможности для выполнения функций, которые могут объединять различные приложения. Они общаются через открытый интерфейс M2M. В дополнение к своим возможностям организации M2M, он расширяет возможности фундаментальной организации, а также 3GPP и TISPAN. Дает возможность распутать и оптимизировать используемые приложения и администрирование M2M. Большинство возможностей центра

M2M (возможности выгоды), выполняемые путем сравнения полезных модулей M2M, включают следующее:

- управление приложениями;
- общая связь;
- обеспечение доступности устройств / шлюзов, адресация и хранение данных, доступность, адресация и репозиторий;
- выбор отчетов;
- дистанционное управление-Удаленное управление объектами;
- безопасность;
- история и сохранение данных;
- управление транзакциями запросов;
- компенсация контроля компенсации Брокер;
- открытие базовой сети операторам связи-Telco Operator Exposure.

Принимая во внимание все изложенные выше вопросы, очевидно, что исследование современного состояния сети M2M-трафика, анализ трафика в M2M-сетях, открытие концепции самоподобного трафика, анализ моделирования процесса обслуживания различных типов M2M, в частности Вейбулла и Парето, распределяет трафик в беспроводной сети LTE с помощью системы моделирования AnyLogic является актуальной.

2 Анализ трафика в сетях M2M

2.1 Особенности M2M трафика

В рамках анализа характеристик трафика данных, генерируемых в сетях M2M, необходимо определить трафик на разных уровнях сети M2M в зависимости от используемого приложения (Вертикальный рынок) [11].

Основные элементы архитектуры сети M2M разделены на три области: полевое устройство M2M (локальная сеть); сетевое поле (середина сети M2M) и область действия [12]. В дополнение к диапазону сетей M2M, включая доступ к сети (проводной или беспроводной) и сеть передачи, основанную на сетях беспроводного доступа 3GPP или сетях доступа NGN.

Ссылка в цепочке конечных пользователей, «машина-машина» (M2M) или отношения с точки зрения типа взаимодействия машины с обменом Машинные данные (классификация 3GPP-МТС (связь типа машины)), в годах впереди он будет занимать значительную часть трафика в будущих беспроводных сетях - до 40% (прогноз - оранжевый на 2020 год), по сравнению с нынешними 3-5%.

Это взаимодействие имеет существенные различия как в обеих моделях, так и в отношении направления трафика, в зависимости от типа драйвера для конечных пользователей, «человек-человек» (H2N), где большинство производственных линий на видеосервисе - более 67 -75%.

Таким образом, в мобильных сетях ситуация, при которой устройства M2M и смартфоны должны иметь одинаковый доступ к инфраструктуре сети в

3GPP, однако текущая сеть телефона разработана и управляется для передачи данных со смартфоном в цепочках, конечные пользователи H2H. Следовательно, в ближайшем будущем количество мобильных широкополосных устройств M2M может быть намного больше, чем количество популярных смартфонов, и операторы мобильных сетей сталкиваются с проблемами, связанными с эффективным использованием доступных веб-ресурсов в попытке сделать трафик гетерогенные, с устройствами M2M и смартфонами [13].

Характеристики активности M2M отличаются от существующего организованного трафика, основанного на демонстрации взаимодействия «человек-человек» в рамках сквозной клиентской цепочки E2E ("end-to-end"). Модель взаимодействия основано на отношении «человек-человек» (H2H) согласованности созданной активности с точки зрения продолжительности сеанса, суммы информации и повторяемости взаимодействия. Нормальность деятельности M2M основана на машинах, случаи взаимодействия между машинами будут иметь свои особенности.

Наиболее заметное различие между трафиком и M2M заключается в том, что размер передаваемой информационной посылки обычно очень мал, поскольку это были многие (сотни) байтов, и зависит от характера информации, производимой приложением M2M. Поскольку большинство устройств M2M передают информацию с определенного датчика, такую как температура, липкость, информационные пакеты, передаваемые через систему, которые в результате содержат информацию оценки соглашения о преимуществах. Внутри системы сетевой активности информация об используемых администрациях хранится в пределах организации как можно меньше, а информация о реальной активности ценных данных - в зависимости от времени использования.

Анализ бизнес-моделей услуг M2M показывает, что 90% устройств M2M являются стационарными устройствами и неподвижны в пространстве. Характерным моментом для гаджетов M2M является то, что в частном случае администраций видеонаблюдения они производят исключительно объемы мычания по сравнению с администрациями интерактивных медиа H2H. Следовательно, обычные датчики, которые оценивают использование жизнеспособности и коммунальных ресурсов - тепла, света, воды, производят от 200-500 байт каждый час [14] до 6 КБ на миниатюру, так что нормальный гаджет M2M производит при нормальных 266 МБ активности в месяц.

Распределение M2M-трафика по сетям с разными технологиями в зависимости от используемой бизнес-модели (приложения) показано в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Распределение M2M-трафика по сетям различных технологий.

Бизнес-модели	2012 год			2014 год		
	2G	3G	4G	2G	3G	4G
Умные измерения	13	4	0	8	3	1

Потоковое видео	0	1	1	0	1	1
Торговый автомат	1	1	0	1	1	0
Электронное здоровье	1	1	0	1	2	0
Видеонаблюдение и безопасность	7	4	1	5	5	1
Пункты продажи	3	2	0	2	2	1
Индустриальная автоматизация	1	4	0	1	4	1
Автоматизация зданий	10	3	0	7	4	1
Автомобильные приложения	20	21	2	13	30	6
Общий	56	56	40	4	37	52

Анализ таблицы 2.1 показывает, что, несмотря на дешевизну и широкое предложение на рынке устройств M2M с беспроводными модулями 2G, постепенный переход на использование радиомодулей 3G и 4G, вызванный ростом трафика через новые приложения M2M в ряде отраслей и нехваткой ресурсов сетей 2G для таких приложений.

Широкий спектр услуг, предоставляемых пользователям мобильной сети LTE, и в то же время ограниченный частотный диапазон ставят перед операторами мобильной связи задачу управления сетевыми ресурсами для обеспечения требуемого качества обслуживания. Увеличение с каждым годом доли трафика данных между машинами вызывает необходимость решения этой проблемы не только на основе в основном для мобильных сетей трафика между пользователями (Human-to-Human, H2H), но и с учетом трафика межмашинного взаимодействия (Machine-to-Machine, M2M).

M2M предоставляет более пятидесяти вариантов использования, включая интеллектуальные датчики (для электричества, газа, воды), управление объектами, системы охранной и пожарной сигнализации для домашней и коммерческой недвижимости, персональные электронные датчики здоровья, системы слежения за людьми, животными или объектами, объекты инфраструктуры "умного" города.

Таблица 2.2 - Основные характеристики M2M - трафика

Характеристики трафика.	Особенности сетей и трафика
Огромное количество устройств M2M (миллионы в сети оператора)	Высокая степень использования транспортной сети/Совместная обработка данных
Небольшой объем трафика, генерируемого отдельным устройством M2M во время передачи данных (несколько сотен байт)	Низкое использование ресурсов/Сети радиодоступа 3GPP
Асимметричный объем трафика (в основном от устройств M2M в сеть)	Неудобство в объеме активности, передаваемой по нисходящим каналам от M2M-организации к M2M-устройству и по восходящей линии от M2M-устройств к M2M-устройству / Должен точно оценивать

	скорость передачи в нисходящем и восходящем каналах для оптимизации
Нерегулярный и сосредоточенный на отдельных временных отрезках трафик (схема передачи "сгустков" данных)	Проблемы с точным моделированием активности / Воспроизведение общей активности из каждого кластера портативного информационного устройства
Требования к гибкости в отношении времени доставки (большинство сообщений контролируются вовремя)	Проблемы с точным моделированием активности / Воспроизведение общей активности из каждого кластера портативного информационного устройства
Групповой доступ (большинство устройств M2M имеют близкое расположение)	Группируйте различные типы устройств M2M/Комплексное отображение и поток трафика, а также QoS для этих типов устройств
Разнообразие уровней QoS для данных M2M (от исходящих до определенного времени)	Различия в требованиях гарантированного уровня QoS/Стандартизированной классификации

Анализ таблицы 2.2. показывает, что для трафика в цепочке конечных пользователей «машина-машина» (M2M) существуют значительные различия в типе передачи данных по сравнению с данными для цепочки пользователей типа «человек-человек», по крайней мере, семь из следующих областей. Поэтому при анализе деятельности оператора M2M и сети доступа оператора на основе мобильных сетей необходимо учитывать проблемы рынка M2M, новые модели трафика и сценарии моделирования.

Лучшие подходы к сбору информации с устройств M2M в одной вертикальной отрасли и ее использование в приложениях M2M в других вертикальных компаниях, основанные на огромных информационных моделях, требуют современных механизмов для создания систем на уровне систем M2M в различных компаниях.

Рассмотрение деятельности, созданной в системах M2M, при предоставлении администраций M2M является следствием характеристик [14]:

- техническая сторона взаимодействия устройств M2M с устройством M2M и краткий срок встреч;
- небольшая сумма обмена информацией, требующая небольшой используемой пропускной способности в пределах объекта для организации огромного количества связанных устройств M2M;
- мычание переносимости устройств End-M2M или их отсутствие, а также мычание движения в онлайн-отряде за счет полезной активности приложения;
- предварительные условия одновременной организации сети из обширной группы устройств M2M;
- низкое энергопотребление терминалов M2M за счет низкой посещаемости;
- низкая управляемость вычислительных приложений и устройств M2M;
- высокие требования к информационной безопасности.

Важно требовать рассмотрения того факта, что отличительные приложения M2M характеризуются отличительными названиями

использования и заголовками передачи активности, а модели активности на пути к системам универсальных систем должны учитывать эти характеристики. Например, при настройке банкомата банковского счета клиента, чтобы сформировать запрос в структуру центрального банка, обменяться небольшой суммой информации и, таким же образом, сервер производит взнос, как это было с сертификатом авторизации карты. и сумма, выданная банкоматом.

Другой случай приложения M2M может непрерывно создаваться как часть структуры безопасности и гарантии, такой как видеонаблюдение, видеопоток на видеосервер. Создаваемый информационный поток может иметь решающее значение, особенно когда для изображений высокой четкости требуются объекты высокой четкости.

Отследить можно не только грузы, но и промышленные объекты - установив модуль для передачи информации о местонахождении. Датчики могут отправлять информацию о составе кормов для животных, о материале определенных их компонентов, а затем собирать данные для анализа.

Говоря о приложениях для умного дома, следует отметить, что они обычно используются на основе технологий ближнего действия, таких как Z-Wave и ZigBee, а подключение к Интернету происходит через домашний шлюз.

Результаты качественной оценки трафика от устройств M2M при предоставлении услуг M2M для различных вертикальных рынков представлены в таблице 2.3.

Анализ этой таблицы показывает, что M2M-трафик в большинстве случаев ниже, чем трафик, генерируемый абонентами для обслуживания людей.

Таблица 2.3 - Результаты качественной оценки объема трафика

Вертикальный рынок	Сравнительная оценка объема трафика для M2M приложений
Энергия и безопасность	Измерительное оборудование (○). Коммерческие и частные системы безопасности и ценные бумаги (●). Системы автомобильной безопасности (○).
Авто / Транспорт	Автобезопасность (○). Управление коммерческим транспортом (○). Удаленная диагностика (○).
Здоровье	Мониторинг домашнего здоровья (○). Удаленная видеоконсультация врача (○).
Финансы / Розница	POS-терминалы (○ и ●). Банкоматы / киоски (○). Торговый автомат (○).
Производство	Диагностика оборудования и телеметрия (○). Имущество, контейнеры и груз (○). Управление и отслеживание капиталовложений (○). Кабинет учета товаров (○).
Бытовая электроника	Персональные навигаторы, электронные книги - планшеты, ошейники для животных (○ и ●).
○ - меньше среднего объема трафика в сетях H2H. ● - больше среднего объема трафика в сетях H2H.	

Разнообразные планы действий, создаваемые приложениями M2M, представлены в таблице 2.4. Как видно из таблицы, различные виды приложений M2M на маршрутах «вниз» и «вверх» объясняют разные объемы активности, в отличие от администрирования H2H, где голосовая активность, как правило, составляет от 50 до 50. В таком образом, действия из приложения M2M, которые путешествуют через доступ к системам портативных администраторов, блокируются в пределах фронта и поднимают каналы доступа для организации. Согласно оценкам [15], нормальная пропорция информационной активности M2M между нисходящей и восходящей линиями связи составляет 10% и 90% по отдельности. Из-за искажения активности, вызванного приложениями M2M между передним и повышающим каналами, универсальная организация, использующая инновации TDD, будет иметь преимущество перед системами LTE, использующими инновации Recurrence Duplex Channel (FDD). Системы TDD позволяют перераспределять частотно-временной актив и, таким образом, активность между прямым и обратным каналами в пропорции от одного до восьми, и идеально использовать повторяющийся актив для организации администраций M2M. В таких обстоятельствах системы FDD работают расточительно, прямой интерфейс перегружен, а обратное соединение перегружено.

Таблица 2.4 - Различные модели сетей, формируемые приложениями M2M

Модель трафика данных	Примеры приложений M2M и коэффициент посещаемости
Небольшой объем трафика на линии «вниз» и «вверх»	Система учета энергоресурсов (20% и 80%)
Небольшой объем трафика на линии «вниз» и большой объем трафика на линии «вверх».	Видеонаблюдение (0,1% и 99,9%)
Большой объем трафика по линии «вниз» и «вверх»	Удаленная видеоконсультация с врачом (50% и 50%)
Большой объем трафика на линии «вниз» и небольшой объем трафика	Видеореклама, навигация (99,9% и 0,1%)

К 2021 году количество мобильных подключений M2M (без учета узкополосного Интернета вещей) превысит 733 миллиона во всем мире. Это составляет около 8,1% всех запланированных сотовых подключений по сравнению с 4,2% в 2015 году.

Количество M2M-соединений (машина-машина) к 2021 году составит 733 миллиона во всем мире, а общий мировой доход от услуг M2M достигнет 67 миллиардов долларов, при этом технология LTE будет доминировать - их будет 212. миллионов M2M-подключений за пять лет. По словам основных

операторов, 3G по-прежнему является доминирующей технологией, переход на LTE произойдет, но с небольшой задержкой.

Согласно отчету исследовательской компании Ovum, годовой оборот глобальных сервисов M2M к 2021 году должен превысить 67 миллиардов долларов, в то время как годовой темп роста общего оборота сервисов M2M составит 13,3%. Более высокие доходы ожидаются в Азиатско-Тихоокеанском регионе - (22 миллиарда долларов), Северной Америке (16 миллиардов долларов) и Западной Европе (14 миллиардов долларов).

Системы LTE имеют ряд настроек, которые позволяют клиентам M2M эмигрировать из 2G / 3G в LTE. Например, для некоторых приложений M2M, таких как видеонаблюдение, передача видеоматериала на компьютеризированные информационные табло, может потребоваться высокая скорость передачи информации. Как вы знаете, скорость обмена информацией в системах LTE в сотни раз выше, чем в системах 2G, и может обеспечивать передачу видео с высокой стабильностью, необходимой в открытых системах безопасности и ряде коммерческих приложений.

Другое, вероятно, более важное преимущество систем LTE - это в 10 раз более быстрое время реакции, часто это время, необходимое для того, чтобы флаг от устройства M2M достиг сервера через переносной операторский механизм и вернулся обратно. Для всемирной структуры универсальных систем связи задержка реакции составляет почти 150 мс, для всеохватывающих портативных систем связи - 50 мс, для систем LTE - 10 мс. Бездействие MoO является обязательным условием для приложений, M2M, наблюдения за хрупким оборудованием в реальном времени, а также для оповещения и управления механическим оборудованием.

Огромное преимущество перед системами 2G / 3G с точки зрения информационной активности и отклоненных систем в M2M получается в системах TD-LTE из-за способности изменять распределение организационных активов в результате адаптируемости в рамках использования количества отверстий. , как результат, симметричная активность в восходящем и нисходящем каналах связи. Количество таких сценариев начального выделения TD-LTE включает 7 случаев использования от 8: 1 до 2: 2 [15].

Ключевым преимуществом схемы LTE является, кроме того, «жизненный цикл» инновации, который начался через долгое время после развития 2G / 3G и создавался в течение 10-20 лет. Известно, что на транспорте используется множество устройств M2M, а для механического оборудования требуется срок службы минимум 10 дней, а системы 2G находятся в стадии подготовки к созреванию. Исключительно вероятно, что с развитием голосовой связи в системах LTE сторонники перейдут от систем 2G, и в этом случае модули 2G потребуют замены модулей 4G, что может потребовать дополнительных затрат. Таким образом, более высокий ток модулей LTE может быть уравновешен более низкими эксплуатационными расходами в будущем.

Еще одно преимущество нововведений LTE - это более низкие затраты на поддержку M2M в будущем. Учитывая, что инновации LTE полностью

обмениваются и работают через IP, а также способность применять стандарты самоорганизующихся систем, системы M2M, основанные на организации LTE, менее требовательны и дешевле в строительстве, работе и развитии. В расширении указано 44 группы повторения для систем LTE, и они имеют более высокую ужасающую производительность по сравнению с нововведениями GSM и HSPA (GSM -1-1,5 бит / с / Гц, HSPA-2,2 бит / с / Гц, LTE-5 бит / с / Гц). Все эти особенности предлагают помощь в снижении капитальных и эксплуатационных расходов универсальной системы и, как следствие, уменьшения количества операций обмена одним информационным битом.

Системы LTE чрезвычайно универсальны с точки зрения базы индоссантов и в настоящее время актуализируются с возвращением к IPv6, который имеет 128 бит и позволяет формировать до 5×1028 адресов. Обычно это жизненно важная характеристика, поскольку количество доступных общедоступных IPv4-адресов быстро уменьшается, а количество гаджетов M2M в мире будет продолжать развиваться.

Специализированная деталь 3GPP TS 22.368 [16] характеризует три модели, которые предоставляют отличительные альтернативы для организации администрирования M2M и взаимодействия между гаджетами M2M и сервером M2M и приложением M2M (рисунок 2.1.):

- модель А (взаимодействие между M2M-устройствами без использования промежуточного M2M-сервера);
- модель В (сервер M2M находится вне операторского домена);
- модель С (сервер M2M находится в домене оператора).

Модель А обеспечивает координированное взаимодействие «один к одному» между устройствами M2M без использования среднего сервера M2M, а также координирует взаимодействие с приложениями M2M, поскольку приложения верхнего уровня LTE / 3GPP организуют администратор. Корпус, представленный на рисунке 2.1, как бы выполнен в форме 12.

Модель В позволяет устройствам M2M обмениваться данными с помощью сервера M2M, который находится вне помещения оператора, и администратор организации LTE / 3GPP обеспечивает эту организацию с сервером M2M. MTCsp и MTCsms используются в качестве центров взаимодействия, которые могут быть внешними интерфейсами для администратора организации M2M (поставщика преимуществ) и внутри администрации организации M2M, LTE / 3GPP.

Модель С предоставляет интерфейс для устройства M2M, использующего сервер M2M, находящийся в пространстве оператора. Организация пространства оператора предлагает программируемый интерфейс приложения (API) на сервере M2M, и, соответственно, заказчик преимущества M2M получает доступ к серверу M2M через этот интерфейс API.

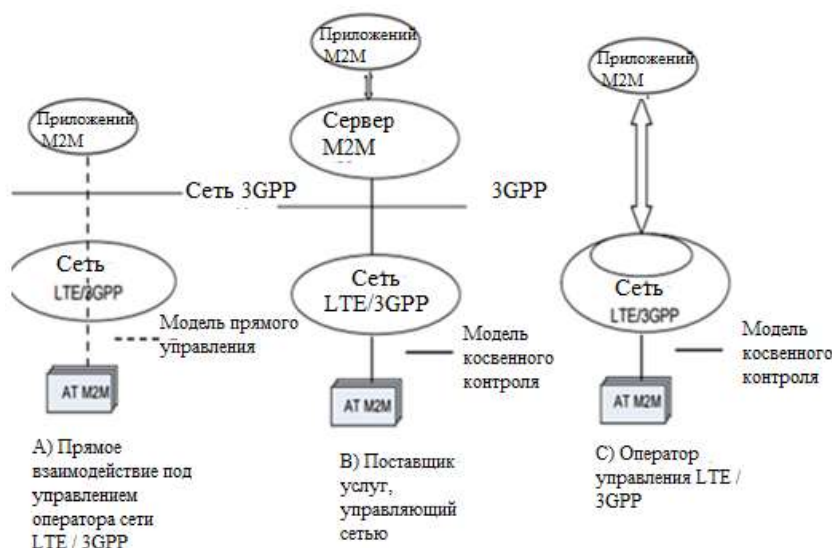


Рисунок 2.1 - Три модели взаимодействия сети M2M и сети LTE / 3GPP

2.2 Анализ существующих узкополосных сетей для обслуживания устройств M2M

Впервые на сетевом протоколе LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) беспроводная сеть была представлена на рынке в 2015 году. Корпорация Semtech и исследовательский центр IBM создали новую сеть с открытым протоколом, сохранив свою конкурентоспособность по сравнению с Wi-Fi, Fi и мобильные сети. Также был определен ряд преимуществ, связанных с LoRaWAN, в частности возможность использования межмашинной связи (M2M) и, конечно же, максимальная эффективность новой технологии.

Развитие инноваций LoRaWAN оказало решающее влияние на рекламу, направленную на присвоение единого стандарта для систем управления moo в широком регионе - LPWAN (Сеть с низким энергопотреблением). Фактически, сокращенная форма LoRa может быть компоновкой стратегии настройки LoRa в удаленных системах LPWAN, созданной Semtech и открытым соглашением LoRaWAN.

Для поддержки, создания и стандартизации неиспользуемых инноваций была создана некоммерческая организация Lora's Organization, авторы которой руководили производителями оборудования, известными (IBM, Semtech, Cisco, Kerlink, IMST и т. Д.) И администраторами телекоммуникаций (Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Swisscom). Совместное использование стандарта сделает размещение миллионов гаджетов в Интернете менее требовательным и более оправданным, а также устранил проблему предоставления устройства для Интернета вещей через администраторов электросвязи, а также для организаций и людей.

Разработчики Lora Alliance, Lora, как технология, способны различать слишком много своей мобильной сети и Wi-Fi, с возможностью обеспечения

межмашинной связи (M2M) на расстояниях до 20 км и на скоростях до 50 Кбит/с [17].

Новые технологические инструменты, которые позволяют выбирать из ассортимента устройств LoRa практически без ограничений: Домашняя автоматизация и Интернет объектов (Интернет вещей, IoT), Smart Industry и города, энергетика и здоровье и многое другое.

В качестве всеобъемлющего плана структура LoRaWAN может представлять собой звездообразную топологию, конечные узлы, обрамляющие прямые дверные мосты, и центральный организационный сервер для связи. Эта разработка предполагает, что центральный сервер и двери находятся под контролем администратора организации, а конечный узел находится под контролем участников. В этом заговоре сторонники получают простой, безопасный и двунаправленный способ обмена информацией.

Поскольку LoRaWAN может быть всемирной организацией, наиболее серьезной заботой разработчиков была максимальная безопасность и конфиденциальность передаваемой информации. Для этого назначения планируется многоуровневое шифрование AES [18]:

- с интересным упорядочивающим ключом (EUI64) - на сетевом уровне;
- с уникальным ключом приложения (EUI64) - сквозная безопасность на уровне приложений;
- с помощью специального ключа устройства (EUI128).

Для решения различных задач и приложений в сети LoRaWAN предусмотрены три класса устройств (рисунок 2.2):

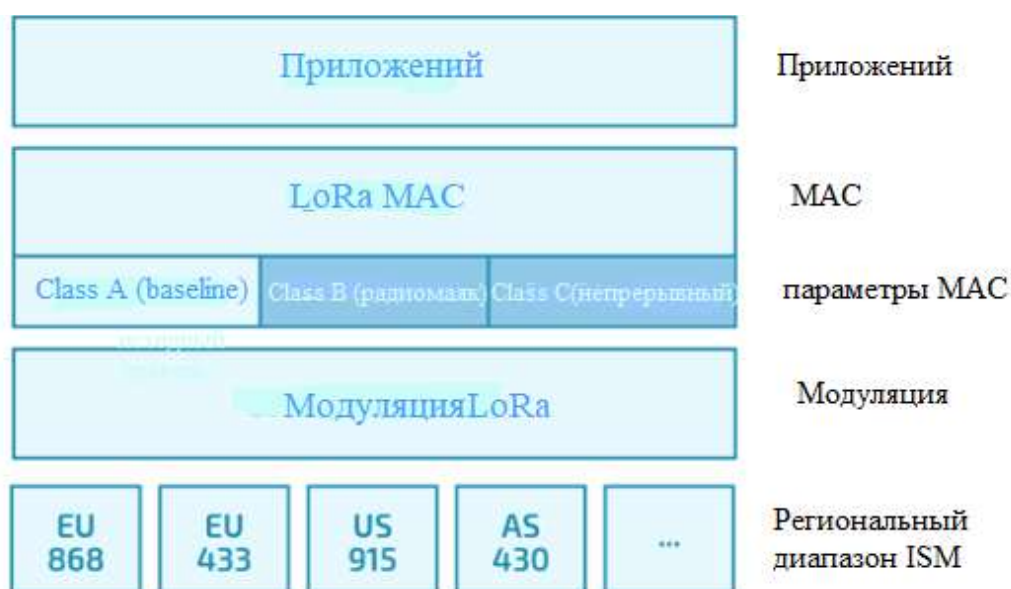


Рисунок 2.2 - Этапы архитектуры LoRaWAN

1) 1) Двунаправленные конечные устройства, класс А. Такие устройства используются, когда жизненно важно сохранить минимальный контроль с преобладанием передачи информации на сервер. Целевой концентратор

начинает сеанс связи, отправляя пакет данных, и после этого назначает два окна, между которыми он поддерживает информацию с сервера. Соответственно, вероятность обмена информацией между сервером и гаджетом вывода происходит, как если бы гаджет вывода открывал сеанс.

2) Двухнаправленные оконечные устройства, класс В. Он отличается от устройств «линии А» тем, что может открывать дополнительные окна сбора на плане. Для планирования гаджет вывода синхронизируется с необычным флагом портала. Следовательно, близость к дополнительному окну позволяет серверу обмениваться информацией в назначенное время.

3) Двухнаправленные терминалы класса С с наиболее экстремальным окном сбора (двухнаправленные терминалы урока С). Они различаются почти непрерывным окном для приема информации и как бы близким к нему по длине передачи информации. Это выделение позволяет использовать их для освещения проблем, связанных с огромными объемами информации.

Согласно соглашению с Semtech, один шлюз LoRa может обслуживать до пяти тысяч устройств вывода, что достигается за счет:

- основных моментов топологии организации;
- универсальная скорость передачи данных и гибкое управление доходностью устройств, задаваемое сервером аранжировки;
- краткое знакомство с окружающей средой; - повторное разделение каналов;
- частотное разделение каналов;
- Баланс LoRa, который позволяет одному рекурсивному каналу одновременно демодулировать сигналы, передаваемые с разными скоростями.

Разработчики LoRa Alliance позиционируют LoRa как технологию, которая обладает значительными преимуществами по сравнению с сотовыми сетями и WiFi благодаря возможности развертывания межмашинных (M2M) коммуникаций на расстояниях до 20 км и скорости до 50 Кбит/с при минимальном энергопотреблении, обеспечивающем несколько лет автономной работы от одной батареи AA.

В Казахстане сеть LoRaWAN внедряет телекоммуникационная компания «Казахтелеком».

На первом этапе организовано покрытие сигналом LoRaWAN крупнейших городов страны: Алматы, Астана, Шымкент. Установлено около ста базовых станций. Оборудование и программное обеспечение были разработаны и произведены казахстанской компанией «Орион Система» [19].

Рассмотрим архитектуру сетей LoRaWAN (рисунок 2.2). Типичная сеть LoRaWAN состоит из следующих элементов: конечные узлы, шлюзы, сетевой сервер и сервер приложений. Конечный узел предназначен для выполнения функций управления или измерения. Содержит набор необходимых датчиков и элементов управления.

Шлюз LoRa (Шлюз / Концентратор) - устройство, которое получает информацию от устройств вывода по радиоканалу и передает ее в транзитную сеть. Такой системой могут быть Ethernet, Wi-Fi, сотовые системы и любые

другие каналы передачи мультимедиа. Дверные и выводные устройства образуют звездообразную топологию. Обычно это устройство содержит многоканальные трубки для одновременной обработки сигналов в нескольких каналах или разных сигналов в одном канале.

Каждый информационный пакет LoRaWAN, отправляемый концентратором вывода (концентратором вывода), включает в себя интересный идентификатор приложения AppEUI, имеющий место для приложения на сервере поставщика преимуществ, для которого оно ожидает, и этот идентификатор используется центральным сервером организации LoRaWAN для поощрять конечно посылку и ее обработку приложений на сервере (сервере приложений) преимущества поставщика.

Сервер приложений (Application Server) может удаленно контролировать работу конечных узлов и собирать с них необходимые данные.

В конце концов, организация LoRaWAN включает звездообразную топологию с концентраторами вывода, которые связываются с центральным сервером системы через порталы, образующие прямые мосты. При таком подходе чаще всего ожидается, что дверь и центральный сервер будут иметь место для администратора, а конечные центры будут его поддерживать.

Полезная нагрузка шифруется терминалом с использованием ключа, который известен владельцу гаджета. Степень самоподобия активности необходимо определять с помощью параметра Херста.

Абоненты имеют возможность прозрачной двунаправленной и безопасной передачи данных конечным узлам (Рисунок 2.2) [20].

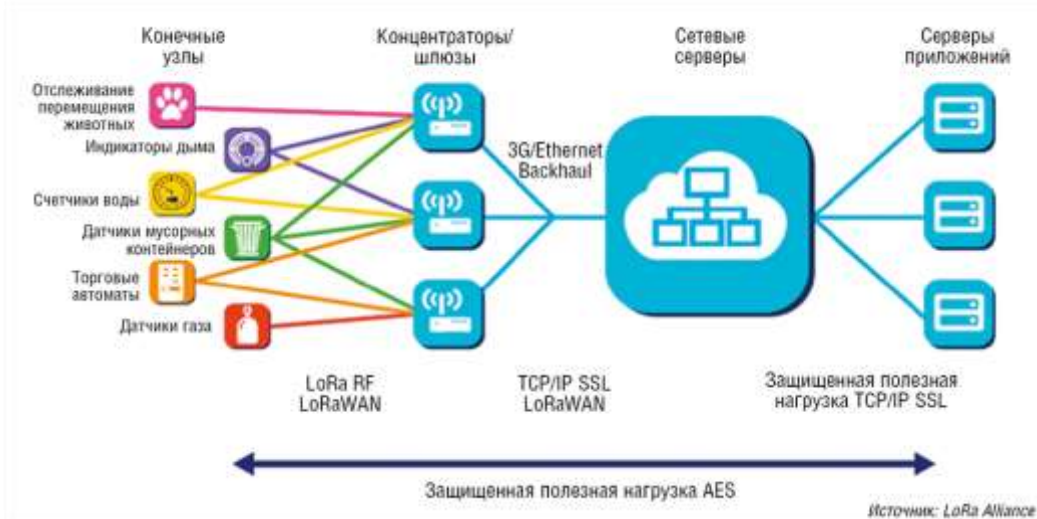


Рисунок 2.3 - Архитектура сети LoRaWAN

Центральный сетевой сервер LoRaWAN, который координирует узлы с узлами (конечным узлом) системы через порталы, решает проблему возможных коллизий, одновременно передавая информацию в несколько фокусов, определяя временные интервалы для передачи и собирая отдельно для каждого

вывод концентратора. Тенденция к дублиям помещается в 32-битный DevAddr, который интересен для каждого концентратора (концентратора вывода) [21].

Каждая информационная посылка LoRaWAN, отправляемая концентратором вывода (концентратором вывода), включает в себя специальный идентификатор приложения AppEUI, имеющий место для приложения на сервере поставщика преимуществ, для которого он планирует, и этот идентификатор используется центральным сервером организации LoRaWAN для помощи, конечно, посылка и приложения для ее обработки на сервере (сервере приложений) поставщик преимуществ.

В то время как определение LoRaWAN как бы показывает, куда попадают носители (уровни 2 и 3 модели OSI), общая диаграмма топологии сети выглядит точно так же, как показано на рисунке 2.3. Как правило, организация может быть топологией «звезда-звезды», в которой двери получают сообщения, отправленные конечными точками, и пересылают их по IP-сети на сервер. Сервер размещения — это приложение, работающее на одном или нескольких физических серверах, которое имеет список конечных точек и их владельцев. Он передает сообщение владельцу. После получения сообщения от сервера аранжировки владелец может расшифровать и извлечь полезную нагрузку (рисунок 2.3) [22].

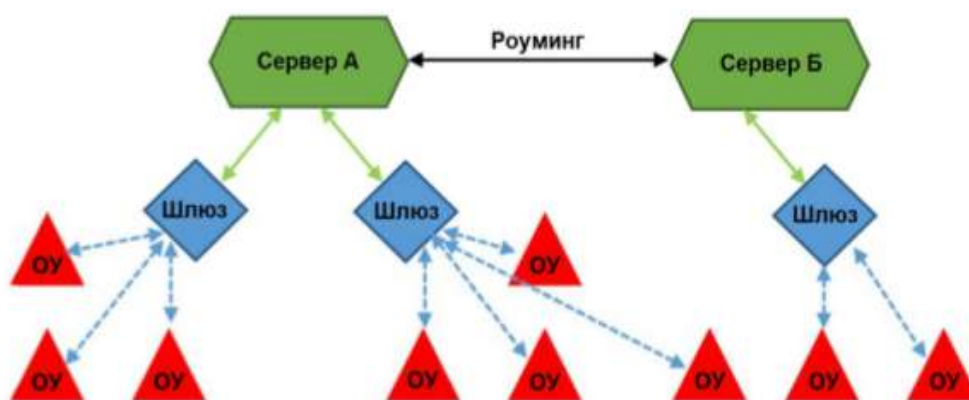


Рисунок 2.4 - Топология LoRaWAN

Рассмотрим реальный трафик, поступающий на центральный сервер. Отметим, что M2M устройства относятся к В, то есть конечные устройства посылают сообщения по расписанию. На рисунке 2.4 представлен реальный пакетный трафик, поступающий на центральный сервер со шлюза.



Рисунок 2.5 - Трафик в сети LoRaWAN

Для пакетного трафика важной характеристикой является степень его самоподобия. При этом для реального измеренного трафика следует отметить следующие проблемы:

1) Даже если свойства самоподобия подтверждены, нельзя сразу сделать вывод, что анализируемые данные имеют самоподобную структуру, следует говорить о самоподобной структуре в заданном диапазоне масштабов для данного набора данных.

2) Оценка параметра Херста зависит от многих факторов, таких как метод оценки, размер выборки, временной масштаб и так далее [23-24].

В таблице 2.5 приведены данные с реального пакетного трафика, поступающего на центральный сервер со шлюза показаны на рисунке 2.4.

Таблица 2.5 - Данные реального трафика

Время, мин	Данные, бит/с	Время, мин	Данные, бит/с
1	100	7	250
2	100	8	110
3	125	9	210
4	300	10	80
5	180	11	150
6	200	12	100

Параметр Херста определим с применением метода R/S статистики.

Тенденцию изменения временного ряда, представленного в таблице 1, можно предсказать. Для этого рассмотрим отношение:

$$\frac{R}{S} = (aN)^H, \text{ откуда } H = \frac{\log(R/S)}{\log(aN)}, \quad (2.1)$$

где H - параметр Херста;

S - среднеквадратическое отклонение для интервала их N членов;
 N- длина интервала;
 a - константа;
 R – размах отклонений.

Порядок расчета параметра Херста:

- 1) Пусть дан временной ряд $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$. $k = 12$.
- 2) Разбиваем ряд на интервалы длиной N. В нашем случае пусть N принимает значения 3,4,6 . Следующие действия повторяем 3 раза для разных N.
- 3) В первом случае N=3. Разбиваем ряд на 3 интервала.
- 4) Для каждого интервала находим среднее значение:

$$X_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (2.2)$$

- 5) Для каждого интервала находим среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - X_{cp})^2}. \quad (2.3)$$

6) Для каждого интервала находим размах отклонений $R = \max z_i - \min z_i$: где $y_i = x_i - X_{cp}$, $z_1 = y_1$, $z_i = y_{i-1} + y_i$.

7) Определяем отношение R/S для каждого интервала и находим среднее значение. Записываем значения N и усредненного R/S.

- 8) Возвращаемся к пункту 2 и повторяем действия для N = 4 и 6.
- 9) Заполняем таблицу 2.6.

Таблица 2.6 - Данные

N	R/S	$x = \lg(N)$	$y = \lg(R/S)$	N
2	4.194	0.301	0.622	2
3	4.006	0.477	0.602	3
4	3.666	0.602	0.564	4

- 10) Теперь необходимо построить уравнение линейной регрессии:

$$y = a \cdot x + b, \quad (2.4)$$

где a = H – параметр Херста.

Таблица 2.7 - Данные, которые использовались для нахождения параметра Херста

n	x	y	x^2	$x \cdot y$
1	0.301	0.622	0.091	0.187
2	0.477	0.602	0.228	0.287

3	0.602	0.564	0.362	0.34
Sum, Σ	1.38	1.788	0.681	0.814

11) Составим систему линейных уравнений.

$$\begin{cases} n \cdot a + \Sigma x \cdot b = \Sigma y \\ \Sigma x \cdot a + \Sigma x^2 \cdot b = \Sigma x \cdot y, \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\begin{cases} 1 \cdot a + 1.38 \cdot b = 1.788 \\ 1.38 \cdot a + 0.681 \cdot b = 0.814, \end{cases} \quad (2.6)$$

$$a = 1.788 - 1.38 \cdot b, \quad (2.7)$$

$$1.38 \cdot (1.788 - 1.38 \cdot b) + 0.681 \cdot b = 1.394, \quad (2.8)$$

$$2.467 - 1.904 \cdot b + 0.681 \cdot b = 1.394, \quad (2.9)$$

$$b = 0.877, \quad (2.10)$$

$$a = 1.788 - 1.38 \cdot 0.877 = 0.578, \quad (2.11)$$

$$a = 0.578, \quad (2.12)$$

$$H = a = 0.578, \quad (2.13)$$

$$y = 0.578 \cdot x - 0.877. \quad (2.14)$$

Решив систему уравнений, находим a и b , параметр Херста $H = a = 0.578$.

Для анализируемых данных был рассчитан параметр Херста $H = 0.578$, что означает, что трафик обладает свойством самоподобия. Мультисервисная деятельность фактически самоподобна, так что ни один из наиболее часто используемых проектов деятельности не может уловить это фрактальное поведение. Такое поведение содержит реальные предложения по планированию, администрированию и исследованию деятельности в высокоскоростных мультисервисных коммуникационных системах, в которых накопление таких потоков активности имеет тенденцию усиливать чувство самоподобия («связывания»), а не сглаживать его. Дисперсия Вейбулла-Гнеденко может быть двухпараметрической передачей. Этот закон является всеобъемлющим, поскольку при сравнении значений параметров он переходит в обыкновенную, экспоненциальную и другие виды дисперсий..

Они названы в честь конструкции В. Вейбулла, который представил эти дисперсии для анализа результатов испытаний на усталость при отображении предварительно наблюдаемого разброса прочности стали, пределов ее гибкости и численных расчетов. Гнеденко (1912-1995), получивший такую перевозку, как сдержанность при сдаче самого экстремального испытания. Закон Вейбулла красиво описывает рабочее время до разочарования в заголовке, компонентах электронного оборудования, он используется для оценки безупречного качества деталей машин и сборок в конкретных автомобилях, а также для проверки безупречного качества машин при подготовке притирки.

Случайное положительное значение имеет распределение Вейбулла, если уравнение плотности распределения верно:

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (2.15)$$

где a и b - параметры распределения.

Параметры a и b могут очень сильно изменить форму кривой. Рисунок 2.6 показывает поведение изменения $f(t)$ при изменении b . При $b = 1$ распределение Вейбулла вырождается в экспоненциальное распределение.

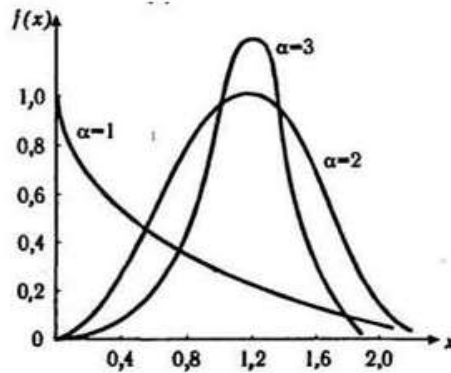


Рисунок 2.6 - Плотность распределения Вейбулла

Для математического ожидания и дисперсии случайной величины, удовлетворяющей уравнению, имеет место формула:

$$M(t) = a \Gamma\left(1 - \frac{1}{b}\right), \quad (2.16)$$

$$\sigma^2(t) = a^2 \left[\Gamma\left(1 - \frac{1}{b}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{b}\right) \right], \quad (2.17)$$

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x}, \quad (2.18)$$

где a, x – табличная гамма-функция.

Время до отказа для многих невосстановимых объектов имеет распределение Вейбулла. К таким объектам относятся, например, подшипники качения, отдельные типы электронных ламп, полупроводниковые приборы, микроволновые устройства, некоторые объекты, отказ которых происходит из-за усталостного отказа.

Графики, характеризующие распределение Вейбулла, показаны на рисунке 2.7.

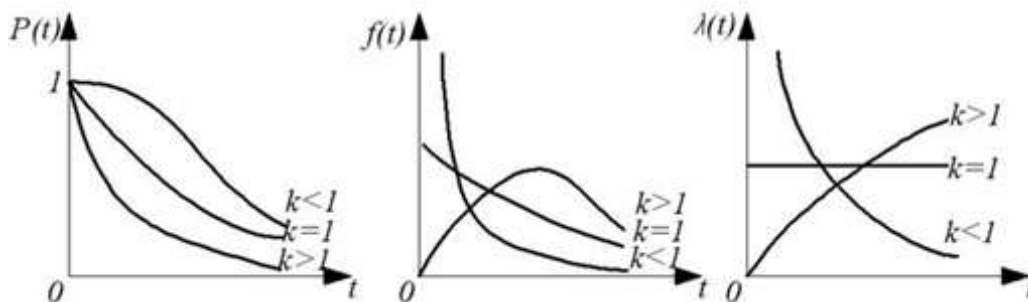


Рисунок 2.7 - Графики показателей надежности распределения Вейбулла

Опыт эксплуатации многих электронных устройств и большого количества электромеханического оборудования показывает, что для них характерны три типа зависимостей интенсивности отказов от времени, соответствующие трем периодам жизни этих устройств. График функции соответствует распределению Вейбулла. Три типа зависимости интенсивности отказов от времени, указанные на графике, могут быть получены с использованием двухпараметрического распределения Вейбулла для вероятностного описания случайной наработки до отказа [25].

Распределение Вейбулла широко используется в теории надежности при исследовании характеристик надежности полупроводниковых приборов. Кроме того, он используется при ускоренных испытаниях элементов в форсированных режимах, при исследовании надежности элементов в процессе выглаживания. Согласно этому распределению, плотность вероятности момента отказа.

Первоначально Вильфредо Парето использовал это распределение для описания распределения богатства, а также распределения доходов. Его «правило от 20 до 80» (которое гласит: 20% населения владеет 80% богатства), однако, зависит от конкретной величины k , и утверждается, что на самом деле существуют значительные количественные отклонения, например, собственные данные Парето для Великобритании в «Cours d'économie politique» говорится, что около 30% населения владеет 70% общего дохода.

Дисперсия Парето обнаруживается не как в финансовых вопросах. Случаи включают:

- в этимологии дисперсия Парето известна как закон Ципфа (для разных диалектов пример может несколько отличаться, кроме того, есть небольшое отклонение от простой уверенности в силе в самых посещаемых словах, но в целом закон отражает это хорошо диспергировать). Можно рассмотреть особые приметы этой конструкции;

- зависимость прямого повторения события слов (сколько раз встречается каждое конкретное слово) в достаточно длинном содержании от ранга (порядкового номера при запросе слов путем прямого повторения).

Степенной закон сохраняется независимо от того, должны ли слова инициализировать форму.

- аналогичная кривая популярности имен;
- распределение размеров населенных пунктов;
- распределение размера файла в интернет-трафике по протоколу ТСР.

Гипотеза вероятности Парето могла бы быть двухпараметрическим семейством полностью непрерывного контроля распространения. Его титул - Вильфредо Парето. Это происходит при рассмотрении различных чудес, конкретных социальных, финансовых, физических и других. Внешняя сфера финансовых вопросов тоже в некоторых случаях упоминается как перевозка Брэдфорда.

Принцип распределения Парето был впервые использован в Италии в начале XX века для описания распределения богатства среди населения. В 1906 году Вильфредо Парето представил концепцию распределения по Парето, когда заметил, что 20% стручков отвечают за 80% посаженного в его саду гороха. Она связала это явление с природой распределения богатства в Италии и обнаружила, что 80% богатства страны принадлежит примерно 20% ее населения. Что касается собственности на землю, итальянец заметил, что 80% земли принадлежало горстке богатых граждан, которые составляли около 20% населения.

Джозеф М. Джуран, высококлассный гуру продукта, расширил определение распределения Парето в 1940-х годах. Джуран применил принцип Парето к контролю качества продукции Компании, чтобы продемонстрировать, что 20% дефектов производственного процесса составляют 80% проблем в большинстве продуктов. По словам Джурана, сосредоточение внимания на причинах 20% дефектов позволило организациям внедрить более эффективные меры контроля качества и более эффективно использовать свои ресурсы. Дополнения Джурана к концепции распределения Парето содержались в его книге 1951 года «Справочник по контролю качества».

Формула распределения Парето. Формула для расчета распределения Парето выглядит следующим образом (2.10):

$$F(x)=1-\left(\frac{k}{x}\right)^{\alpha}, \quad (2.19)$$

где X-случайная величина;
 K-нижний предел данных;
 α- параметр формы.

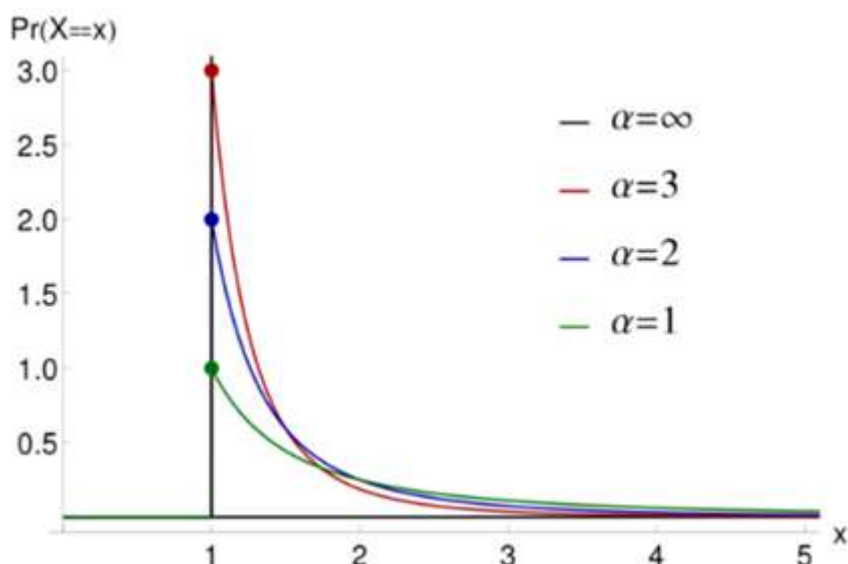


Рисунок 2.8 - Распределение Парето по хвосту медленного убывания

График на рисунке 2.9 определяется переменными α и x . Предоставляет два основных приложения. Одно из приложений - моделирование распределения богатства между людьми в стране. График показывает, сколько богатства в любой стране принадлежит небольшому проценту людей, живущих в этой стране.

Второе приложение предназначено для моделирования распределения населения города, где большая часть населения сосредоточена в городских центрах и меньше - в сельской местности. Население в городских центрах продолжает расти, в то время как сельское население продолжает сокращаться по мере того, как более молодые члены населения мигрируют в городские центры [29].

Практическое применение распределения Парето:

1) Управление. Одно из применений концепции Парето - управление бизнесом. Можно заметить, что 20% усилий, затраченных на конкретную бизнес-деятельность, приносят 80% бизнес-результатов. Компания может использовать этот отчет, чтобы определить наиболее важные части, на которых нужно сосредоточить внимание и повысить эффективность.

Например, если маркетинг помог улучшить результаты бизнеса, компания может выделить больше времени и ресурсов на маркетинговую деятельность, чтобы увеличить доход и прибыль компании за указанный финансовый период.

2) Доход компании. Правило Парето 80-20 также может применяться к оценке источника дохода компании. Например, когда компания отмечает, что 80% годовой выручки поступает от 20% текущих клиентов, она может сосредоточиться на повышении удовлетворенности клиентов за счет их влияния.

Из наблюдений компания также может сделать вывод, что 80% жалоб клиентов поступают от 20% клиентов, на долю которых приходится большинство транзакций. Кроме того, сосредоточение внимания на рассмотрении жалоб 20% клиентов может повысить общую удовлетворенность клиентов компании. Компания должна сосредоточиться на сохранении 20% влияния на клиента и привлечении новых клиентов.

3) Оценка рабочих. Компания также может использовать правило 80-20 для оценки работы своих сотрудников. Компания может наблюдать, что 80% ее общего объема производства является прямым результатом деятельности около 20% ее сотрудников. Используя отчет, компания может сосредоточиться на вознаграждении 20% наиболее продуктивных сотрудников как на способе их мотивации и поощрения низшей группы работников к упорному труду. Коэффициент продуктивности также может показать компании, что 80% проблем с человеческими ресурсами вызваны 20% сотрудников компании.

Ограничения на распределение Парето. Хотя правило распределения Парето 80-20 применяется ко многим ветвям, это не обязательно означает, что входные и выходные данные должны быть 100%. Например, 20% клиентов компании могут приносить 70% доходов компании. Доля составляет 90%. Это показывает, что концепция Парето - это всего лишь замечание, предлагающее компании сосредоточиться на одних материалах, поступающих от других.

Параметры: он устанавливает параметр расстояния θ , который больше нуля. Его можно назвать t -минимумом. Параметр формы также называют индексом Парето.

Плотность вероятности: когда $\theta \leq t < \infty$, то формула функции плотности вероятности (2.11) имеет вид:

$$f(t) = \frac{\alpha \theta^\alpha}{t^{\alpha+1}}. \quad (2.20)$$

График обеспечивает представление данных о времени до отказа в виде гистограммы.

Функция распределения: $F(t)$ – это совокупная вероятность отказа от нулевого момента до момента времени t . Очень удобно, например, при оценке доли единиц, которые выйдут из строя в течение гарантийного срока.

$$F(t) = 1 - \left(\frac{\theta}{t}\right)^\alpha. \quad (2.21)$$

Функция надежности. $R(t)$ - это шанс выжить с нуля до времени t . Вместо того, чтобы искать долю, которая потерпит неудачу, функция надежности определите долю, которая, как ожидается, выживет.

$$R(t) = \left(\frac{\theta}{t}\right)^\alpha. \quad (2.22)$$

В итоге можно сделать следующие выводы. Обслуживание потока входящих пакетов от автоматических устройств к ячейке сети LTE можно моделировать с помощью систем очередей. В данной работе рассматриваются два типа СМО: $W / M / 1 / \infty$ и $Pa / M / 1 / \infty$, в первой системе интервалы между приходами посылок распределяются по экспоненциальному закону, во второй - по закону Парето. В первом случае такой трафик называется самым простым, во втором - самоподобным.

Результаты моделирования в системе AnyLogic Environment показали, что при экспоненциальном распределении занижаются такие важные показатели, как задержка, среднее время ожидания в очереди, средняя длина очереди и общая задержка в узле обслуживания. Поэтому при моделировании M2M-трафика нельзя пренебрегать его свойством как самоподобие.

3 Моделирование сервиса M2M трафика

3.1 Особенности моделирования самоподобного трафика

При дальнейшем росте межмашинный трафик будет иметь сильное влияние на качество услуг, предоставляемых беспроводными сетями. Анализ этой проблемы является актуальной задачей для многих исследователей [1,2,3,4]. Реконструкция - это успешная стратегия исследования проблемы. В рамках демонстрации моделирования мы должны имитировать M2M-активность, поэтому мы анализируем воссоздание различных типов M2M-трафика.

При моделировании деятельности важно изобразить ее характеристики и определить параметры. Основные настройки:

- интервал между приемом пакетов на сервисном узле;
- количество упаковок в единицу времени;
- количество байтов, полученных на узел в единицу времени.

В сетях M2M [1,2,3] есть три основных типа трафика: Опосредованный, Псевдо-детерминированный и служебный.

Вмешанная деятельность, созданная рамочным инструментом наблюдения. Когда измеряемая оценка становится некой промежуточной (например, в случае кризиса), оборудование изготавливается. Характеристика развития зависит от свойств кассового администрирования. В этом случае, чтобы гарантировать неизменное качество оборудования и администрирования для проверки специального состояния, передаваемые данные и их объем могут быть более значимыми, чем сумма ценных данных.

Псевдо-детерминированный трафик, генерируемый пассивными датчиками автоматической системы. В этом случае ведущее устройство собирает данные с ведущего устройства или центральный узел запрашивает данные от пассивных датчиков. Характеристика движения зависит от интервала между временем применения данных. Интервал может быть детерминированным или выбираться по некоторому алгоритму начиная с.

Служебный трафик генерируется активными датчиками, когда есть воздействие извне, чтобы достичь его, которые должны выполнять работу, чтобы технически защитить работоспособность системы в системе.

Доступность этого типа трафика можно смоделировать в среде моделирования GPSS world (имитатор системы общего назначения). Эта система подходит для моделирования системы дискретных событий записи. Это, вероятно, самый перспективный мир для повышения рейтинговой системы, который характеризуется относительно простыми принципами функционирования составляющих компонентов [17].

Рассмотрим ту сторону, которая специально воссоздает активность. Кроме того, активность специально создается структурой динамического устройства под воздействием внешней среды. Такие динамические устройства включают в себя устройства оповещения (пожарные, частные, открытые и т. Д.), Устройства для проверки природных опасностей (сейсмические, климатические, естественное загрязнение), устройства для наблюдения за опасностями для условий жизни человека (наблюдение за весом крови, уровнем глюкозы и т. , так далее.). Вы должны принять во внимание, что здесь сумма развития существенно увеличивает событие в нескольких случаях (например, сейсмические, климатические).

Улучшение пассивной активности Хейно после принятия мер [17]. активность производится n устройствами, каждое из которых может быть запущено или находиться в состоянии. В неактивном состоянии инструмент совершает инновационное развитие к определенному детерминированному периоду t .

Когда устройство переходит в динамическое состояние, оно остается включенным, создавая самоуверенную сумму активности. Причем объемы деятельности распределены произвольно аналогично.

В активное состояние устройство переходит при возникновении событий (аварийной ситуации), которое случайно, независимо возникает. Немодально можно предположить, что события того времени будут автоматически распространяться в AnyLogic Environment, генерация событий может производиться на блоке (экспоненциально $(1, 0, m)$). Здесь m - среднее значение временного интервала.

Псевдо-симуляция стороны дороги необходимо учитывать следующее. Этот тип трафика генерируется системой контроля, контролем и способом контроля.

Предположим, что в системе есть n серверов, каждый из которых собирает данные с k датчиков, находящихся под каким-либо контролем. Трафик к каждому серверу и инструменту людей – это детерминированный поток данных на запрос сервера и ответ датчика. Такая система, датчики, которые выдают запрос на передачу данных на фактическое устройство (узел). Перемещение свойств этих датчиков зависит от временного интервала выбора метода. Временной анализ обычно не является случайным, проводится через определенные промежутки времени или по схеме.

Сенсорные реакции между детерминизмом случай, общий трафик также определяют. Если интервалы ответа случайны, общий трафик также случайный.

Третий тип обслуживания трафика, предназначенный для активных датчиков, с помощью которых контролируется техническая реализация системы. В случае отказа оборудования или программного обеспечения датчик отправляет те же пакеты данных.

3.2 Моделирование сервиса трафика M2M как СМО типа W/M/1/∞ в Anylogic

Распределение Вейбулла - двухпараметрическое семейство абсолютно непрерывных распределений. Поскольку оно обеспечивает одно из предельных распределений экстремальных значений, его также называют распределением Фреше и распределением Вейбулла-Гнеденко.

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \min}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left(- \left(\frac{[x - \min]}{\beta} \right)^\alpha \right), \quad (3.1)$$

где \min = минимум x ;

α = параметр формы;

β = масштабный параметр.

При $\alpha = 1$, $\beta = 1 / \lambda$ распределение Вейбулла сводится к экспоненциальному (λ) распределению, начиная с конечного значения с минимумом x и затем монотонно уменьшаясь. При $\alpha < 1$ распределение Вейбулла стремится к бесконечности при минимуме x и монотонно убывает с увеличением x . Для $\alpha > 1$ распределение Вейбулла равно 0 при минимальном x , пики при значении, которое зависит как от альфа, так и от бета, затем монотонно уменьшаются. Однозначно, что распределение Вейбулла имеет отрицательную асимметрию при $\alpha > 3,6$.

Распределение Weibull приобрело популярность благодаря его использованию для моделирования прочности материалов и с тех пор используется для моделирования практически всего.

В частности, распределение Вейбулла используется для представления времени износа надежности, скорости ветра, интенсивности дождя, проблем со здоровьем, прорастания, продолжительности остановок производства, систем миграции и даты урагана (рисунок 3.1).

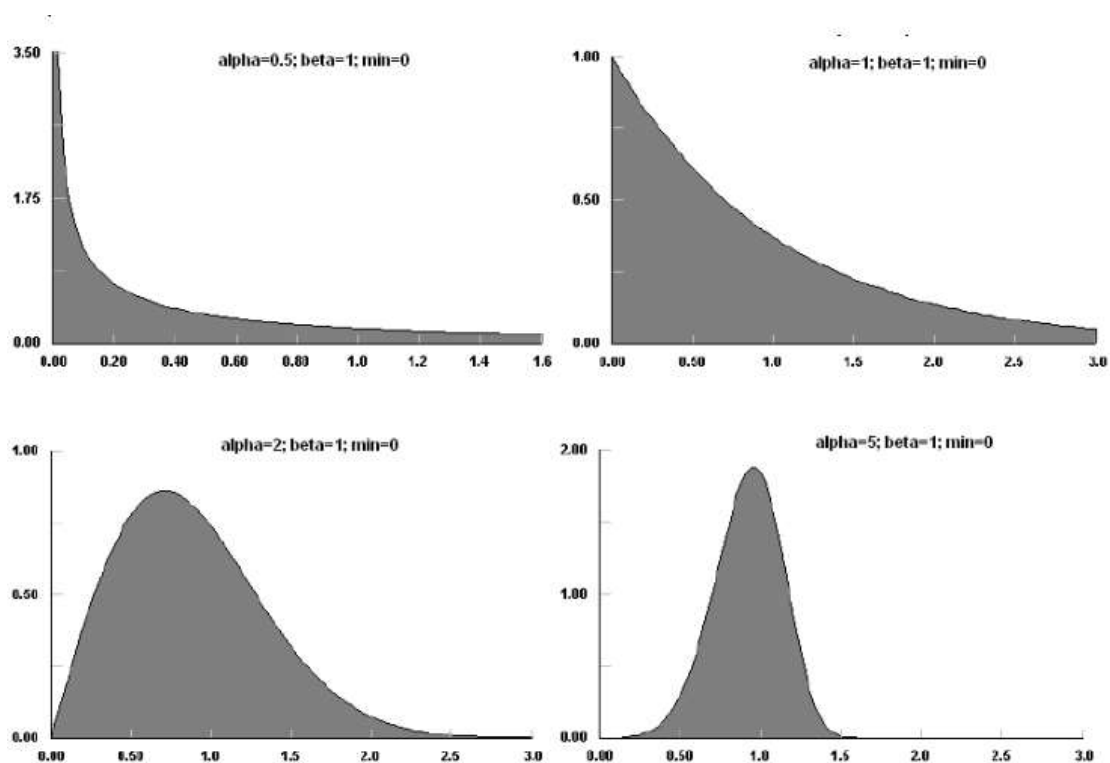


Рисунок 3.1 - Различные типы распределения Вейбулла

Моделирование самоподобного трафика выполняется для системы массового обслуживания типа $G / M / 1 / K$ с использованием распределения Вейбулла. Для исследования самоподобного трафика используется имитационная модель, разработанная в AnyLogic Environment. Моделирование самоподобного трафика выполнено для СМО типа $W / M / 1 / K$ с использованием распределения Вейбулла. Исходные данные следующие: параметр кривой распределения $\alpha \approx 0,7$ и параметр распределения $\beta \approx 0,0099$, параметр Херста = 0,65. Кроме того, указано, что самоподобный трафик характеризуется наличием «всплесков» и длительной зависимостью между временем поступления заявок в исследовании на заданных исходных данных целесообразно использовать линейные интерполяционные сплайны.

В настоящее время в современных телекоммуникационных сетях развивается направление NGN (Next Generation Network - сети следующего/нового поколения), которое полностью основано на применении пакетных технологий для передачи большого количества трафика по единой сетевой инфраструктуре, обеспечивающей характеристики QoS [26].

По своему характеру деятельность, обслуживаемая в рамках структуры СПП, является отличительной, поскольку она формируется множеством, но различается по своим характеристикам, источникам выгод и упорядочиванию приложений, обеспечивающих управление голосом, информацией и видео TPS (услуга Triple Play).

Известно [31], что пакетный трафик имеет характер поезда и обладает свойством должного подобия, причиной которого является долговременная взаимосвязь между моментами прихода пакетов, определяемая функцией корреляции с разными моментами времени. Поток транспортных средств также характеризуется наличием побочных эффектов, т.е. если количество запросов, полученных для системы пост-моментальной очереди, зависит от количества запросов, полученных на данный момент [31].

Для описания самоподобного трафика, учитывая, что моменты прибытия пакетов имеют распределение с «тяжелым хвостом», часто используют распределение Парето, Логнормальное или Вейбулловое.

Степень самоподобного трафика оценивается параметром Херста. Кроме того, самоподобный трафик имеет структуру, сохраненную при многократном увеличении. Тем не менее реальный трафик, как правило, имеет больше «брызг». Это резко ухудшает значение качественных характеристик QoS (вероятность потери значений, время задержки пакета и джиттер).

Принимая во внимание вышесказанное, моделирование трафика позволит избежать перегрузки сети, превышения стандартных значений времени задержки и джиттера с учетом пикового пакетного трафика. Сегодня проблеме оценки характеристик самоподобия характеристик движения посвящено значительное количество работ разных авторов [26] - [27]. Большинство работ основано на экспериментальных данных и полученных результатах моделирования с использованием R / S-анализа, оценки Уиттла, вейвлет-анализа и многих других методов. Одним из аппаратов исследования характеристик самоподобной деятельности является моделирование, позволяющее получить фундаментальные характеристики. В более широком смысле, выбор формы оценки происходящего может быть актуальной темой практически любого исследования [27]. В этой статье предлагается использовать прямой сплайн для предполагаемой самоподобной деятельности.

Следовательно, в этой части мы стремимся рассмотреть и изучить характеристики самоподобной активности с использованием созданного развлекательного шоу в среде AnyLogic с предположением об активности посылки.

Проведем моделирование самоподобного трафика в системе (СМО) очереди $G / M / 1 / K$, обслуживающей поток запросов, интервалы которой описываются произвольным распределением G , время обслуживания имеет экспоненциальное распределение M , СМО имеет 1 строку, а длина очереди запросов - K .

В этом случае для моделирования поступления процесса обслуживания запроса мы используем СМО типа $W / M / 1 / K$, где поток W -запросов с распределением Вейбулла, M -время обслуживания запросов распределено по экспоненциальному закону,

Давайте рассмотрим распределение Вейбулла, которое задается функцией дифференциального распределения:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \beta x^{\alpha-1} e^{-\beta x^\alpha}, & x \geq 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}, \quad (3.2)$$

где α - параметр формы кривой распределения ($0 < \alpha < 1$).

$$\alpha = 2-2H, \quad (3.3)$$

где H - параметр Херста ($0,5 \leq H \leq 1$);

α - параметр формы кривой распределения ($0 < \alpha < 1$);

$\alpha = 2-2H$, параметр Херста, ($0,5 \leq H \leq 1$).

$$\beta = \left[\lambda \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right]^{-1}, \quad (3.4)$$

где $\beta > 0$ - параметр распределения;

Γ -гамма-функция;

λ -интенсивность поступающих заявок на обслуживание СМО.

Целочисленная функция распределения Вейбулла имеет следующий вид [26]:

$$F(x) = 1 - e^{-\beta x^\alpha}. \quad (3.5)$$

Формирование случайного временного интервала между поступлениями заявок при самоподобном формировании тока в имитационной модели выполняется переходом от равномерного распределения методом обратной функции согласно выражению [34]:

$$x = \beta \left[-\ln(1 - R) \right]^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (3.6)$$

где $R \in [0; 1]$ - равномерно распределенное случайное число;

$\lambda = 100$ Кбит / с;

обслуживание долговечности μ -запроса, $\mu = 125$ с;

K - длина очереди запросов, $K = 100$ запросов.

Для моделирования самоподобного трафика разрешается установить значение параметра Hurst $H = 0,65$. Тогда для распределения параметров Вейбулла α и β : $\alpha \approx 0,7$ и $\beta \approx 0,0099$ соответственно. Результаты моделирования самоподобного трафика для СМО типа $W / M / 1 / K$ для заданных исходных данных в пакете среды AnyLogic показаны на рис. 3.2, где мы рассматриваем N как количество запросов, а t - это поступление запросов.

Начиная с моделирования распределения Вейбулла в среде AnyLogic, в первую очередь необходимо построить модель передачи пакетов.

Нам нужно:

- Source – источник заявок;

- Queue – очередь ожидающих обслуживания заявок;
- Delay – Элемент моделирующий узел обслуживания;
- Sink – Элемент принимающий отработанные заявки.

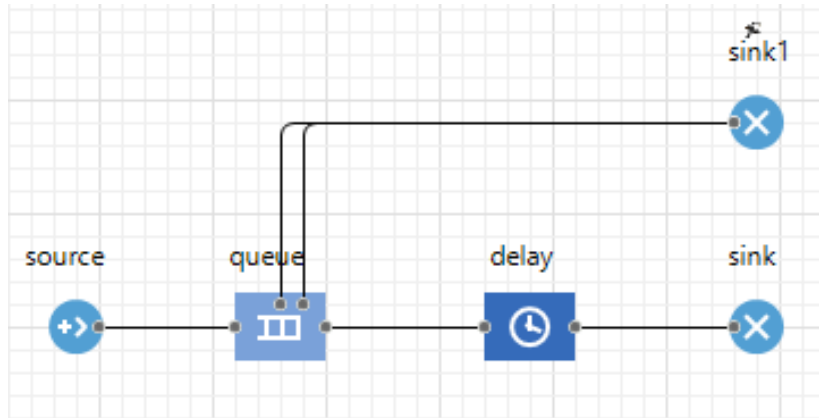


Рисунок 3.2 - Основная модель пакетной передачи

Описание: Пакет прибывает к элементу *sink*, чтобы сгенерировать пакеты, отправленные элементу очереди и занять *queue*. В элементе очереди есть два хода событий.

- 1) Когда пакет выходит из строя и переходит к элементу *sink1*.
- 2) Когда элемент продолжает свой путь и отправляется элементу *delay*, где он обслуживается, и в конце попадает в элемент *sink*.

Чтобы задать свойства, нам нужно изменить элемент *Queue* (рисунок 3.3).

- 1) Очередь должна быть FIFO (First In, First Out).
- 2) Распределение Weibull.

weibull (0.7, 0.0099, 0)

The screenshot shows the configuration window for a 'queue' element. The title is 'queue - Queue'. The 'Имя:' field contains 'queue' and has a checked 'Отображать имя' checkbox. The 'Вместимость:' field is set to '10'. The 'Максимальная вместимость:' field is empty. The 'Место агентов:' field has a dropdown menu. Under the 'Специфические' section, the 'Очередь:' dropdown is set to 'FIFO'. The 'Разрешить уход по таймауту:' checkbox is checked. The 'Таймаут:' field contains the text 'weibull(0.7, 0.0099, 0)'. The 'Разрешить вытеснение:' and 'Вернуть агента в исходную точку:' checkboxes are also checked.

Рисунок 3.3 - Характеристики элемента очереди

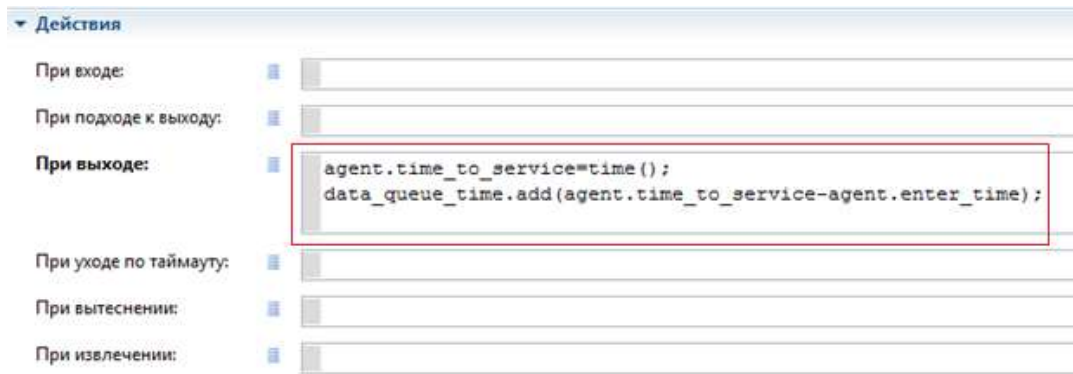


Рисунок 3.4 - Команды в Элементе Queue

В связи с тем, что пакеты успевают обслужить, нам нужно считать это все время нахождения в очереди (рисунок 3.8):

$$agent.time_to_service = time().$$

Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что к времени очереди данных нам нужно добавить разницу между командой времени на обслуживание и временем ввода.

$$data_queue_time.add(agent.time_to_service - agent.enter_time)$$

Очевидно, что в теории вероятностей и статистике экспоненциальное распределение – это распределение вероятностей, которое описывает время между событиями в точечном процессе Пуассона, то есть процесс, в котором события происходят непрерывно и независимо с постоянной средней скоростью. Это частный случай гамма-распределения. Это непрерывный аналог геометрического распределения, и у него есть ключевое свойство - нехватка памяти. Помимо того, что он используется для анализа точечных пуассоновских процессов, он встречается в различных других контекстах. Затем необходимо установить время задержки, как показано на рисунке 3.5, *exponential(1, 0, 6)*.

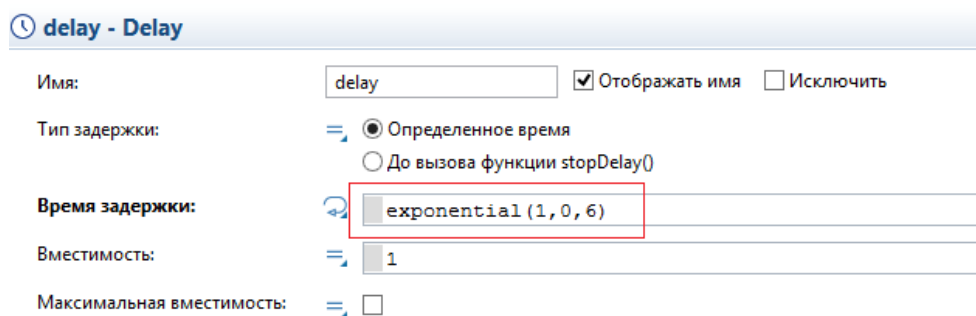


Рисунок 3.5 - Время задержки в экспоненциальном распределении
 Как уже было сказано выше, необходимо задать команды в элементе задержки, в частности (Рисунок 3.6):

```
Agent.exit_time=time();
Data_service_time.add(agent.exit_time-agent.time_to_service);
Data_system_time.add(agent.exit_time-agent.enter_time);
```

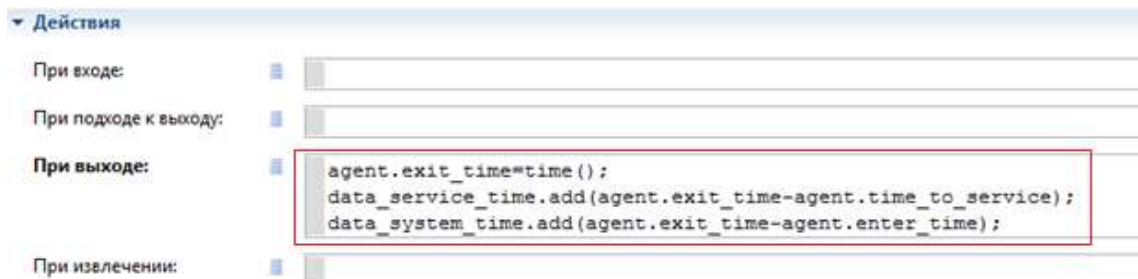


Рисунок 3.6 - Команды в элементе Delay

Здесь, из рисунка 3.7, мы можем сделать вывод, что всего было 257 пакетов, 220 из них получили сбой, тогда как 37 пакетов достигли места назначения (Рисунок 3.7).

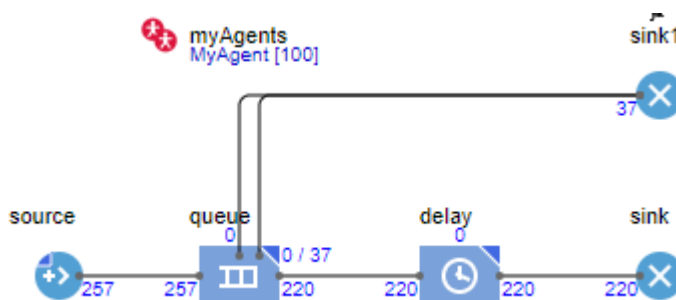


Рисунок 3.7 - Окончательная схема после моделирования

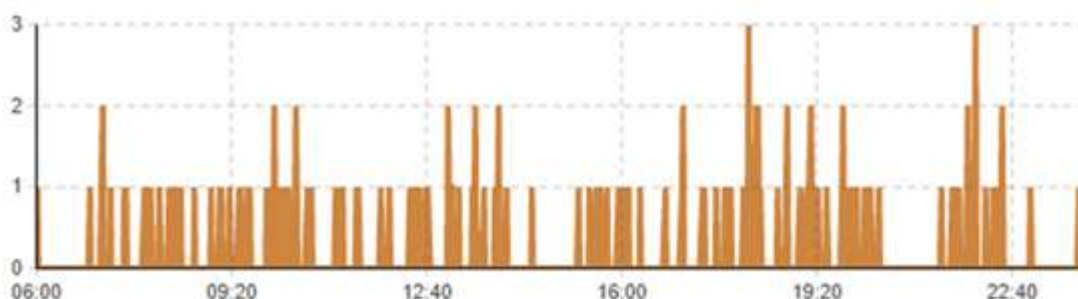


Рисунок 3.8 - Моделирование самоподобного трафика для СМО типа W / M / 1 / К в AnyLogic

По полученным результатам моделирования, представленным на рисунке 3.8, можно сделать следующие выводы:

- полученный график показывает, что процесс неоднороден и соответствует характеристикам самоподобия, описанным выше;
- присутствует масштабная инвариантность, наличие «всплесков» запросов и длительная связь между моментами поступления запросов.

Кроме того, показаны гистограммы, основанные на данных времени ожидания в очереди, времени обслуживания и построенного системного времени, а также среднего времени.

Где $T_{queue}=2.743$, $T_{service}=4.365$, $T_{system}=7.108$. Кроме того, отсюда очевидно, что уравнение однородности выполняется:

$$\text{Время ожидания} + \text{время обслуживания} = \text{системное время}, \quad (3.7)$$

$$T_{queue} + T_{service} = T_{system}. \quad (3.8)$$

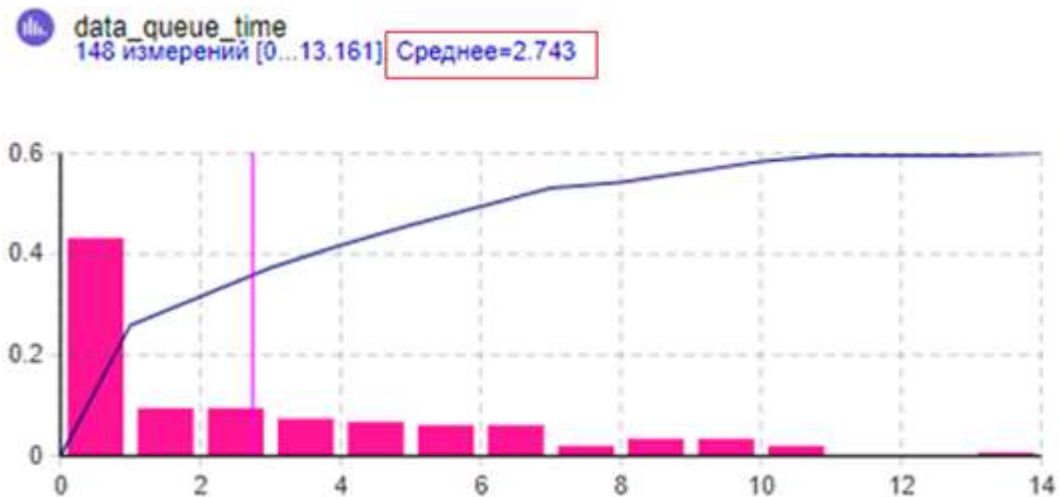


Рисунок 3.9 - Гистограмма по времени ожидания в очереди



Рисунок 3.10 - Гистограмма зависимости от времени обслуживания



Рисунок 3.11 - Гистограмма по системному времени

В итоге:

1) Моделирование самоподобного трафика для СМО $W / M / 1 / k$:

- входящие запросы распределяются по закону Вейбулла;
- распределение времени обслуживания - экспоненциальное;
- однородная система;
- длина очереди запросов равна K .

2) В программах Использование дистрибутива Weibull в среде AnyLogic имитационная модель, разработанная для исследования характеристик самоподобного трафика.

3) Моделирование самоподобного трафика осуществляется СМО из типа $W / M / 1 / K$ с использованием распределения Вейбулла. Исходные данные:

- значение параметра Херста $H = 0,65$;
- параметр формы кривой распределения $\alpha \approx 0,7$ и параметр распределения $\beta \approx 0,0099$.

4) Самоподобный трафик характеризуется наличием «всплесков» и длительной зависимостью между точками приложения для данных данного исследования целесообразно использовать линейные интерполяционные сплайны.

3.3 Моделирование сервиса трафика M2M как СМО типа $Pa/M/1/\infty$ в Anylogic

Распределение Парето – это непрерывное распределение, ограниченное снизу. Он имеет конечное значение при минимальном x и монотонно убывает с увеличением x . Случайная величина Парето является экспоненциальной случайной величиной и имеет многие из тех же характеристик.

Распределение Парето исторически использовалось для представления распределения доходов общества. Он также используется для моделирования

многих эмпирических явлений с очень длинными правыми хвостами, таких как население города, наличие природных ресурсов, колебания цен на акции, размер фирм, яркость комет и ошибки кластеризации в коммуникационных цепочках.

Форма кривой Парето медленно изменяется с альфа, но распределение хвостов резко увеличивается с уменьшением альфа (Рисунок 3.12).

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \frac{\min^\alpha}{x^{\alpha+1}}, & x \geq \min \\ 0, & x < \min \end{cases}, \quad (3.9)$$

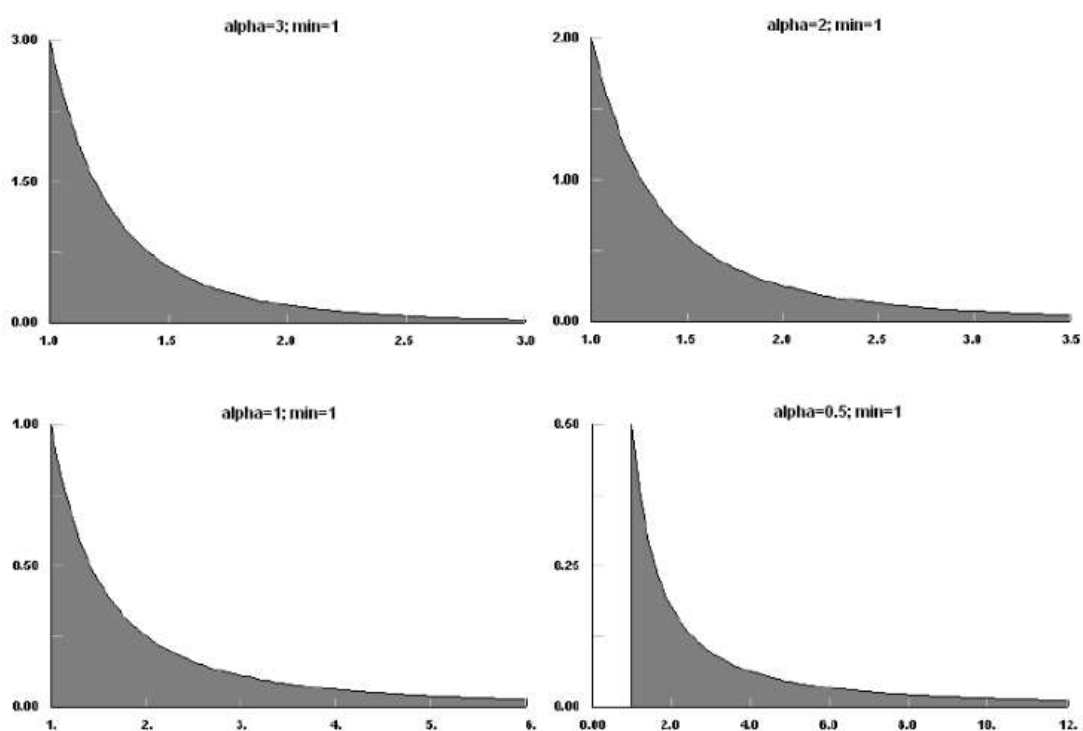


Рисунок 3.12 - Различные типы распределения Парето

В статье [27] анализируются три категории систем M2M: запрограммированные читатели счетчиков (S1), структура администрирования армады (S2) и организация распределительной машины (S3). Каждое устройство M2M подсети S1 периодически передает связки и характеризуется мобильностью, поскольку в большинстве случаев такие устройства являются стационарными. В подсети S2 каждое устройство наблюдается часто, но обычно активность нерегулярна, портативность гаджетов высока. Устройства S3 стационарны и иногда передают посылки. На все случаи у администраций есть небольшая комплектация.

В работе [27] представлены результаты моделирования описанной сети с тремя подсетями S1, S2 и S3 в среде OPNET. В имитационной модели закон

распределения временных интервалов между приходами пакетов произвольный.

Идея упрощенной демонстрации M2M-активности в рамках моделирования AnyLogic Environment. Предположим, что организованное устройство или сервер получает суммарную активность от всех устройств M2M, промежутки времени между запросами произвольны, распространяются согласно закону Парето. В [26-27] показано, что самоподобная активность может быть смоделирована дисперсией Парето.

Функция закона распределения Парето имеет вид:

$$F(t) = 1 - \left(\frac{k}{t}\right)^\alpha, \quad k > 0, t > 0, \alpha > 0, \quad (3.10)$$

где t - временной интервал между запросами к серверу;

k - коэффициент;

α - параметр распределения Парето.

В [37] также показано, что значение параметра Херста можно учесть при моделировании самоподобного течения. Связь между показателем Херста H и параметром α распределения Парето имеет вид:

$$\alpha = 3 - 2H. \quad (3.11)$$

Пусть время обслуживания трафика подчиняется экспоненциальному закону распределения. Мы не будем накладывать ограничений на длину очереди и время нахождения в очереди. Тогда модель узла обслуживания трафика M2M будет системой массового обслуживания типа RA / M / 1 / ∞ (см. Рисунок 3.10). Входными значениями являются α , k и $T_{service}$ - время обслуживания.

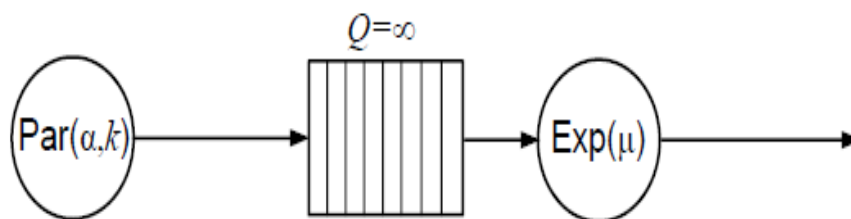


Рисунок 3.13 - Имитационная модель Pa / M / 1 / ∞

В модели принимаем параметр Херста $\alpha = 0,1445$, тогда $k = 0,7225$. Где k - нижняя граница данных и α - параметр формы.

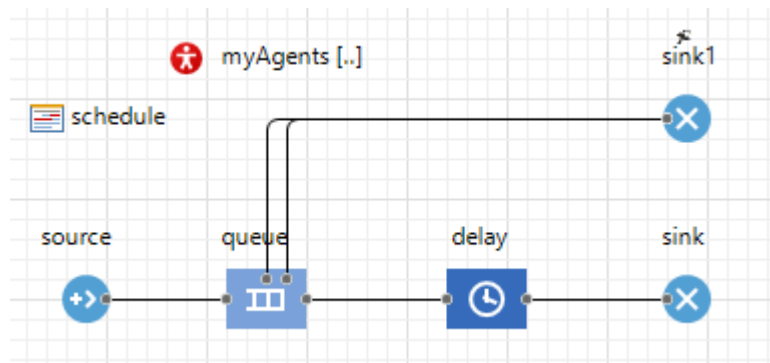


Рисунок 3.14 - Основная модель пакетной передачи

Изображенные изображения показаны как (Рисунок 3.14):

- Source – источник заявок;
- Queue – очередь ожидающих обслуживания заявок;
- Delay – Элемент моделирующий узел обслуживания;
- Sink – Элемент принимающий отработанные заявки.

Как уже говорилось ранее, для установки распределения Парето в программе AnyLogic нам нужно написать следующую команду:

pareto(0.1445,0.7225).

В элементе *queue* необходимо написать команды:

agent.time_to_service = time()

Кроме того, чтобы принять во внимание тот факт, что ко времени очереди данных нам нужно добавить разницу между командой времени для обслуживания и временем ввода (Рисунок 3.15).

data_queue_time.add(agent.time_to_service-agent.enter_time)

Сообразно принятым эталонам, блоки в диаграмме процесса как правило размещаются цепочкой слева вправо, выставляя собой поочередную последовательность операций, которые станут выполняться над заявкой. Queue моделирует очередь заказов, ждущих способа объектами, надлежащими за сведениями объектом в диаграмме процесса. В нашем случае он будет имитировать ряд требований, ожидающих разрядки сервера. Объект Queue моделирует строку отложенных ордеров с объектами, которые следуют за ней на блок-схеме, или моделирует совместно используемое хранилище аранжировки. В случае необходимости можно установить максимальное время задержки для заказов внутри линии. У запроса есть возможность покинуть Линию протеста совершенно разными способами: в пределах обычного пути

через внешнюю гавань, когда вопрос, стоящий после данного вопроса в блок-схеме, готов подтвердить запрос [28].

queue - Queue

Специфические

Очередь:

Разрешить уход по таймауту:

Таймаут:

Разрешить вытеснение:

Вернуть агента в исходную точку:

Включить сбор статистики:

Действия

При входе:

При подходе к выходу:

При выходе:

При уходе по таймауту:

Рисунок 3.15 - Установка спецификаций в элементе очереди

Далее, на рисунке 3.16 требуется установить время задержки, как показано на рисунке 4, это Exponential (1, 0, 6).

Передача, согласно закону Симпсона, представляет собой расширение двух произвольных факторов, соответствующих закону возрастания до правдоподобия, с одинаковыми параметрами распространения. Рассеивающий изгиб имеет форму равнобедренного треугольника, поэтому закон Симпсона часто называют законом треугольника.

В целом, в элементе задержки мы должны скопировать шаги, как мы делали ранее:

delay - Delay

Имя: Отображать имя Исключить

Тип задержки: Определенное время До вызова функции stopDelay()

Время задержки:

Вместимость:

Максимальная вместимость:

Действия

При входе:

При подходе к выходу:

При выходе:

При извлечении:

Рисунок 3.16 - Установка спецификаций в элементе задержки

Как показано на рисунке 3.16, написаны следующие команды:

```
Agent.exit_time=time()  
Data_service_time.add(agent.exit_time-agent.time_to_service)  
Data_system_time.add(agent.exit_time-agent.enter_time)
```

Как видно из рисунка 3.17, математическое ожидание интервала между поступлениями пакетов в потоке, распределенном по закону Парето, составляет $T = 4,298$.

Причем параметр Парето $\alpha = 0,1445$. Как отмечалось выше, распределение Парето для интервалов между входящими пакетами было выбрано, потому что оно хорошо аппроксимирует интервалы между пакетами в самоподобном процессе.

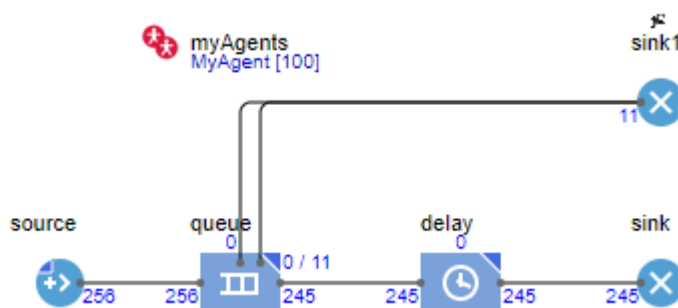


Рисунок 3.17 - Окончательная имитационная модель с распределением Парето

Здесь, из рисунка 3.18, мы можем сделать вывод, что всего было 256 пакетов, 11 из них получили сбой, в то время как 245 пакетов достигли места назначения, плюс один задержался.

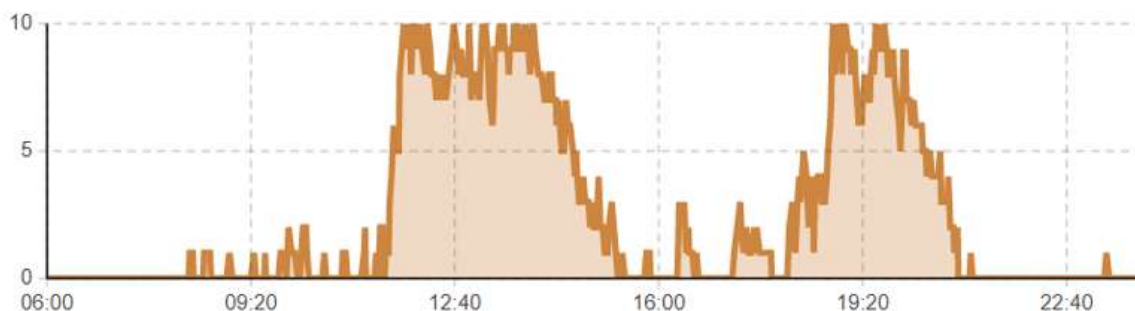


Рисунок 3.18 - Моделирование самоподобного трафика для СМО типа Pa / M / 1 / K в AnyLogic

Кроме того, показаны гистограммы данных времени ожидания в очереди, времени обслуживания и построенного системного времени, а также среднее время, где $T_{queue}=21.566$, $T_{service}=4.298$, $T_{system}=25.977$. Кроме того, отсюда очевидно, что уравнение однородности выполняется:

Время ожидания + время обслуживания = системное время, (3.12)

$$T_{queue} + T_{service} = T_{system}, \quad (3.12)$$

$$21.566 + 4.298 = 25.977.$$



Рисунок 3.19 - Гистограмма времени ожидания в очереди

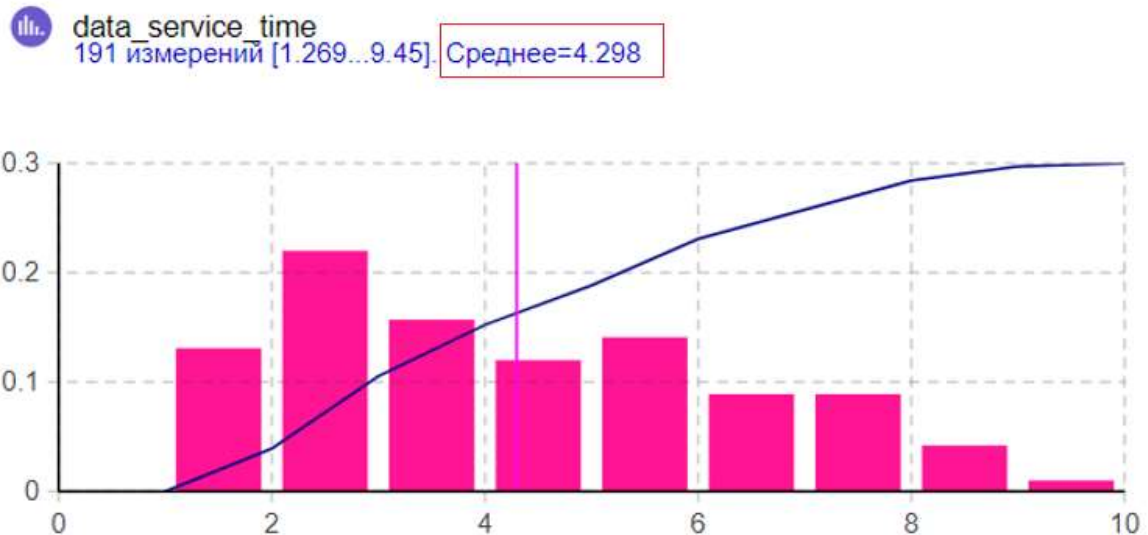


Рисунок 3.20 - Гистограмма времени обслуживания

data_system_time
191 измерений [1.516...56.19]. Среднее=25.977

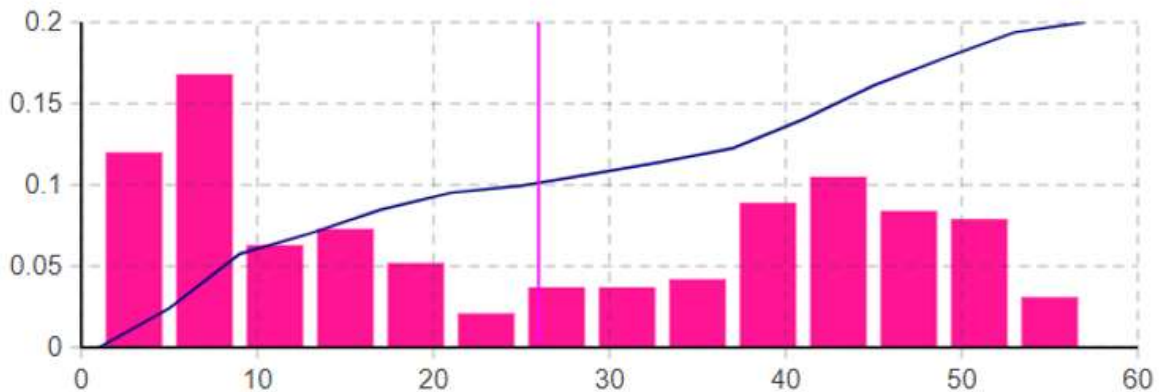


Рисунок 3.21 - Гистограмма системного времени

В итоге:

1) Моделирование самоподобного трафика для СМО $P_a / M / 1 / k$: - входящие запросы распределяются по закону Парето.

- распределение времени обслуживания - экспоненциальное;
- однолинейная система;
- длина очереди запросов равна K .

2) В программах, использующих дистрибутив Парето, в среде AnyLogic имитационная модель, разработанная для исследования характеристик самоподобного трафика.

3) Моделирование самоподобного трафика осуществляется СМО из типа $P_a / M / 1 / K$ с использованием распределения Парето. Исходные данные:

- параметр формы $\alpha \approx 0,1445$;
- нижняя граница данных $k = 0,7225$.

4) Самоподобный трафик характеризуется наличием «всплесков» и длительной зависимостью между точками приложения для данных данного исследования целесообразно использовать сплайны линейной интерполяции.

5) Диаграмма Парето, также называемая диаграммой Парето, представляет собой вертикальную гистограмму, на которой значения отображаются в порядке убывания относительной частоты слева направо. Диаграммы Парето чрезвычайно полезны для анализа проблем, требующих внимания в первую очередь, потому что столбцы выше в диаграмме, которые представляют частоту, ясно показывают, какие переменные имеют наибольшее совокупное влияние на данную систему.

6) Диаграмма Парето дает графическое представление принципа Парето, теории, которая утверждает, что 80% выходных данных в данной ситуации или системе производится при 20% входных данных.

Заключение

В данной диссертационной работе анализировался M2M-трафик в беспроводных сетях.

В первой части рассматривалась текущее состояние рынка услуг IoT и M2M. Перспективы развития в мире, деятельность сетей и сервисов M2M, поставщиков услуг IoT, M2M на базовом рынке и так далее.

Вторая часть диссертационной работы состоит из особенностей M2M-трафика, анализа узкополосных сетей для обслуживания устройств (технология LoRaWAN, NB-IoT), также был установлен самоподобный входной трафик и сделан обобщенный обзор распределения Вейбулла и распределения Парето представлен. В третьей части эксперименты проводились на имитационной модели в среде AnyLogic. Моделирование самоподобного трафика выполняется СМО из типа $W / M / 1 / K$, $Pa / M / 1 / K$ с использованием распределений Вейбулла и Парето соответственно. Появление имитационного моделирования в фреймворке AnyLogic показало, что при экспоненциальном разбросе понижаются такие императивные показатели, как задержка, среднее время ожидания в очереди, средняя длина очереди, общая задержка в узле обслуживания, получают заниженную оценку. Следовательно, при моделировании M2M-активности нельзя не учитывать такое свойство, как самоподобие. Для анализируемых данных был рассчитан параметр Херста $H = 0.578$, что означает, что трафик обладает свойством самоподобия.

Список литературы

- 1 Туманбаева К.Х. , Базарбаев Б. Моделирование трафика М2М сети в среде GPSS WORLD // Международное научно – педагогическое издание «Высшая школа Казахстана» , 2017, №3, С. 263 – 266. .
- 2 Ушанев К. В. , Макаренко С. И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания $Pa/M/1$ на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования. 2016. № 1 – 42 с.
- 3 Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания: Учебник. –М.: Изд– во РУДН, 1995. – 529 с.
- 4 Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А. Кириченко -М.: КНОРУС, 2013. — 376 с.
- 5 Cooper. J. Архитектура корпоративных сетей. Краткое руководство Ver 1.0: <http://blog.netskills.ru/p/blog–page.html> (дата обращения 6.06.2017).
- 6 Бутурлин И. А., Гудкова И. А., Чукарин А. В. Модель распределения радиоресурсов с фиксированным диапазоном для трафика межмашинного взаимодействия в сети LTE // Т– Comm – Телекоммуникации и транспорт. — 2014. — 14–18с.
- 7 Яшков С. Ф. Математические вопросы теории систем обслуживания с разделением процессора // Итоги науки и техники. Серия .Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика.. — 1990. – 3–82с.
- 8 Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования/ Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук – СПб., 2014. – 77с.
- 9 Doh, I., Lim, J., and Chae, K.: Key establishment and management for Secure Cellular Machine– to– Machine Communication. In Proceedings of the Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 579– 584 (2013)
- 10 Shafiq, M. Z., Ji, L., Liu, A. X., Pang, J., and Wang J.: A First Look at Cellular Machine– to– Machine Traffic – Large Scale Measurement and characterization. SIGMETRICS’12, June pp. 11– 15 (2012)
- 11 Компьютерные сети. Книга 1: High– Performance Networking. Энциклопедия пользователя: Пер. с англ./Марк А. Спортак и др. – К.: Изд– во «ДиаСофт», 1999. – 432 с.
- 12 Компьютерные сети. Книга 2: Networking Essentials. Энциклопедия пользователя: Пер. С англ./Марк А. Спортак и др. – К.: Изд– во «ДиаСофт», 1999. – 432 с.
- 13 Чукарин А.В., Абаев П.О., Зарипова Э.Р., Сеницын И.Э. Оптимизация управления перегрузками в сети LTE с трафиком межмашинного взаимодействия // Т– Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №9. – 35– 39с.
- 14 Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепция, модели, приложения – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 42 с.

15 Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 25 с.

16 Хабрахабр.ру. Система имитационного моделирования GPSS World - революционный прыжок: <http://habrahabr.ru/post/262027/> (дата обращения 2.09.2017)

17 Бегишев Вячеслав Олегович, Моделирование технологии узкополосного интернета Вещей(NB-IoT) для сотовых сетей связи, Москва, Россия -25-45с.

18 Carles Anton-Harro, Mischa Dohler, Machine-to-machine Communications, Architecture, Performance and Applications 1st edition,2015. -30-48-62 p.

19 Jan Holler, Vlasios Tsiatsis, Catherine Mulligan, Stamatis Karnouskos, David Boyle, From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence, -10-61-129 p.

20 Machine-to-Machine Communications Architectures, Technology, Standards and Applications, Vozhislav B, Jelena Mistic, 2015 -57-31 p.

21 David Boswartchick, Omar Elloumi, Olivier Hersent, M2M Communications A Systems Approach, 2012 y. -95-143 p.

22 River Publishers Internet of Things and M2M Communications,2013. -183 p.

23 Зарипова Э.Р., Ардила П.А. Моделирование процедуры установления M2M-соединения по радиоканалу случайного доступа в сетях LTE.-Москва, Россия, -45-46 с.

24 <https://habr.com/post/243101/> Современное состояние M2M (machine-to machine) систем, 2014.

25. PawanKumarVerma a,n, RajeshVerma b, ArunPrakash a, AshishAgrawal d, KshirasagarNaik c, RajeevTripathi a, MaazenAlsabaan e, TarekKhalifa f, TamerAbdelkader g, AbdulhakimAbogharaf (2016) Machine-to-Machine (M2M) Communications: A Survey. JournalofNetworkandComputerApplications66(2016)83–105.

26. O. A. Mahmud, A. I. Paramonov. Traffic analysis of the internet of things. Approach to modeling. (2017) // 3rd international scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists "Internet of things and 5G (INTHITEN 2017)», pp 74-79. <http://inthiten.org/doc/2017/74-79.pdf>.

27. V. O. Tikhvinskiy, G. S. Bochechka, V. A. Koval, A. I. Babin (2017). Network IoT/M2M: technology, architecture and applications - М.: Isadella "Media publisher", pp. 70–75.

28. В.Д. Боев, Д. И. Кирик, Р.П.Сыпченко (2011). КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. Пособие для курсового и дипломного проектирования, Санкт-Петербург, Россия-123 с.

Аббревиатуры

M2M - Machine-to-Machine - Межмашинное взаимодействие
IoT - Internet of Things – Интернет вещей
NB-IoT - Narrow Band Internet of Things - Узкополосный Интернет вещей
GPSS World - General Purpose Simulation System World
LoRaWAN - Long Range Wide Area Networks - Энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия
Wi-Fi - Wireless Fidelity - Беспроводная точность
DSL - Digital Subscriber Line - Цифровая абонентская линия
GSM - Groupe Special Mobile - Глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи
3GPP - 3rd Generation Partnership Project
NGN - New Generation Network - Сеть нового поколения
PAN - Personal Area Networking - Персональная сеть
IEEE 802.15 - Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.15 - Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике 802.15
SRD - Short Range Device - Устройство ближнего действия
UWB - Ultra-wideband - Сверхширокополосный
PLC - Programmable Logic Controller - Программируемый логический контроллер
M-BUS - Meter-Bus - Автобус-счетчик
VSAT - Very Small Aperture Terminal - Терминал с очень малой апертурой
CN - Core Network
CN - Core Network - Базовая сеть
GPRS - General Packet Radio Service - Пакетная радиосвязь общего назначения
EPC - Electronic Power Control - Электронное управление мощностью
ETSI - European Telecommunications Standards Institute - Европейский институт телекоммуникационных стандартов
TISPAN - Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking - Телекоммуникационные и Интернет-конвергентные услуги и протоколы для расширенных сетей
API - Application Programming Interface - Интерфейс прикладного программирования
TCP - Transmission Control Protocol - Протокол управления передачей
HTTP - HyperText Transfer Protocol - Протокол передачи гипертекста
MAC - Media Access Control - Контроль доступа к среде
PLC – Power Line Communication - Коммуникация, построенная на линиях электропередачи