

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

Ерболова Айнур Ерболқызы

Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

специальность 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
канд. техн. наук
Е. Таштай
« 24 » 05 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

по специальности 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

Выполнила

Ерболова А.Е.

Рецензент

Научный руководитель

канд. техн. наук, профессор АУЭС

маг-р техн. наук

Уч. степень, звание

Уч. степень, звание


Баikenов А.С.
« 25 » 05 2022 г.


Баikenова Г.М.
« 25 » 05 2022 г.



Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ЭТ и КТ
канд. техн. наук
 Е. Таштай
“ 21 ” “ XII ” 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Ерболовой Айнура Ерболқызы

Тема Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

Утверждена приказом Ректора Университета № 489-П/Ө от “ 24 ” 12 2021г.

Срок сдачи законченной работы “ 30 ” 05 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе: Рекомендация МСЭ-РР.1411-9;
Рекомендация МСЭ-Т У.2069; Рекомендация МСЭ-Т У.4500.2; концепции
Интернета вещей, программа моделирования MATLAB / Simulink

Краткое содержание дипломной работы:

1 Цель создания и назначение сетей 5G

2 Анализ перспективных технологий в сетях 5G:

2.1 Основные понятия, определения и структура гетерогенных беспроводных сетей связи. Интеграция радиотехнологий

2.2 Пользовательские приложения и услуги в 5G

2.3 Анализ развития Интернета вещей

2.4 Концепции Тактильного интернета

2.5 Анализ развития перспективных сетей связи

2.6 Задача построения беспроводных сенсорных сетей

2.7 Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания

3 Моделирование трафика IoT/M2M

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Эволюция мобильных сетей, Концепция возможностей сетей 5G, Обобщенная схема Интернета вещей, Концепция Интернет вещей IoT, Реализация Тактильного интернета, Технология связи Тактильного интернета, Выгрузка трафика в гетерогенной сети связи, Имитационная модель СМО вида М/М/1, Имитационная модель для MOTT

Рекомендуемая основная литература:

- 1) Полевич С.С., Симонина О.А. Алгоритмы выделения канального ресурса в гетерогенной сети радиодоступа нового поколения // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 3. С. 28–37.
- 2) Ф. Боккарди, Р. Хелт-мл., А. Лозано, Т. Марцетта, П. Поповски. Пять прорывных технологий 5G. Часть 2. Интеллектуальные устройства и встроенная поддержка M2M// Беспроводные технологии №4 '16
- 3) Тихвинский В.О. Возможности технологии 5G для создания сетей широкополосного беспроводного доступа в малых и средних населенных пунктах. Региональный семинар МСЭ для стран СНГ «Оптимальные решения по обеспечению широкополосного доступа в малых и средних населенных пунктах» г. Москва, Российская Федерация, 17-19 февраля 2015 года
- 4) В. О. Тихвинский, Г. С. Бочечка. Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания. «ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ», № 11, 2014

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Цель создания и назначение сетей 5G	30.01.2022	Цель создания и назначение сетей 5G
Анализ перспективных технологий в сетях 5G Пользовательские приложения и услуги в 5G	30.03.2022	Дать анализ развития технологий Интернета вещей, тактильного Интернета, перспективных гетерогенных сетей доступа с ее основными технологиями, беспроводных сенсорных сетей. Анализ D2D, M2M
Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания	7.04.2022	Раскрыть требования к качеству их обслуживания в 5G
Моделирование трафика IoT/M2M	25.04.2022	Выполнить моделирование в MATLAB / Simulink

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	<i>М.Т.Н. Досбаев М.</i>	<i>24.05.22</i>	<i>[Подпись]</i>

Научный руководитель _____ *[Подпись]* Байкенова Г.М.
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся _____ *[Подпись]* Ерболова А.Е.
(подпись)

Дата " 24 " 12 2021г.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена анализу перспективных приложений гетерогенных сетей 5G.

В работе даётся цель и назначение сетей 5G. Представлен анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G, такие как: Интернет вещей (IoT) и Тактильный интернет (ТИ). Проанализировано развитие перспективных сетей связи и задача построения беспроводных сенсорных сетей. А также были рассмотрены перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания.

Было проведено моделирование трафика IoT/M2M.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс гетерогенді 5G желілерінің перспективті қосымшаларын талдауға арналған.

Бұл жұмыста 5G желілерінің мақсаты берілген. Заттар интернеті (IoT), тактильді интернет (ТИ) сияқты гетерогенді 5G желілерінің перспективалық қосымшаларының талдауы ұсынылған. Перспективті байланыс желілерінің дамуы және сымсыз сенсорлық желілерді құру мәселесі талданады. Сондай-ақ 5G желілерінің келешегі мен олардың қызмет көрсету сапасына қойылатын талаптар қарастырылды.

IoT/M2M трафикті модельдеу жүргізілді.

ANNOTATION

This graduate work is devoted to the analysis of promising applications of heterogeneous 5G networks.

The paper gives the purpose and purpose of 5G networks. An analysis of promising applications of heterogeneous 5G networks, such as the Internet of Things (IoT), Tactile Internet (TI), is presented. The development of promising communication networks and the problem of building wireless sensor networks are analyzed. And also the prospects for 5G networks and the requirements for the quality of their service were considered.

IoT/M2M traffic modeling was carried out.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 Цель создания и назначение сетей 5G	11
1.1 Эволюция мобильных сетей	11
1.2 Принцип работы 5G	13
1.3 Постановка задачи	14
2 Анализ перспективных технологий в сетях 5G	15
2.1 Основные понятия, определения и структура гетерогенных беспроводных сетей связи. Интеграция радиотехнологий	15
2.2 Пользовательские приложения и услуги в 5G	16
2.3 Анализ развития Интернета вещей	21
2.4 Анализ концепции Тактильного интернета	24
2.5 Анализ развития перспективных сетей связи	29
2.6 Анализ задач построения беспроводных сенсорных сетей	32
2.7 Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания	36
3 Моделирование трафика IoT/M2M в сети с протоколом MQTT	38
3.1 Моделирование Matlab/Simulink	38
3.2 Протокол MQTT	38
3.3 Модель системы	40
3.4 Оценка эффективности предложенной модели	45
Перечень принятых сокращений, терминов	52
Заключение	54
Список использованной литературы	55
Приложение А	56
Приложение Б	58

ВВЕДЕНИЕ

Сейчас мы не можем представить свою жизнь без интернета, социальных сетей и тем более без мобильного телефона.

Но время не стоит на месте, человечество с каждым днем придумывает все новое и новое. Возможности, бывшие раньше научной фантастикой, стали научным фактом. В настоящее время, кроме охвата связью большего числа абонентов, операторы в погоне за прибылью стремятся расширить спектр предоставляемых услуг. Сейчас мы наблюдаем растущий спрос на услуги передачи данных, выходящие за рамки простых текстовых сообщений, которые сейчас воспринимаем уже как нечто само собой разумеющееся.

Реализация и переход на новую сеть - долгий процесс настройки инфраструктуры и подготовки необходимых материалов. Новости о разработке 5G известны давно, но только сейчас сеть начали тестировать и использовать в коммерческих целях. Аналогично происходило и с сетями более раннего поколения.

Перестройка и массовый переезд с 2G на 3G, с 3G на 4G (LTE) подготавливали долго, так как необходимо было понять, как распределять и управлять сетью.

У сетей 5G слишком большой размах и мощность, под которые нужно подстроить план покрытия вышек и реализовать ее во многих отраслях. Поэтому переход на сеть 5-го поколения будет не быстрым.

Сегодня телекоммуникации – один из важных объектов государственной инфраструктуры, их развитие позволит обеспечить растущие потребности общества, бизнеса и промышленности. Вокруг сети 5G формируется целая экосистема, а технологии на основе связи нового поколения будут стремительно развиваться в ближайшие годы. Технологии 5G будут востребованы как среди абонентов, так и на производственных предприятиях для внедрения различных типов управления и контроля, мониторинга оборудования и автоматизации процессов.

Сеть пятого поколения действительно очень нужна для перехода на рельсы цифровой экономики. Здесь и роботизация производства, и использование беспилотников, и обеспечение работы систем умного города, а также развитие всевозможных потребительских сервисов вроде VR и видео высокого качества.

Моя дипломная работа посвящена анализу перспективных приложений гетерогенных сетей 5G и в качестве примера рассматриваю моделирование трафика IoT/M2M.

1 Цель создания и назначение сетей 5G

1.1 Эволюция мобильных сетей

Мобильные сети и пометка «G»

Мобильная сеть — это канал связи между лицом, передающим информацию, и получателем. Для его формирования используются радиостанции, каждая из которых напоминает пчелиные соты и обслуживает небольшую площадь. Вышки дают возможность абонентам сети общаться между собой даже в процессе движения. Именно из-за конфигурации таких транспондеров и появилось название «сотовая связь».

Всем нам известна терминология «1G, 2G, 3G и т. д.». Что же это такое?

1G, 2G, 3G, 4G, 5G — это беспроводные сети, по которым совершается передача информации между устройствами. Чем выше цифра перед буквой «G», тем более быстрее будет совершаться передача данных. Английская буква «G» означает «поколение» («generation») сети. Например, 4G — это беспроводная сеть, сформированная на основе технологического процесса четвертого поколения. Большинство современных мобильных устройств поддерживают именно этот тип мобильной связи [1].

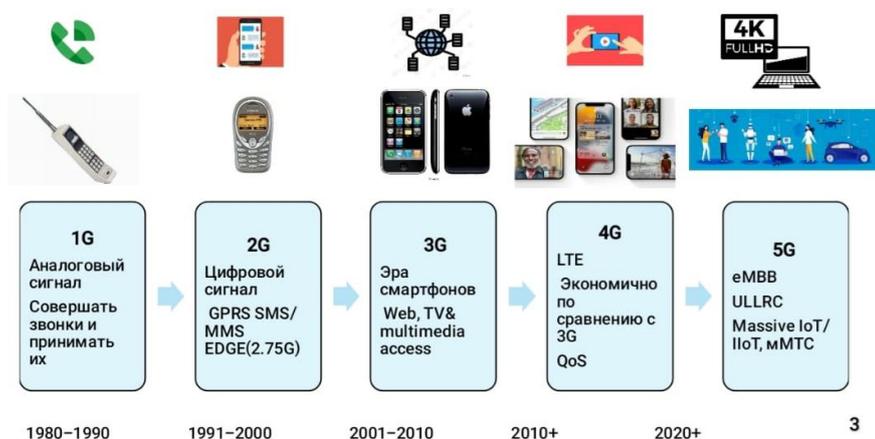


Рисунок 1.1- Эволюция мобильных сетей

На рисунке 1.1 показана эволюция мобильных сетей. Сети мобильной связи предыдущих поколений имели следующие назначения и функционал:

Сеть 1G можно сказать как первопроходец в мире мобильной связи. Совершать звонки и принимать их – это основная и единственная функция 1G. Ощутимой проблемой у сети 1G была его дороговизна. Не каждый мог себе позволить не только мобильную связь, но еще и элементарно устройство для этой связи. Поэтому благами цивилизации пользовались лишь занятые бизнесмены, политики, люди с большим заработком. Но не только ценообразование страдало, сеть 1G была не очень безопасна в плане конфиденциальности, информация о разговорах могла утечь не в те руки. Сеть 2G будет в разы комфортнее и безопасней.

Сеть 2G как значительный скачок в развитие.

2G разработали в 1991 году, оно принесло 3 значимых введения: цифровой формат, шифрование каналов связи и реализация передачи данных в новом виде. Вместе с сетью 2G появилась надстройка GPRS, с которой была возможна пакетная передача данных, можно было передавать информацию между устройствами. Ранее телефоны были просто беспроводными аппаратами для звонков.

Сеть 2G не сразу работала идеально. Постепенно разрабатывались новые возможности на устройствах. Сначала это было SMS и телефоны могли только принимать сообщения, а отправлять их нужно было с компьютера.

С целью улучшения скорости сети, проработали модификацию версии 2G — 2,5G. Немного позже, в 2003 году, появилась еще одна сеть — EDGE (2.75G). Она была элементарно быстрее своих предшественников, ее скорость скакнула до 240 Кбит/с. Сеть EDGE — промежуточный вариант, чтобы понять, куда и как развивать возможности.

После сети 2G разработчики выбрали вектор развития передачи данных и начали наращивать скорость и возможности будущих сетей. В 2001 году была разработана сеть 3G.

3G и новый формат телефонов.

Сеть 3G — это резкий рост осознания сотовой связи и проработки функционалов устройств. С сетью третьего поколения стало реальным свободно обмениваться сообщениями, смотреть видео, пользоваться социальными сетями, отправлять фотографии и все то, что ранее казалось невозможным.

Золотое время 3G — это развитие облика телефонов, на тот момент и связь наладили, и передача данных стабилизировалась, и элементарные устройства превратились в смартфоны. Одновременно с развитием сети, менялся внешний вид телефонов, улучшалась их функциональность. В 2007 году презентовали первый iPhone.

Так как потребляемый контент рос в объемах, скорости в 14,4 Мбит/с не хватало. Потребитель отправлял большое количество фотографии разного «веса», общался в Skype. Понадобилась быстрая работа с источниками в интернете. Вся деятельность пользователя перемещалась на смартфоны, потому что так быстрее и удобнее. В общем, 3G не сильно справлялся с задачами, поэтому нужно было думать над очередной разработкой, чтобы увеличить скорость сети.

2007 год, к 3G добавили технологию HSPA — высокоскоростная пакетная передача данных, чтобы увеличить скорость настоящей сети. Но спрос вырос, выросли потребности, тогда и топ-скорости пользователю не хватало, так как разрабатывались новые приложения, контент рос в объемах. Все это означало новый переход к 4 поколению сети.

Скоростной 4G.

Сеть 4G появилась с 2010 года и растила скорость обмена данными. На этапах тестового запуска 4G, современные смартфоны уже стали частью человека, его жизни, профессии и досуга. Мобильный интернет перерос

стационарный по скорости и частоте использования, потребитель тратил гигабайты интернета ежедневно.

В дополнение 4G появился LTE — долговременное развитие, он же и самый распространенный. Из названия понятно, что к такой скорости разработчики шли долго и упорно, их стремления оправдались.

LTE — это улучшенное качество звонка, четкий голос во время разговора, минимальное время соединения.

5G новое поколение.

5G — это стандарт пятого поколения мобильных сетей. Он не является решением, которое придет на замену 4G в том виде, как 4G заменил 3G, а 3G вытеснило 2G. 5G будет представлять собой гетерогенную сеть, то есть смешанную.

1.2 Принцип работы 5G

Главный принцип работы сетей пятого поколения не отличается от предшественников: данные на локальную антенну какого-либо устройства передаются от «сот», или сотовой вышки. Соединяясь друг с другом по радиоволнам определенного частотного диапазона, они образуют глобальную сотовую сеть [2].

Какая тогда разница между поколениями? Усовершенствованная техническая составляющая. Растет количество антенн, что значительно увеличивает скорость, пропускную способность и уменьшает задержку между отправлением и принятием сигнала. Но ключевое отличие — в частотных диапазонах. Впервые в истории мобильной сети сотовая техника будет использовать миллиметровый диапазон, с помощью которого достигается максимальная теоретическая скорость в 20 Гбит/с — это в 20 раз быстрее, чем пиковые скорости четвертого поколения.

Но у миллиметрового диапазона есть слабость — низкая проходимость сквозь препятствия. Охват площади одной такой сотой невелик, поэтому их требуется большое количество, что в свою очередь ведет к росту себестоимости всей системы для оператора сотовой связи.

Расширение диапазона — не единственное новшество. Разделение сигнала позволяет получить абоненту те данные, которые изначально предназначались ему, без искажений и потерь — если бы сигнал был один общий на всех, то устройства просто не смогли бы декодировать его в исходные данные, случилась бы мешанина.

Технология разделения сигнала менялась вместе с поколениями сотовой связи. В 1G каждому абоненту выделялся свой собственный диапазон частот, через который он и получал сигнал от оператора. В 2G частоты были общими, однако получение данных происходило в различный для всех пользователей промежутки времени. В 3G рабочий диапазон также общий, но для каждого

абонента данные кодируются по-своему — это позволило повысить скорость передачи.

Но когда вычислительные процессы перебрались на мобильники, это повысило скорость соединения, одновременно снизив энергоэффективность девайса. С приходом 4G разделение сигнала стало осуществляться при помощи цифровой обработки: канал, по которому проходят сигналы, разделяется на подканалы, в которых и обслуживается каждое устройство.

В 5G используется технология разделения, схожая с 4G, однако подканалы стали расположены ближе друг к другу, что значительно повысило эффективность сети. Главную роль в процессе играет технология Massive MIMO. Принцип ее работы основан на том, что сота передает несколько сигналов одновременно. Из-за того, что каждая такая волна сигнала проходит разный путь за разное время, то один сигнал, поступая к приемнику (например, смартфону), накладывается на другой. В итоге оба сильно искажают друг друга — это так называемая межсимвольная интерференция. Проблема легко решается и в 4G, однако Massive MIMO — технология, которая позволяет создавать множество параллельных сигналов благодаря множеству антенн в соте. В то же время в современных смартфонах, планшетах и ноутбуках стоит не одна приемная антенна, как было раньше, а две, что позволяет технике анализировать каждый сигнал и правильно восстанавливать исходные сигналы. Итог — невероятный прирост в скорости приема различных сигналов.

Одно из следствий — развитие Интернета вещей, когда устройства образуют между собой собственную сеть и взаимодействуют друг с другом без постоянного вмешательства человека. Одна из веток этой эволюции — интернет транспортных средств. Учитывая тренд на беспилотный транспорт, технология Device-to-Device (устройство к устройству) - технология прямой связи между устройствами стандарта LTE, поддерживаемая в 5G, должна создать безопасную и эффективную дорожную сеть, благодаря которой транспортное средство в режиме реального времени подает и принимает сигналы от других девайсов, более грамотно строит маршрут и адекватно реагирует на дорожную обстановку [2].

1.3 Постановка задачи

Моя дипломная работа посвящена анализу перспективных приложений гетерогенных сетей 5G.

Для выполнения работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: основные понятия, определения и структура гетерогенных беспроводных сетей связи. Интеграция радиотехнологий; пользовательские приложения и услуги в 5G; анализ развития Интернета вещей; концепции Тактильного интернета; анализ развития перспективных сетей связи; задача построения беспроводных сенсорных сетей; перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания; моделирование трафика IoT/M2M.

2 Анализ перспективных технологий в сетях 5G

2.1 Основные понятия, определения и структура гетерогенных беспроводных сетей связи. Интеграция радиотехнологий

Понятие гетерогенной беспроводной сети.

5G представляет собой гетерогенную сеть. Гетерогенная, или неоднородная, беспроводная сеть может быть определена как таковая, что состоит из двух или больше сегментов разных технологий радиодоступа с целью обеспечения наилучшего покрытия и повышения качества предоставления услуг. Гетерогенная сеть строится из подсетей, работающих в разных стандартах, по разным технологиям. При этом все они образуют единую интегрированную среду, где обеспечен бесшовный незаметный для пользователя переход из одной подсети в другую. То есть, гетерогенная сеть функционирует, как единая система. В ней будут использоваться различные технологии для обслуживания трафика и пользователей разных типов.

В целом гетерогенную сеть можно разделить на следующие типы сетей в зависимости от их масштаба:

- персональные беспроводные сети WPAN - это беспроводные сети, которые покрывают маленькую географическую территорию (например, Bluetooth, ZigBee);

- локальные беспроводные сети WLAN - сети, которые покрывают территорию в 50-300м и используются, как правило, в зданиях офисов, школ, кампусов (например, стандарты серии IEEE 802.11 Wi-Fi);

- городские беспроводные сети WMAN;

- беспроводные сети масштаба города;

- глобальные беспроводные сети WWAN - это сети больших масштабов, что, как правило, строятся на сотовых технологиях 3GPP / 3GPP2, а также GSM, EDGE.

В начале своего бурного развития технологии связи 5G стремились, в основном, к:

- существенному увеличению доступной емкости беспроводной сети;
- предоставлению единообразного качества беспроводного соединения;
- повышению уровня качества обслуживания и восприятия услуги.

Для достижения этих перспективных целей в числе прочих были изучены подходы к интеграции различных технологий радиодоступа и уплотнению сети, использованию прямых соединений между пользовательскими устройствами и крайне высоких частот, повышению энергетической эффективности при подключении устройств Интернета вещей и носимых устройств³.

Гетерогенные сети связи 5G построены на основе архитектуры, которая включает в себя иерархическую структуру сот различного размера, использующих разнородные технологии радиодоступа. В таких системах абонентские терминалы при передаче своих данных сетевой инфраструктуре

имеют возможность использовать несколько радиотехнологий одновременно. С увеличением числа таких терминалов на рынке операторы мобильной связи становятся более заинтересованы в эффективном использовании радио ресурсов нескольких сетей доступа для увеличения емкости интегрированной системы связи и повышения качества пользовательского соединения. Таким образом, взаимодействие между различными технологиями радиодоступа и возможность эффективного управления ими становятся основными особенностями сетей 5G.

2.2 Пользовательские приложения и услуги в 5G

Сети 5G значительно расширяют ограниченный функционал мобильных сетей предыдущих поколений. Основными функциональными особенностями сетей 5G являются следующие:

- усовершенствованный мобильный широкополосный доступ eMBB;
- сверхнадёжные коммуникации с низкой задержкой URLLC;
- массивные межмашинные коммуникации Massive IoT/IIoT, mMTC.

Степень важности оценивается тремя приблизительными показателями: «высокая», «средняя» и «низкая».

В сценариях для eMBB высокое значение имеют:

- практическая пользовательская скорость передачи данных;
- трафик на единицу площади;
- пиковая скорость передачи данных;
- мобильность;
- энергоэффективность;
- эффективность использования спектра.

В некоторых сценариях URLLC высокое значение имеет низкая задержка для того, чтобы обеспечить работу критически важных служб безопасности, а также высокий уровень мобильности в сфере услуг безопасности перевозок.

Сценариям mMTC свойственны высокая плотность соединений и необходимость поддержания корректного функционирования большого количества устройств в сети. Для реализации данного сценария важны низкая стоимость устройства и его энергоэффективность.

На основе этих трёх генерализованных видов функционала строится всё многообразие услуг и возможностей сетей IMT2020 (5G), наиболее характерные из которых показаны на рисунке 2.1 [3].

Усовершенствованный мобильный широкополосный доступ (eMBB)



Рисунок 2.1 - Многообразие функциональных возможностей сетей IMT2020/5G

Гигабайты в секунду. Сети 5G способны значительно повысить скорость передачи данных через различные технологии радиодоступа, и при помощи задействования новых спектров радиочастот 5G NR. Пользователь получает практически неограниченную полосу пропускания, как для домашнего использования различных сервисов, так и для целей предприятий.

Умный дом. Целый спектр различных сервисов интернета вещей будет доступен для решения «Умный дом» и «Умное здание»: видеонаблюдение, управление и автоматизация бытовой техники, управление системами безопасности, хранилища контента, климата и пр.

Умный город. Решение «Умный город» — это горизонтальное и вертикальное масштабирование функционала и спектра сервисов «Умного дома». Основные сервисы «Умного города»: Безопасный город, электронное правительство, электронное здравоохранение, электронное образование, электронный банкинг, электронный сбор показаний ЖКХ, «умные электросети», и пр.

Новые видео услуги 4K/8K: Объёмное видео, экран сверхвысокой чёткости (UHD), возможность эффекта присутствия.

Работа в облаке. Сервис даёт возможность не только хранить данные в облачном хранилище и извлекать их оттуда, но и использовать прикладные программы, которые работают непосредственно из облака. Причем, с возможностью их использования на любом устройстве и из любого местоположения. Кроме того, имеется возможность использования интерфейсов прикладного программирования API, через которые облачные сервис-провайдеры могут предоставлять свои услуги абонентам оператора сети 5G.

Дополненная и виртуальная реальность (AR/VR). Сервис виртуальной реальности VR погружает человека в иной мир, воздействуя на его органы чувств, прежде всего зрение (VR-очки). Сервис дополненной реальности AR комбинирует для пользователя реальную среду с виртуальными предметами. Эти сервисы пригодны не только для развлечения, игр, виртуального общения в режиме «теле присутствия», но также могут существенно улучшить процесс обучения, когда студенты при помощи VR-очков могут, например, наглядно видеть внутреннее строение человека на лекции по анатомии, мастер в цехе может изучить порядок сборки сложного агрегата и пр.

Промышленная автоматизация. Сеть 5G, вкуче с технологией интернета вещей IoT, при помощи промышленных датчиков IIoT, а также при помощи искусственного интеллекта ИИ (AI) способны существенно повысить степень автоматизации производства. При этом становится возможным в режиме реального времени анализировать большие объёмы разнородных данных и на основе полученных выводов и с использованием машинного и глубокого обучения.

Бизнес-критичные приложения (MCA). К этим приложениям могут относиться, например, электронная медицина, связь при чрезвычайных ситуациях (MCC), тактильный интернет и другие.

Беспилотный транспорт. Беспилотный транспорт может выступать как часть услуги «Умный город», однако, может предоставляться на собственной платформе. В него входят не только беспилотные автомобили, но также и беспилотные тракторы для «умного сельского хозяйства», беспилотные поезда для метро и пригородных железных дорог и другие виды общественного и специального транспорта. Кроме того, на платформе 5G возможна реализация систем помощи водителю ADAS.

В отличие от сетей предыдущих поколений, спектр услуг которых был жёстко ограничен и несколько расширен в 4G, услуги платформы 5G носят синергетический и масштабируемый характер, и не ограничены однажды заданным функционалом. В целом, можно сказать, что сеть 5G вбирает в себя не только мобильные, но также и фиксированные услуги связи, а также высокоскоростной доступ в интернет с малой задержкой и, кроме того, специализированные и корпоративные сети для вертикальных отраслей экономики (рисунок 2.2).

За счет сетей пятого поколения также можно будет улучшить качество использования уже существующих сервисов, где задействованы большие объемы трафика.

Концепция возможностей сетей 5G

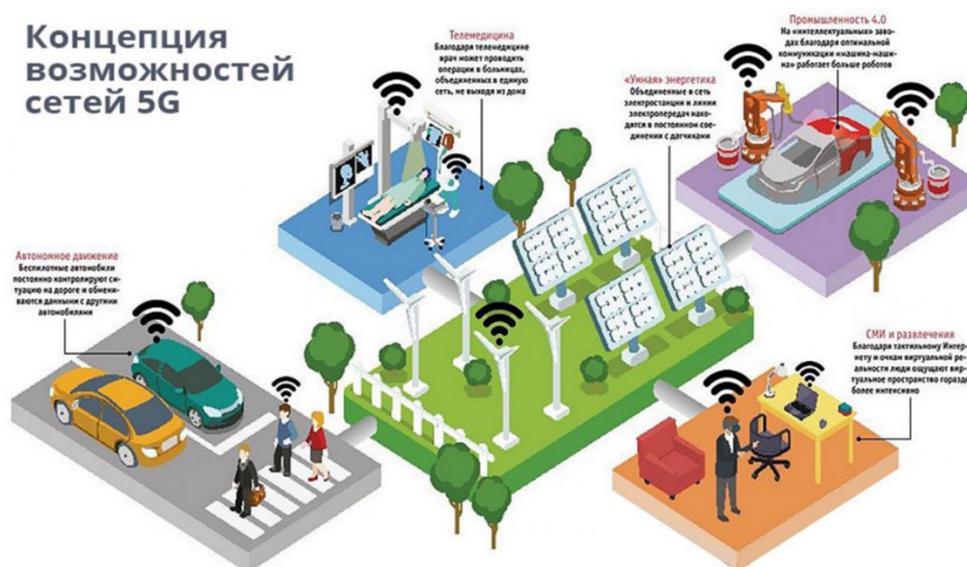


Рисунок 2.2 – Концепция возможностей сетей 5G

5G позволит охватить большую дистанцию, чем сети Wi-Fi, а благодаря низким задержкам – повысить стабильность работы систем.

Экспоненциальное увеличение числа сотовых устройств и объема трафика в сочетании с надвигающимся спектральным кризисом, несомненно, является основной задачей для сетей пятого поколения. Поэтому в сетях 5G предлагают объединять всевозможные решения, чтобы обеспечить большую ёмкость, меньшую задержку и более высокую надёжность. Такие решения включают в себя несколько новых технологий, таких как NFV, SDN, а также D2D-коммуникации. D2D представляет собой одну из таких технологий, которая потенциально может решить проблему узких мест пропускной способности унаследованных от сотовых систем. Эта новая парадигма обеспечивает прямое взаимодействие между устройствами на основе LTE, минимизируя передачу данных в сети радиодоступа. Преимуществами прямого взаимодействия является прямое соединение, способное выгружать данные из спектра в внеполосных технологиях (например, Wi-Fi, Bluetooth и т. д.), улучшая спектральную эффективность.

Сходимость приложений общественной безопасности с коммерческими сотовыми сетями представляет собой серьезную проблему при определении коммуникационных архитектур D2D. Это связано с более строгими требованиями приложений общественной безопасности, такими как, например, высокая надёжность обслуживания со сверхнизкими задержками. Взаимодействие устройство-устройство (D2D) является ключевой коммуникационной парадигмой, которая поддерживает соединение неоднородных объектов между собой и обеспечивает ряд важных преимуществ. Одной из основных задач и проблем для сотовых систем 5G является проектирование гибких сетевых архитектур, которые могут быть реализованы на принципах программно-конфигурируемых сетей SDN. Существующие коммерческие сотовые системы основываются на закрытых и сложно

управляемых архитектурах, базирующихся на аппаратных средствах как в интерфейсе радиодоступа, так и в базовой сети.

Эти проблемы существенно задерживают принятие и внедрение новых стандартов, налагают значительные трудности в части реализации новых методов для увеличения пропускной способности сети.

Использование D2D открывает новые функциональные возможности беспроводных сетей 5G:

– развитие и адаптивность: из-за разделения плоскости данных и плоскости управления, как аппаратная, так и программная сетевая инфраструктура могут быть легко, быстро и независимо обновлены, что позволяет своевременно применять новые технологии в интерфейсе радиодоступа (например, миллиметровые волны, полнодуплексные соединения, MIMO). Кроме того, программируемая плоскость данных позволяет контроллерам динамически распределять сетевые ресурсы и внедрять новые сетевые решения в соответствии с изменяющимися моделями трафика, непредвиденными сбоями на сети, требованиям к качеству сервиса (QoS);

– инфраструктура как услуга (IaaS): Появляющиеся сетевые сервисы, такие как коммуникации «машина-машина», умные приложения, мобильные операторы виртуальной сети (MVNO), а также популярные контент-сервисы (например, потоковое видео) требуют качественное разделение сетевых возможностей, которые будут интегрированы и развернуты во всей сетевой инфраструктуре;

– максимальная спектральная эффективность: в SDN для сетей 5G базовые станции SDN могут быть реализованы на сервере или в ЦОДе. Там они могут без преград обмениваться управляющей информацией, мобильными данными и информацией о состоянии канала, связанной с различными действиями пользователей в системе. Также, с SDN для сетей 5G гораздо легче реализовать алгоритмы снижения помех между сотами, таким образом коэффициент повторного использования частот будет равен 1 во всей сети;

– конвергенция гетерогенных сетей: Мир постоянно развивающихся, конкурирующих и сосуществующих стандартов беспроводных сетей связи (WiMAX, LTE, LTE-A и т. д.), а также принципиальное различие между беспроводным интерфейсом радиодоступа и проводной базовой сетью осложняет и замедляет развитие единой системы планирования и управления сетью.

– энергоэффективность – в соответствии с нагрузкой на сеть, контроллеры динамически распределяют нагрузку между базовыми станциями SDN. Таким образом, снижается количество незанятых базовых станций, которые потребляют почти такое же количество энергии, как и активные. Также, в связи с реализацией базовых станций SDN, количество физических площадок может быть значительно уменьшено [4].

2.3 Анализ развития Интернета вещей

К основным приложениям можно отнести Интернет вещей, Machine-to-Machine (M2M). Межмашинное взаимодействие – общее название технологий, которые позволяют "машинам" обмениваться информацией друг с другом, или же передавать её в одностороннем порядке, без участия человека. Одним из подклассов M2M является межмашинное взаимодействие с использованием мобильных решений, для него также может использоваться аббревиатура M2M – Mobile-to-Mobile [5].

Понятия M2M и IoT имеют разные значения. Большинство экспертов считают, что Интернет вещей является более широкой концепцией, которая будет развиваться из M2M и других технологий. Проще говоря, M2M – это ситуация, когда "машины" используют сетевые ресурсы для связи с инфраструктурой удаленного приложения для целей контроля и управления либо самой "машиной", либо окружающей средой. Потенциальная взаимосвязь интеллектуальных объектов и то, как мы взаимодействуем с окружающей средой – это то, что представляет собой «Интернет вещей», где физический мир будет сливаться с цифровым миром.

Классическая архитектура интернета вещей включает в себя (рисунок 2.3):

- IoT-устройства. Они собирают показания с датчиков и выполняют физические действия. Могут быть персональными, носимыми и встроенными;
- шлюзы, которые получают информацию от устройств и передают им команды выполнения действий. Как правило, представлены аппаратным маршрутизатором или программным обеспечением; используют разные протоколы;
- сервер, где хранятся, обрабатываются и анализируются показания датчиков. Может быть реализован на базе виртуального сервера, реальной машины или через облако;
- клиентская часть, реализуется через мобильное или веб-приложение. Обеспечивает доступ к данным устройств и наглядному представлению результатов анализа [4].



Рисунок 2.3 – Обобщенная схема Интернета вещей

Устройство Интернета вещей.

Современный Интернет состоит из тысяч корпоративных, научных, правительственных и домашних компьютерных сетей. Объединение сетей разной архитектуры и топологии осуществляется с помощью протокола IP. Каждому участнику Сети (или группе участников) присваивается IP-адрес, постоянный или временный (динамический). Аналогичным образом Интернет вещей сегодня состоит из множества слабо связанных между собою сетей, каждая из которых решает свои задачи. Например, в офисном здании может быть развернуто сразу несколько сетей: для управления кондиционерами, системой отопления, освещением, безопасностью и т.д.

Технологии Интернета вещей.

Средства идентификации. Каждый объект физического мира, участвующий в Интернете вещей, пусть даже не подключенный к Сети, все равно должен иметь уникальный идентификатор. Для автоматической идентификации предметов могут использоваться различные уже существующие системы: радиочастотная, при использовании которой к каждому объекту прикрепляется радиочастотная метка, оптическая (штрих-коды, QR-коды), инфракрасные метки и т.д. Но в обеспечение уникальности идентификаторов различных типов придется провести работу по их стандартизации.

Средства измерения. Задача средств измерения – обеспечить преобразование информации о внешней среде в данные, пригодные для передачи их средствам обработки. Это могут быть как отдельные датчики температуры, освещенности и т.п., так и сложные измерительные комплексы. Для достижения автономности средств измерения желательно обеспечить электропитание датчиков за счет средств альтернативной энергетики (солнечные батареи и т.п.), чтобы не тратить время и средства на подзарядку аккумуляторов или замену батарей.

Средства передачи данных. Для передачи данных может быть использована любая из существующих технологий. В случае применения беспроводных сетей особое внимание уделяют повышению надежности передачи данных. При использовании проводных сетей активно используют технологию передачи данных по линиям электропередачи, поскольку многие «вещи» (такие как торговые автоматы, банкоматы и т.п.) подключены к электросетям.

Средства обработки данных. В компании Microsoft полагают, что главная часть Интернета вещей — это не датчики и средства передачи данных, а облачные системы, обеспечивающие высокую пропускную способность и способные быстро реагировать на определенные ситуации (например, уметь по показаниям датчиков выяснять, что в доме уже пять минут никого нет, а входная дверь осталась открытой). Помогут справиться с огромными потоками информации также туманные вычисления, которые будут не конкурировать с облачными, а эффективно их дополнять.

Исполнительные устройства. Это устройства, способные преобразовывать цифровые электрические сигналы, поступающие от информационных сетей, в

т.п. — там, где за счет новых технологий ожидается повышение производительности и конкурентоспособности. Сложность масштабирования этого опыта обусловлена тем, что необходимо интегрировать в единое целое многие системы от разных поставщиков, а наладить их слаженную работу — задача посложнее, чем добиться гармоничного звучания Большого симфонического оркестра.

2.4 Анализ концепции тактильного Интернета

Развития технологий 5G часто говорят о концепции «тактильного интернета», хотя эта тема еще не вызывает такого ажиотажа, как интернет вещей. Тактильный интернет предполагает, что мы собираем данные и передаем их с минимально допустимой задержкой, измеряемой миллисекундами, открывает множество перспектив, с одной стороны, и формирует сложные вызовы — с другой.

Рисунок 2.5 отображает основу концептуальной архитектуры, в которой главным образом выделяется три элемента: домен управления, сетевой домен и домен исполнения, также важно определять наличие или отсутствие тактильной обратной связи между доменами.

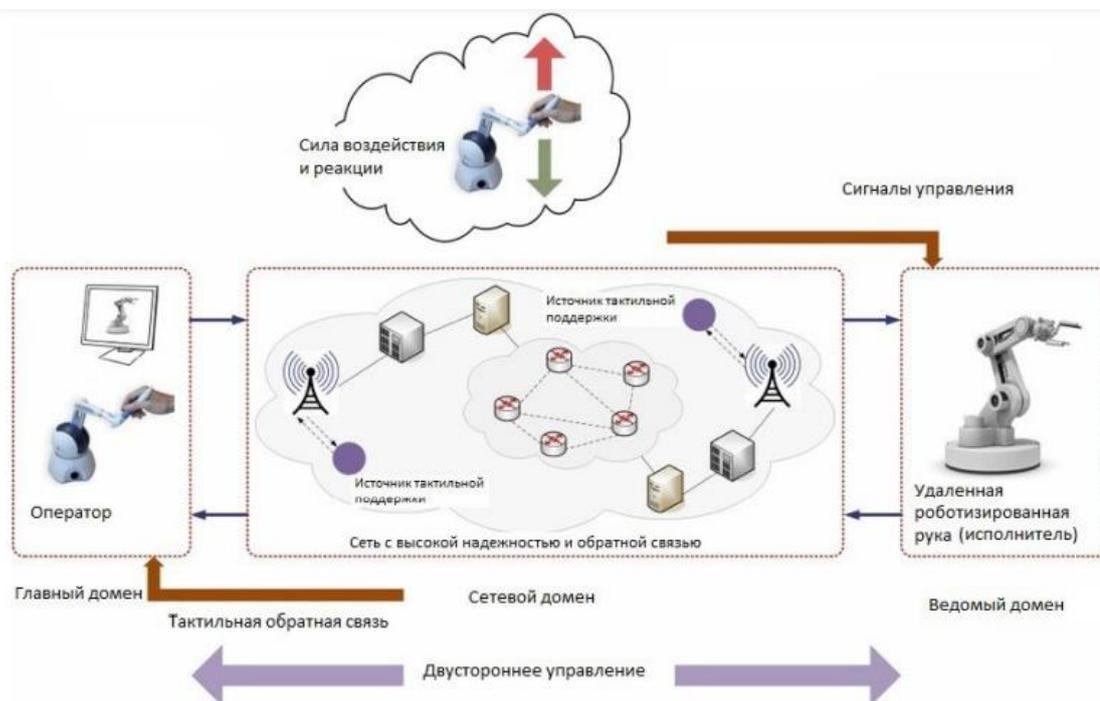


Рисунок 2.5 - Реализация Тактильного Интернета

Домен управления (ведущий, главный). Основной функцией ведущего домена является прием человеческого воздействия, преобразование его в тактильное восприятие и осуществление обратной связи. Таким образом, домен

включает в себя человека (оператора) и человеческо-интерпретируемый системный интерфейс.

Сетевой домен. Сеть связи для тактильного интернета представляется в виде плотно распределённая сетевая ткань (fabric, – фабрика), то есть совокупность сетевых устройств и вычислений, производящихся на разных уровнях приближения к пользователю, для борьбы с задержками. Цель домена – связать другие домены, с наименьшей затратой времени, высокой безопасностью и доступностью.

Домен исполнения (ведомый). Представляет собой механизированное устройство или программный комплекс управляемый человеком из главного домена [7].

Приложения системы Тактильного Интернета.

Ожидается, что Тактильный Интернет совершит революцию в индустрии связи из-за его огромного влияния на жизнь человека. Можно сказать, что предвестником появления инновационной идеи Тактильного Интернета стала концепция Интернета Вещей, где преимущественным является межмашинное взаимодействие. Тактильный интернет предполагает взаимодействие машины и человека, давая возможность передавать тактильную и не тактильную информацию на больших скоростях. Такая возможность воссоздаст условия, при которых будут развиты новые инновационные услуги. Непременное, огромное влияние это окажет на такие сферы деятельности, как медицина, образование, область промышленной автоматизации, игровая индустрия. Основная идея концепции Тактильного Интернета заключается в том, что время, которое уходит на обработку одного пакета очень мало. Это даст возможность конечному пользователю полностью «погрузиться» в виртуальный мир.

Концепция ТИ является очередным шагом в данном направлении. Она направлена на создание для человека эффекта присутствия в некоторой удаленной точке, за счет использования совершенных технологий связи (рисунок 2.6). Тактильные ощущения следует истолковывать в широком смысле, понимая под ними в первую очередь высокую степень интерактивности взаимодействия (воздействия и незамедлительной обратной реакции).



Рисунок 2.6 – Технологии связи Тактильного интернета

Тактильные взаимодействия представляют собой основные приложения Тактильного Интернета. На рисунке 2.7 представлены основные потенциальные приложения концепции Тактильного Интернета, включающие в себя:

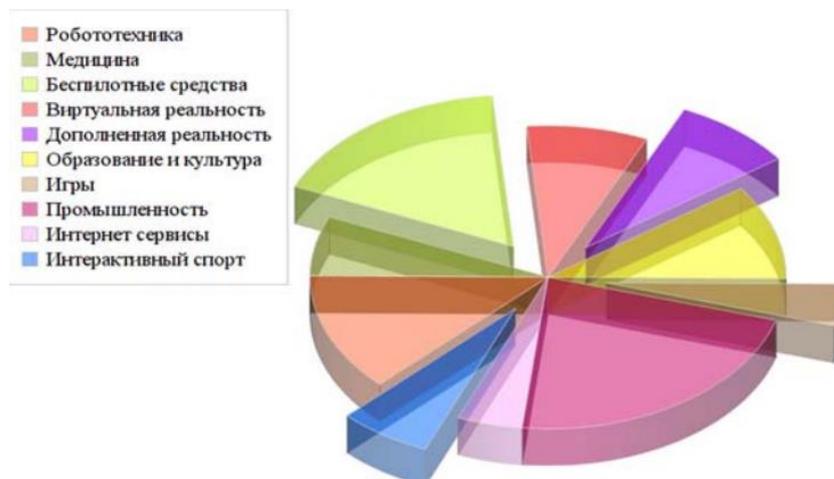


Рисунок 2.7 - Услуги тактильного интернета

Приложения в области здравоохранения: предполагается, что Тактильный Интернет поможет медицинскому персоналу более эффективно выполнять свою работу за счет внедрения новых приложений и средств, которые не поддерживаются традиционными сетями. Эти приложения включают дистанционную диагностику, реабилитацию и удаленную хирургию. Они сделают высококвалифицированных медицинских специалистов и врачей доступными в любом месте, что существенно повысит качество оказания медицинских услуг. Кроме того, роботы смогут выполнять сложные операции (например, неврологические и операции на сердце) с дистанционным управлением опытного хирурга посредством.

Виртуальная и дополненная реальности (VR/AR): Тактильный Интернет поможет динамическому решению проблем виртуальной и дополненной реальности вместо существующих статических решений. VR можно рассматривать как форму тактильной взаимосвязи, которая будет предоставляться через Тактильный Интернет. Требования к задержке и надежности приложений VR/AR будут поддерживаться Тактильным Интернетом, который, как ожидается, достигнет круговой задержки в 1 мс, что существенно больше, чем требуется приложениям VR (5 мс).

Приложения индустриальной автоматизации: управление замкнутым контуром большинства промышленных автоматизированных систем требует круговой задержки для датчиков и исполнительных механизмов величиной в 1 мс. Это может быть достигнуто с помощью системы Тактильного Интернета, а существующая проводная система будет превращена в беспроводную или в систему дополненной реальности. Это позволит в большей степени автоматизировать процесс производства и повысить его эффективность.

Приложения роботов: в последнее время роботы начинают принимать все большее участие в повседневной жизнедеятельности общества, и число

внедренных роботов, прибыль от них увеличивается с каждым днем. Тактильный Интернет позволит существенно улучшить управление роботами со стороны человека, особенно для приложений дистанционного управления. Ультрамалая задержка и надежность, требуемые роботам с дистанционным управлением, изначально заложены в концепцию Тактильного Интернета.

Беспилотные средства: ожидается, что Тактильный Интернет поможет в управлении дорожным движением с помощью датчиков транспортных средств и систем помощи водителю. Тактильный Интернет может улучшить, как взаимодействия между транспортными средствами (V2V), так и взаимодействия между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой (V2I). Кроме того, ультрамалая задержка, необходимая для автомобильных приложений и беспилотных автомобилей будет, естественно, поддерживаться Тактильным Интернетом.

Приложения для умной энергетики: основной целью умной сети для энергетики является эффективное распределение энергии при требуемой стабильности энергоснабжения. Умные энергосистемы контролируют состояние генераторов и линий электропередачи, и управляют работой и тех, и других. Кроме того, контролируется потребление и тарифы пользователей. Поэтому, такие системы требуют высокой надежности и ультрамалых задержек (например, требуемая задержка из конца в конец синхронного совместного использования поставщиков электроэнергии составляет 1 мс) для передачи информации между сетями. Тактильный Интернет сможет поддерживать эти системы, обладая малыми задержками с очень низкими потерями (вероятность потери пакетов 0,001 %).

Приложения Интернет сервисов: такого рода приложения создаются для расширения возможностей маркетинга. Они позволяют мгновенно оценивать желания и потребности покупателя. Сегодня, чтобы приобрести какой-либо товар большинство отправляются в магазин. Тактильный Интернет позволит потрогать или примерить товар, не выходя из дома.

Приложения для образования и культуры: познание истории прошлого, приобретение новых навыков будет становиться все более интерактивным. Посещая музеи и выставки появится возможность прикоснуться к любым экспонатам, даже утерянным многие века назад, посредством Тактильного Интернета. VR/AR технологии помогут еще больше погружаться в атмосферу прошлого, получать новые навыки, например, управление самолетом, автомобилем, сварное дело и множество других.

Интерактивный спорт: занятия спортом, здоровый образ жизни становятся все более популярными. Планируется, что сети пятого поколения (5G/IMT2020) позволят тренироваться и состязаться вместе несмотря на разделяющее вас расстояние. Армреслинг с роботом, который управляется соперником или игра в теннис с вашим зарубежным другом? Скоро это может стать реальностью.

Другие приложения: Тактильный Интернет будет иметь множество приложений в различных областях, которые не ограничиваются ранее упомянутыми. Ожидается, что Тактильный Интернет будет использоваться в

таких важных областях жизнедеятельности человека как: образование, культура, профессиональные игры и беспилотные летательные аппараты. Приложения Тактильного Интернета могут помочь детям и взрослым с трудностями в развитии их образовательных навыков, восстановлении навыков после травм или инвалидности.

Профессиональные игры – это игры, в которых развлечение сочетается с другими мотивациями и задачами. При этом именно эти мотивы представляют основную цель игры. Профессиональные игры имеют приложения во всех важных областях жизнедеятельности человека и общества, таких как: образование, тренировки, обучение и здоровье. Поскольку круговая задержка представляет собой важный фактор, определяющий динамику игры и ее результаты, Тактильный Интернет может обеспечить самую лучшую поддержку подобных приложений. Кроме того, Тактильный Интернет может обеспечить построение сети связи для управляемых человеком беспилотных летательных аппаратов с необходимой задержкой, надежностью и доступностью системы.

Если мы научимся передавать на большие расстояния с очень низкой задержкой не только визуальную картинку и голосовые данные, но еще и ощущения, то получим огромные возможности для новых решений.

В системе ТИ требуется чтобы обратная реакция, на совершенное действие, была настолько быстрой, чтобы та задержка, которая все же имеет место не искажала эффекта присутствия.

Решение задач невозможно только повышением пропускной способности сетей связи, для этого необходимы структурные изменения. Эти структурные решения связаны, в первую очередь, с сокращением расстояния между источником и получателем данных, организация распределенных услуг.

Данная тенденции приводит к созданию таких элементов сетевой инфраструктуры, которые обеспечат, например, распределение некоторых функций в сети, путем их виртуализации и размещения виртуального образа возможно ближе к пользователю.

Стоит отметить, что одним из решений этой задачи может быть использование прямых соединений (D2D) между передающим и приемным устройствами, если они находятся на достаточно близком расстоянии. Кроме этого, если абонентские (пользовательские) устройства способны создавать собственную сеть, например, с использованием D2D соединений, скорость доставки данных может быть существенно повышена из-за исключения из маршрута элементов сетевой инфраструктуры.

Таким образом, потенциально, структуры WSN могут быть основой для обслуживания трафика ТИ. Разумеется, в данном случае, для построения WSN должны использоваться технологии, обеспечивающие максимально высокие пропускные способности [5].

2.5 Анализ развития перспективных сетей связи

Сети 5G интегрируют в себя (полностью или частично) сети ИВ. В этом смысле сети 5G предусматривают ряд новых способов обслуживания трафика, которые учитывают, в частности, особенности трафика ИВ. Это в первую очередь, возможность организации прямых соединений между устройствами.

Целью использования D2D коммуникаций в сетях 5G является процесс направления некоторой части трафика непосредственно между устройствами, минуя элементы самой сетевой инфраструктуры. Данный подход получил название «выгрузка трафика».

Выгрузка трафика позволяет существенно понизить интенсивность трафика, обслуживаемого элементами сети связи (базовыми станциями, точками доступа и пр.). При использовании внеполосной кластеризации устройств, также достигается значительная экономия лицензируемого радиочастотного ресурса. В целом, это обеспечивает существенное повышение эффективности использования сетевых ресурсов.

На рисунке 2.8 приведен прогноз изменения доли выгружаемого трафика в современных и перспективных сетях связи.

В сетях 3G и 4G в качестве выгрузки трафика рассматривается процесс переноса доли трафика СПС в сети WLAN. Основными технологиями построения WLAN являются стандарты Wi-Fi (IEEE 802.11). Эти стандарты также существенно развиваются и последние из них (IEEE 802.11ac) позволяют достичь высокой скорости передачи, достаточной для большинства современных приложений.

Широкое распространение WLAN как публичных, так корпоративных и частных позволяет значительно повысить их доступность, а, следовательно, и вероятность использования этих сетей в качестве сети доступа абонентами подвижной связи.

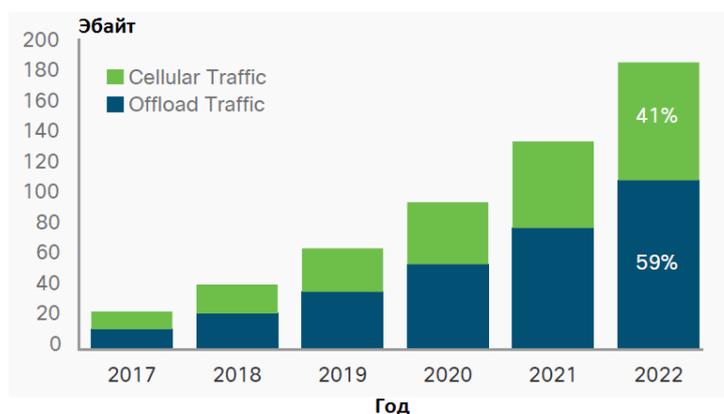


Рисунок 2.8 – Статистика и прогноз изменения трафика СПС и выгружаемого трафика (источник данных Cisco)

Как видно из рисунка 2.8 доля выгружаемого трафика увеличивается и к 2022 г. стала превышать 50%, в среднем для всех используемых технологий построения сетей подвижной связи.

На рисунке 2.9 приведен прогноз изменения доли выгружаемого трафика для различных технологий построения сети подвижной связи. Из приведенных данных видно, что в сетях 5G доля выгружаемого трафика составляет более 70%, что в двое больше чем для сетей 2G. Это можно объяснить тем, что все абонентские устройства, работающие в сетях 5G поддерживают работу в сетях WLAN, в то время как для устаревших устройств, ориентированных на сети 2G это не так.

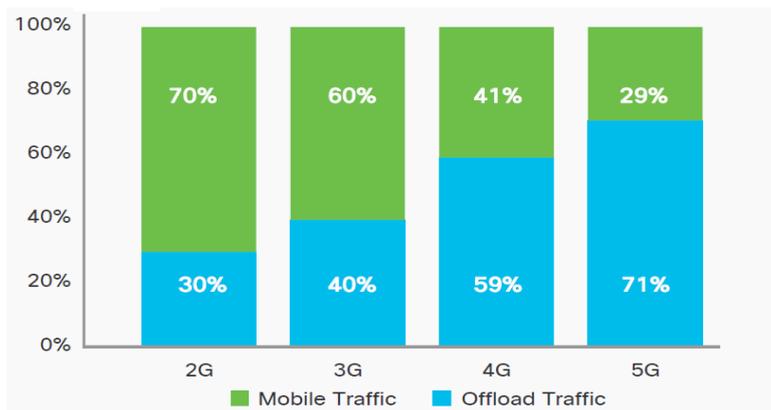


Рисунок 2.9 –Прогноз изменения доли выгружаемого трафика (источник данных Cisco)

Приведенные выше данные иллюстрируют выгрузку трафика основных услуг связи (передача речи, мультимедиа, данных) через прямые соединения устройство – устройство и через сети WLAN.

Аналогичный процесс выгрузки трафика может иметь место и для трафика ИВ, т.е. трафика производимого и обслуживаемого в беспроводных сенсорных сетях, использующих сети подвижной связи как шлюз с глобальной сетью. Иллюстрация приведена на рисунке 2.10

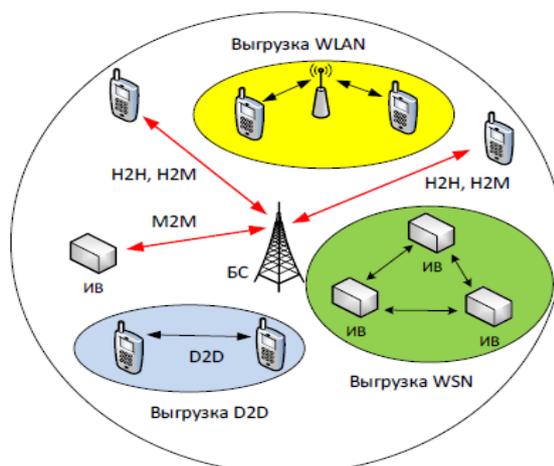


Рисунок 2.10 – Выгрузка трафика в гетерогенной сети связи

На рисунке 2.10 приведена иллюстрация процесса выгрузки трафика при использовании трех имеющихся возможностей: локальной сети WLAN, прямые соединения D2D, беспроводные сенсорные сети WSN.

Большинство стандартов построения WSN также используют не лицензируемые участки радиочастотного спектра. Структура построения WSN также, в большинстве случаев допускает использование прямых соединений между элементами сети. Следует отметить, что для построения WSN в настоящее время наиболее часто используются такие технологии как ZigBee (IEEE 802.15.4), Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), LoRaWAN, SigFox. Эти стандарты потенциально позволяют организовывать прямые соединения между устройствами и строить сети на основе таких соединений.

Это дает возможность выгрузки трафика ИВ в сети WSN, что в ряде случаев может существенно разгрузить основную сеть. Трафик M2M и ИВ в целом, в настоящее время составляют не слишком большую долю от общей величины производимого трафика, рисунок 2.11. Согласно приведенному прогнозу к 2022 г. Его доля составит более 2% от общего трафика, что весьма существенно, но такая величина не позволяет отнести M2M устройства к основным источникам трафика.

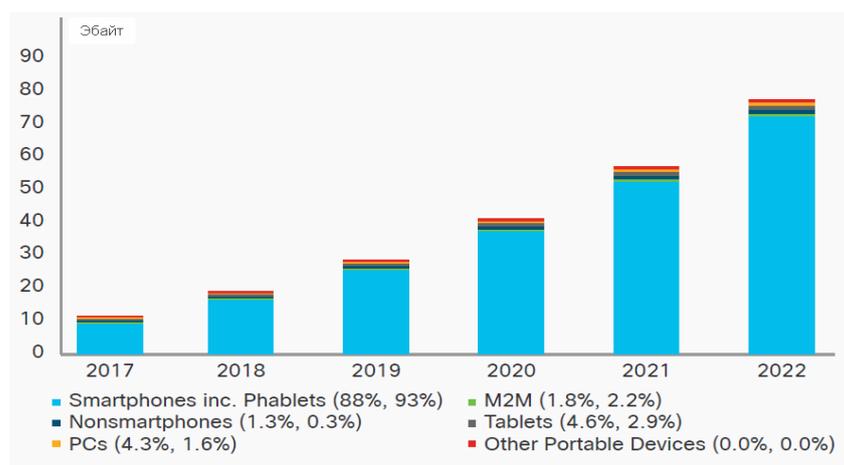


Рисунок 2.11–Прогноз изменения трафика, производимого различными устройствами (источник данных Cisco)

Однако, здесь следует учитывать, что приведенные данные отражают некоторый средний уровень в нормальной ситуации. Действительно трафик M2M, как правило имеет ограниченный объем. Хотя это справедливо, если в нем не учитывать мультимедийный трафик, производимый автоматическими устройствами (камеры видеонаблюдения и т.д.).

Даже в таком случае вероятны условия, когда трафик M2M может создать существенные проблемы для сетей связи. В первую очередь это обусловлено большим количеством устройств и алгоритмами их работы. В отличие от мультимедийного трафика, внешние факторы могут вызвать существенный всплеск трафика M2M [6].

На рисунке 2.12 приведен сравнительный прогноз изменения количества подключений различных устройств. Из этого прогноза видно, что их количество становится соразмерно количеству всех остальных устройств, подключенных к сетям связи.

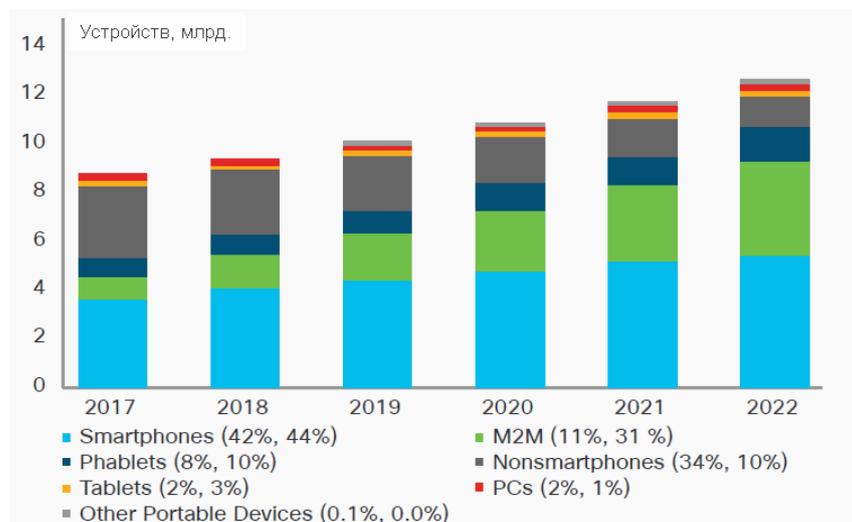


Рисунок 2.12 –Прогноз изменения подключений по видам устройств

Таким образом, имеется потенциальная возможность «массовых вызовов» со стороны M2M устройств, что ставит под угрозу качество обслуживания в сетях подвижной связи.

Поэтому выгрузка трафика устройств M2M с использованием WSN может быть эффективным инструментом обеспечения устойчивости перспективных сетей связи благодаря снижению угроз со стороны перегрузок трафиком ИВ, в частности M2M устройств.

2.6 Анализ задач построения беспроводных сенсорных сетей

Из приведенного выше анализа следует, что основными тенденциями развития сетей связи является построение перспективных сетей, которые обеспечивают рост основных показателей и обеспечивают эволюцию качества и количества предоставляемых пользователям услуг. Наряду с этим они обеспечивают обслуживания трафика, производимого такими новыми элементами инфокоммуникационной системы, как Интернет вещи и элементы тактильного Интернета.

Характерной особенностью перспективных сетей связи является использование доступных возможностей повышения их эффективности. Достигается это за счет использования достоинств гетерогенной структуры, заключающихся в возможности рационального или оптимального сочетания различных технологий. В частности, это относится к задачам обеспечения доступа к сети, а также задачам выгрузки трафика. Последние, фактически, являются задачами выбора методов обслуживания трафика.

Целью данных методов, в рамках сети в целом, является выбор оптимального (или близкого к оптимальному) способа обслуживания трафика из тех которые в данный момент доступны.

Построение и реализация таких методов должна учитывать особенности системы обслуживания, свойств производимого трафика и требований к качеству предоставления услуг.

Как было отмечено выше, WSN можно рассматривать как одну из технологий перспективной гетерогенной сети. Такие сети, потенциально способны обеспечить подключение и взаимодействие M2M устройств, а также иных устройств ИВ. В рамках перспективной гетерогенной сети применение WSN может рассматриваться как один из способов выгрузки трафика. Этот процесс может быть управляемым как, со стороны сети подвижной связи, так и со стороны WSN. В этих случаях должны быть реализованы соответствующие механизмы управления.

Основными технологиями для построения WSN, в настоящее время являются такие технологии как:

1. технологии на основе стандарта IEEE 802.15.4:
 - Wireless HART (IEC 62591);
 - 6LoWPAN (RFC4944);
 - ZigBee (ZigBee Alliance).
2. Технологии на основе стандарта IEEE 802.15.1 (Bluetooth).
3. Технологии на основе семейства стандартов IEEE 802.11:
 - IEEE 802.11ah;
 - IEEE 802.11(n) s;
 - стандарт Mobile WiMAX на базе стандарта IEEE 802.16e;
 - стандарт LPWAN.
4. Технологии на основе семейства стандартов WAN:
 - LoRa (LoRa Alliance);
 - SigFox;
 - NB-IoT;
 - Weightless P.

Последняя группа стандартов (WAN) существенно отличается от остальных тем, что они обеспечивают построение сетей значительно большего масштаба, благодаря использованию соответствующих способов формирования и обработки сигналов.

Как было отмечено выше ряд технологий, ориентированных на построение сетей масштаба (WAN) имеет значительно большую дальность связи. В ряде случаев это позволяет получить эффективные решения по организации сетей M2M для сбора и обработки данных.

Также стоит отметить, что ряд технологий поддерживает функции самоорганизации, т.е. построение сетей на основе данных устройств, с использованием их в качестве транзитных узлов для построения маршрутов доставки трафика. Это качество также может быть весьма полезно при использовании этих технологий для построения сетей масштаб (геометрические

размеры зоны обслуживания) которых превышают достижимую дальность связи.

При построении WSN решаются такие основные задачи как обеспечение связности (доступности, досягаемости), и задачи обеспечения качества обслуживания. Решение этих задач зависит от условий функционирования сети. В этом смысле наиболее существенную роль играет стабильность структуры сети. Последняя зависит от характера взаимного расположения или движения узлов сети. Если это положение изменяется, то следует рассматривать сеть с подвижными узлами.

В общем случае можно выделить следующие структуры построения WSN: звезда, дерево и связанная сеть. Также могут иметь место комбинации этих структур или использование иерархического принципа построения сети с неравнозначными узлами.

На рисунке 2.13 приведены основные структуры, используемые при организации WSN.

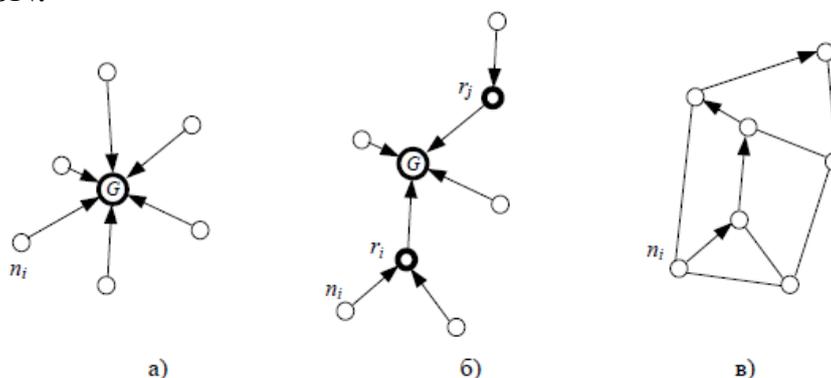


Рисунок 2.13 – Структуры построения WSN, звезда (а), дерево (б), меш (в)

Структура «звезда» является наиболее простым решением построения WSN, как правило такая структура используется для организации сбора данных, которые доставляются на шлюз G. В общем случае шлюзов может быть несколько, т.е. сеть может содержать несколько «звезд». Основной задачей построения такой структуры является выбор положения шлюза, т.к. узлы сети, положение узлов сети, как правило, уже определено положением контролируемых объектов. При наличии большого количества узлов или значительной территории требуется найти места расположения нескольких шлюзов.

Таким образом задача построение сети данной структуры в общем случае состоит в оценке количества необходимых шлюзов и точек их размещения. Решение этой задачи, очевидно, зависит от размещения узлов сети, их параметров, а также параметров трафика и пропускной способности шлюзов.

Структура «дерево» используется в случае наличия в сети одного шлюза, когда расстояния между узлами и шлюзом превышают возможную для используемой технологии дальность связи. В этом случае часть узлов сети выполняют роли транзитных узлов. Это могут быть выделенные транзитные узлы (не производящие собственного трафика), так и узлы совмещающие

функции окончных и транзитных. Очевидно, что функционирование такой сети зависит от расположения ее узлов. В общем случае, не для каждого из узлов сети может быть построен нужный маршрут.

Основной задачей построения такой сети является выбор маршрутов доставки трафика. В таком случае характеристики маршрутов, определяемые количеством транзитных участков и качество каждого из них определяют качество обслуживания трафика в сети. Решение данной задачи также зависит от размещений узлов сети, их параметров и производимого трафика. Очевидно, что в такой структуре происходит большее использование узлов сети из-за передачи транзитного трафика. Поэтому, дополнительно возникает и задача экономии энергии, связанная с распределением функций узлов.

«Меш» (связанная) структура похожа на древовидную структуру за тем отличием, что в ней направления передачи трафика могут быть любыми. В данной структуре не выделяется специального узла, выполняющего роль шлюза. Основной задачей построения такой сети также, как и в предыдущем случае является задача маршрутизации трафика.

Древовидная и меш структуры характерны для самоорганизующихся сетей, т.е. сетей, поддерживающих протоколы, обеспечивающие автоматический выбор логической структуры, т.е. определение функций узлов и маршрутов доставки трафика.

Очевидно, что в случае относительных перемещений узлов структура сети становится нестабильной. В таком случае требуется производить реконфигурацию сети (реорганизацию) при каждом изменении положений узлов. При этом незначительные изменения могут не требовать перестройки маршрутов и логики работы узлов. Поэтому, одной из задач построения такой сети является использование методов, позволяющих найти наиболее устойчивую конфигурацию сети, которая может оставаться неизменной в течение наибольшего времени. Вероятно, что выбор стабильной конфигурации может существенно повлиять на загрузку сети поиском новых маршрутов и на качество обслуживания полезного трафика.

Рассмотренные выше задачи характерны для большинства случаев построения конкретных WSN.

Разумеется, что одной из задач построения WSN является и выбор самой технологии организации радиоканала.

Для решения данной задачи необходим комплексный подход, учитывающий многие факторы, такие как количество узлов сети, ее назначение, характер распределения по территории, электромагнитная обстановка в данном диапазоне частот и электромагнитная совместимость для конкретных условий, требования к экономическим показателям.

Учитывая гетерогенную структуру перспективных сетей связи можно ожидать, что WSN будут использовать различные технологии на канальном уровне, поэтому целесообразно решать поставленные задачи в общем виде с тем, чтобы полученные методы модели и методы могли быть применены при использовании различных технологий построения WSN.

2.7 Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания

Технологии мобильной связи 5G должны значительно улучшить качество обслуживания (QoS) пользователей в условиях лавинообразно растущего объема передаваемых данных в мобильных сетях, а также увеличения количества беспроводных устройств и расширения спектра предоставляемых услуг [9].

Технологии предыдущего поколения — 4G (LTE/LTE Advanced) — поддерживают возможность гибкого управления качеством услуг на основе показателей передачи данных, разделенных на девять классов качества и охватывающих оба принципа обеспечения QoS: предоставление услуг без гарантий качества и предоставление гарантированного качества обслуживания.

К сожалению, эти достижения технологии LTE и будущие требования к 5G в области управления QoS покрывают своими возможностями цепочку «конечный пользователь — конечный пользователь» (E2E) лишь частично, а именно внутрисетевые соединения «5G — 5G», «4G — 4G». На некоторые соединения, возникающие между абонентами 5G и другими мобильными (2G/3G/4G) и фиксированными сетями, эта система управления качеством не распространяется. Отсутствие возможности согласованного и гибкого управления качеством в фиксированных IP- и мобильных сетях предыдущих поколений еще долго будет тормозом на пути к новому уровню качества обслуживания абонентов сетей 5G.

Услуги в сетях 5G. Прогнозы ведущих специалистов, занятых в международных проектах 5G, показывают, что доминирующее положение среди услуг, оказываемых в сетях 5G, будут занимать услуги передачи видео с высоким качеством разрешения — HD-видео, а также 3D-видео. Отчеты ведущих операторов связи, использующих сети 4G, показывают, что в потребляемом абонентами трафике видео услуги преобладают и останутся доминирующими в контенте сетей 5G. Так, сейчас объем трафика видео услуг составляет, по оценкам операторов, от 66 до 75% общего объема трафика в сетях 4G, включая 33% на услуги YouTube и 34% — чистое видео, а также видеонаблюдение (Video Surveillance) в сетях M2M.

Европейская стратегия развития 5G направлена еще и на то, чтобы к 2025 г. дать абоненту возможность выбирать, что подключать к своему телевизору: модем 5G или эфирную антенну с DVB-T (HDTV), а это потребует и соответствующих механизмов управления качеством. Таким образом, усилия разработчиков по совершенствованию механизмов управления качеством сосредоточатся на трафике видео и M2M-сервисов, улучшении алгоритмов контроля и создании новых методов оценки качества.

Инфраструктура сетей 5G будет строиться на основе облачных технологий — как в сетях радиодоступа (Cloud RAN) с программно-определяемой сетью (SDR), так и в базовой (опорной) сети (Cloud CN) с программно-определяемой инфраструктурой (SDN). Полная виртуализация сетевых функций (NFV), которая будет реализована в инфраструктуре 5G, охватит контроль и управление QoS, политики обслуживания и приоритизацию трафика⁸.

В сетях 5G появятся новые решения в области инфраструктуры:двигающиеся узлы (базовые станции) связи (Moving 5G Node) и движущиеся транспортные сети (Moving 5G Backhaul), что продиктовано необходимостью внедрения 5G при создании интеллектуальных транспортных сетей. Эти решения позволят оснастить международные автомобильные магистрали с мчащимися по ним со скоростью более 200 км/ч автомобилями движущимися сетями связи 5G. Построенные на базе приложений и устройств M2M для сценария V2V (Vehicle-to-Vehicle), они обеспечат безопасное движение и мультимедийный обмен данными. Роль базовых станций 5G будут выполнять автомобильные устройства 5G, объединенные в mesh-сети.

Трафик в сетях 5G. При формировании требований к QoS в сетях 5G в первую очередь следует рассматривать две ключевые модели трафика: высокоскоростной видеопоток «сервер — абонент» и Massive M2M.

Услуги передачи видео станут важнейшим стимулом развития и быстрорастущим сегментом трафика сетей 5G. И уже сейчас можно наблюдать первую волну надвигающегося цунами трафика абонентов в сетях 4G. Месячное потребление трафика передачи данных в сетях операторов 4G достигло 2,6 Гбайт, а месячное потребление трафика в сетях 5G превысит 500 Гбайт. Рост объема трафика видео услуг будет связан с внедрением новых технологий повышения качества изображения видео — от стандартного SDTV до ультравысокого UHD TV (8K), что, в свою очередь, требует обеспечения скорости передачи данных в сети до 10 Гбит/с.

Требования к качеству в сетях 5G. В процессе эволюции механизма управления качеством услуг в сетях 3GPP (GSM/UMTS/LTE) произошла миграция от управления QoS на уровне абонентских терминалов к управлению QoS на уровне сети. Данный подход сохранится и в сетях 5G. Механизмы управления QoS в сетях 5G должны обеспечивать приоритизацию трафика Video over 5G и VoIP по отношению к трафику веб-поиска и другим толерантным к временным параметрам потока данных приложениям.

Услуга передачи потокового видео без буферизации очень чувствительна к задержкам в сети, поэтому одним из важнейших параметров, определяющих требования к QoS, является суммарная задержка передачи пакетов (PDB), которая образуется на радио интерфейсе RAN и трактуется как максимальная задержка передачи пакетов с уровнем достоверности 98%. Сети 5G будут ориентированы на существенное улучшение характеристик, в том числе качества обслуживания. Поскольку принципы управления QoS при переходе от 4G к 5G будут сохранены, основные усилия разработчиков 5G должны быть сосредоточены на виртуализации сетевых функций, отвечающих за управление и контроль QoS в сети. Еще одним направлением развития сетей 5G станут алгоритмы классификации трафика, что обеспечит поддержку вызовов рынка по динамике изменения спроса на услуги и потребности абонентов, которые в перспективе должны группироваться вокруг видео услуг и услуг на основе массового применения устройств M2M в большинстве отраслей промышленности, а также в потребительском сегменте.

3 Моделирование трафика IoT/M2M в сети с протоколом MQTT

3.1 Моделирование Matlab / Simulink

В настоящее время сеть ИВ (IoT/M2M) продолжает набирать обороты в телекоммуникационных сетях, ожидается что в ближайшем будущем будет подключено и использовано очень большое количество устройств. Для надлежащего планирования и измерения сети используется модели трафика. Эти модели предназначены для точного сбора и прогнозирования свойств трафика IoT в сжатой форме. MATLAB и Simulink могут помочь в разработке, создании прототипов и развертывании приложений IoT, таких как профилактическое обслуживание, оптимизация операций, диспетчерское управление и многое другое. Сервисы управления для сетей межмашинной коммуникаций (M2M) и Интернета вещей (IoT), которые позволяют машинам обмениваться информацией друг с другом для реализации процедур и алгоритмов для автоматизированного управления производственными процессами, или передавать эту информацию без участия или с ограниченным участием человека, или с ограниченным вмешательством человека как конечного пользователя услуг M2M может предоставляться операторами сетей и услуг M2M / IoT. Целью этой главы является моделирование и анализ трафика IoT/M2M в сети с протоколом MQTT.

3.2 Протокол MQTT

Протокол MQTT – сетевой протокол, работающий поверх TCP/IP, предназначенный для обмена сообщениями между устройствами. Протокол MQTT обеспечивает стандартные основы связи для IoT, реализованные в виде архитектуры «издатель-подписчик». Протокол ориентируется на простоту в использовании, невысокую нагрузку на каналы связи, работу в условиях постоянной потери связи, лёгкую встраиваемость в любую систему. Основное предназначение — работа с телеметрией от различных датчиков, устройств, использование шаблона подписчика обеспечивает возможность устройствам выходить на связь и публиковать сообщения, которые не были заранее известны или predetermined, в частности, протокол не вводит ограничений на формат передаваемых данных. Данный протокол используется для межмашинной связи, когда пропускная способность сети ограничена и требуется небольшой объем кода. Издатель/подписчик - это хорошо зарекомендовавшая себя коммуникационная парадигма, которая позволяет издателю передавать свои сообщения любому количеству подписчиков через центральную точку связи, то есть MQTT-брокер. Каждое сообщение, отправляемое брокеру (посреднику), будет связано с определенной темой, при этом каждый клиент MQTT должен иметь уникальный ID идентификатор клиента. Брокер использует тему в качестве информации о маршрутизации, где каждый клиент, который хочет

получать сообщения, подписывается на определенную тему, и посредник будет отвечать за распространение всех сообщений, относящихся к соответствующей теме⁸. MQTT - это тематический протокол связи, в котором клиенты общаются по темам без каких-либо зависимостей между издателями данных и подписчиками. Модель издатель-подписчик показана на рисунке 3.1.

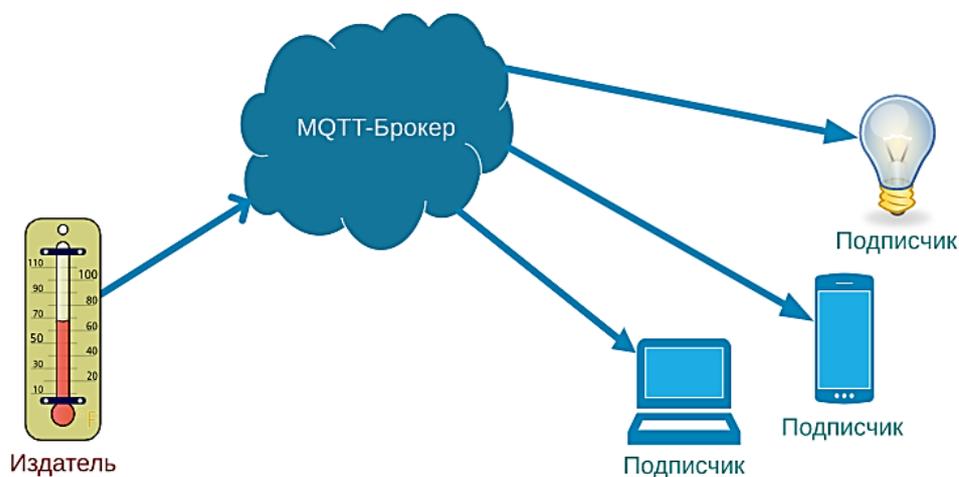


Рисунок 3.1 – Структура модели издатель/подписчик

Как правило, приложения IoT можно разделить на две группы: приложения на основе событий и на основе участия. Приложения на основе событий, где устройства IoT запускаются для сбора информации по конкретным событиям, таким как мониторинг аварийных ситуаций, безопасность наблюдения, управление трафиком, система интеллектуальной парковки и супермаркеты / розничные магазины. Для приложений, которые основаны на участии и периодическом восприятии относятся мониторинг здравоохранения, интеллектуальные сети, погодный сигнал, качество воды и воздуха. Таким образом, в нашей работе мы принимаем эти два вида приложений IoT и связанные с ними шаблоны трафика. Стоит отметить, что для каждого типа трафика требуется разное время обработки. Брокер выступает в качестве почтового отделения, MQTT и не использует адрес предполагаемого получателя, а использует строку темы под названием «Тема», и любой, кто хочет получить копию этого сообщения, подпишется на эту тему. Несколько клиентов могут получить сообщение от одного брокера (возможность «один ко многим»). Аналогично, несколько издателей могут публиковать темы для одного подписчика (от многих к одному)

Каждый клиент может производить и получать данные как путем публикации, так и подписки, то есть устройства могут публиковать данные датчиков и при этом иметь возможность принимать информацию о конфигурации или команды управления (MQTT - это протокол двунаправленной связи). Это помогает как для обмена данными, управления и контроля устройств. Благодаря архитектуре брокера MQTT устройства и приложения становятся более изолированными и более безопасными. MQTT использует шифрование TLS с именем пользователя, защищенными паролем соединениями и

дополнительными сертификатами, которые требуют, чтобы клиенты предоставили файл сертификата, который совпадает с файлом сервера. Клиенты не знают IP-адреса друг друга. В случае одного источника сбоя, программное обеспечение брокера и клиенты имеют автоматическую передачу в резервный / автоматический резервный брокер. Брокер резервного копирования также может быть настроен для распределения нагрузки клиентов между несколькими серверами на месте, облаком или комбинацией обоих. Брокер может поддерживать как стандартные MQTT, так и MQTT для совместимых спецификаций, таких как Sparkplug, может выполняться на одном сервере, в одно и то же время и с одинаковыми уровнями безопасности.

Посредник может хранить данные в виде сохраненных сообщений (необходимо подписаться с клиентом базы данных), чтобы новые подписчики на тему могли сразу получить последнее значение.

Посредник также отслеживает всю информацию о сеансе, поскольку устройства включаются и выключаются, что называется «постоянными сеансами». Основные преимущества брокера MQTT:

- устраняет уязвимые и незащищенные клиентские подключения;
- может легко масштабироваться от одного устройства до тысяч;
- управляет и отслеживает все состояния подключения клиента, включая учетные данные и сертификаты безопасности;
- снижение нагрузки на сеть без ущерба для безопасности (сотовая или спутниковая сеть).

MQTT отличается тем, что публикация-подписка основана на событиях и отправляет сообщения клиентам. Для этого требуется дополнительная центральная точка связи (известная как брокер MQTT), которая отвечает за рассылку всех сообщений между отправителями и законными получателями. Каждый клиент, который публикует сообщение для брокера, включает в сообщение тему. Тема является маршрутной информацией для брокера. Каждый клиент, который хочет получать сообщения, подписывается на определенную тему, и брокер доставляет все сообщения с соответствующими темами для клиента. Поэтому клиенты не должны знать друг друга, они общаются только по теме. Эта архитектура позволяет масштабируемые решения без зависимостей между производителями данных и потребителями данных.

3.3 Модель системы

Моя система рассматривает сценарий применения MQTT, показанный на рисунке 3.2, в котором датчики на основе IoT собирают определенную информацию, а затем передают ее на соседние коммутаторы вплоть до брокера. Предполагается, что сетевые коммутаторы достаточно умны, чтобы программировать их удаленно и действовать в соответствии с изменениями трафика. Это предположение может соответствовать новым появляющимся технологиям, таким как программно-определяемые сети SDN. Посредник

распространит данные о заинтересованности в приложениях подписки ($A_i, i = 1, 2, \dots, m$) и информацию об управлении трафиком для коммутаторов на пути, чтобы заблокировать или позволить клиентам MQTT снизить нагрузку на сеть. Два типа приложений IoT развертываются с приходом пакетов с детерминированными (приложениями на основе участия) и случайными (приложениями на основе событий)⁹. Таким образом, воспринимающая информация, то есть поступление пакета данных IoT, моделируется как фиксированным, так и экспоненциальным временем между приходами со скоростями $\gamma_m, m = 1, 2 \dots, n, n + 1 \dots, M$.

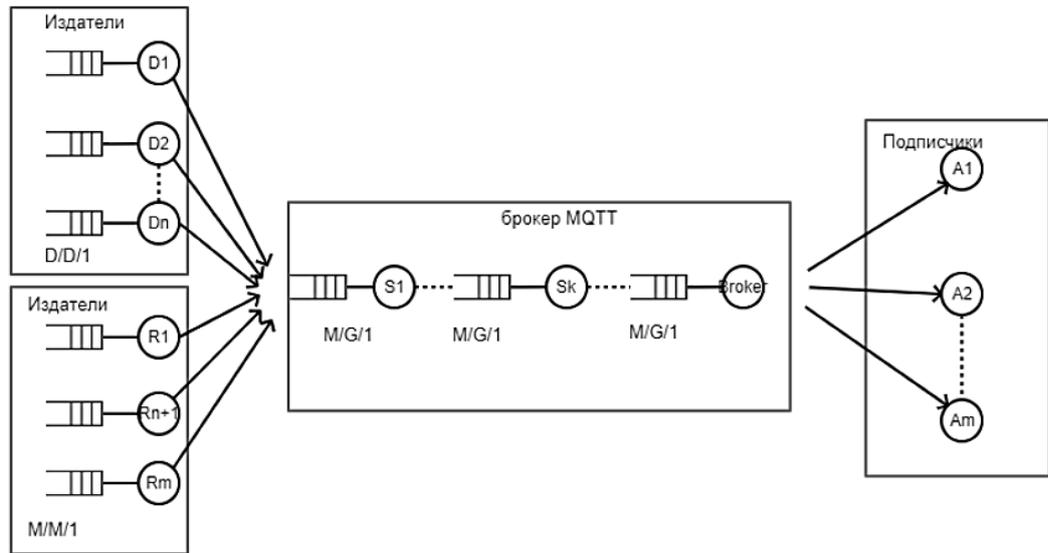


Рисунок 3.2 – Структура системы

Детерминированное приложение на стороне издателя имеет скорость поступления

$$\lambda_D = \sum_{i=1}^n \gamma \quad (3.1)$$

в то время как случайные поступления пакетов от основанных на событиях издателей предполагаются распределенными по закону Пуассону со скоростью

$$\lambda_D = \sum_{j=n+1}^M \gamma_j \quad (3.2)$$

Я использовала две приоритетные очереди с экспоненциально распределенной скоростью поступления пакетов и произвольным распределением для скорости обслуживания. Следовательно, промежуточный узел и коммутаторы ретрансляции моделируются как одиночные серверные средства с очередью M/G/1, которые отвечают за пересылку данных IoT

подписанным клиентам. Из-за распределенной природы устройств IoT брокер является узким местом в нашей сети. Нужно стремиться ограничить количество пакетов, поступающих в центральный брокер, чтобы предотвратить перегрузку сети. Посредник работает в очередях без приоритетов M/G/1 с экспоненциально распределенным временем между поступлениями λ и средним временем обслуживания X . Считается, что случайные пакеты (то есть трафик IoT на основе событий) имеют более высокий приоритет. Частота поступления пакетов (скорость трафика) и общее количество издателей (объем трафика) являются двумя важными факторами, снижающими нагрузку на сеть. Эта модель экспериментально поддерживает и анализирует ряд предыдущих показателей скорости поступления пакетов в IoT-брокере, чтобы определить достоверность, при которой повышенная интенсивность поступления (λ) находится в определенном для приложения диапазоне или нет. В этом случае скорость пакетов не должна превышать максимальную скорость прихода λ_{max} . С другой стороны, максимально допустимые издатели M_{max} должны быть определены в соответствии с требованиями QoS. Таким образом, вероятность блокировки устройства IoT для предотвращения высокой сетевой нагрузки определяется выражением:

$$P_{\text{блокировка}} = P_r\{\lambda > \lambda_{max}; M > M_{max}\} \quad (3.3)$$

Конечная цель - проанализировать метод предотвращения высокой нагрузки трафика в сети IoT, одновременно сводя к минимуму негативное влияние на пользователей системы. Основные задачи заключаются в следующем:

- 1) рассчитать максимальную частоту поступления пакетов, которая полностью отражает внутренние характеристики узла-издателя;
- 2) рассчитать максимальный интервал выборки для расчета текущей скорости пакетов, чтобы общая задержка в очереди должна соответствовать заранее заданному порогу QoS;
- 3) рассчитать максимальное количество издателей, которое может обслуживать система, не превышая некоторых ограничений по задержке.

Чтобы решить поставленные задачи в сети IoT, я анализирую модель очередей для сети IoT-MQTT и оцениваю механизм обнаружения на основе скорости поступления собранного трафика и количества пользователей до того, как произойдет высокая нагрузка на сеть. Рассмотрим аналитические выражения для основных измерений производительности QoS, которые могут зависеть от высокой сетевой нагрузки с точки зрения времени отклика системы, задержки в очереди и общего количества пакетов, поступивших в центральный брокер.

Обозначения, применяемые в данной работе:

M – количество MQTT издателей (устройств ИВ);

M_{max} – максимальное количество MQTT издателей которые могут обслуживаться системой;

T_{QoS} – предопределенный порог задержки для QoS, с.;

Q – общая задержка в очереди, с.;
 λ – скорость поступления пакетов, пакеты/с.;
 λ_{max} – максимальная скорость поступления пакетов, пакеты/с.;
 X – среднее время обслуживания у брокера, с.;
 X_2 – вторичное время обслуживания у брокера, с.;
 R – среднее остаточное время, с.;
 W – среднее время ожидания, с.;
 T – среднее время ответа, с.;
 N – среднее количество пакетов;
 I – интервал выборки для расчета текущей максимальной скорости поступления пакета, с.

Провела анализ двух типов пакетов данных: случайных (R - random) и детерминированных (D - deterministic) пакетов с различными классами приоритетов. Для каждого класса приоритета $p \in \{R, D\}$ пакеты поступают согласно пуассоновскому закону распределения с $\lambda = \lambda_D + \lambda_R$, время обслуживания имеет среднее значение X , а второй момент - X_2 . Для достижения цели сначала отмечу, что среднее время ожидания пакетов с высоким приоритетом (то есть случайных пакетов), обозначенное как W_R , определяется как:

$$W_R = \frac{R}{1 - \rho_R} \quad (3.4)$$

где $\rho_R = \lambda_R \cdot X_R$ - доля времени, в течение которого брокер обслуживает трафик с высоким приоритетом или простым языком коэффициент загрузки канала обслуживания, а R - остаточное время. Это остаточное время может быть записано как:

$$R = \frac{1}{2} \left((\rho_R + \rho_D) \cdot \frac{X_2}{X} \right) \quad (3.5)$$

Выражения среднего времени ожидания, обозначенные как W_D , для пакетов с более низким приоритетом (то есть детерминированных пакетов) могут быть выражены как:

$$W_D = \frac{R}{(1 - \rho_R)(1 - \rho_R - \rho_D)}, \quad (3.6)$$

где нагрузка ρ_D определяется как $\rho_D = \lambda_D \cdot X_D$. Общее время пакетов в классе $p \in \{R, D\}$, проведенных в системе, составляет:

$$T = W + X \quad (3.7)$$

Общее количество пакетов для каждого класса определяется как:

$$N = \lambda \cdot W \quad (3.8)$$

Собирая и экспериментально анализируя достаточно большое количество исторических значений прихода λ_{max} для каждого типа трафика у брокера MQTT, можно добиться чистого разделения между устройствами IoT. Предложенная модель повышает быстродействие брокера IoT при любых превышениях пакетов. При обнаружении каких-либо лишних запросов от одного или нескольких издателей MQTT брокер соответствующим образом реагирует на такой объемный трафик и останавливает ненадлежащее поведение устройств IoT. Ожидается, что при большом количестве пакетов, вызванном допустимым пакетом, максимальное значение последовательного λ в коротком временном интервале будет близко к λ_{max} , поскольку высокое использование сетевых ресурсов сохраняется только в течение короткого периода времени. Большее значение λ можно считать тем, что событие более вероятно из-за неправомерной нагрузки трафика. Для поддержки предварительно определенного QoS общая задержка, испытываемая способом обнаружения, не должна превышать предварительно определенный порог T_{QoS} . Следовательно, кумулятивная задержка может быть напрямую связана с интервалом выборки, обозначенным I , для сбора и вычисления текущего максимума λ . Таким образом, если мы допустим, чтобы Q была случайной величиной, которая обозначает общую задержку в очереди, то максимально допустимый интервал выборки, который учитывает ограничение задержки QoS, определяется как:

$$I = \arg \max\{Q \leq T_{QoS}\}, \quad (3.9)$$

$$Q = W_R + W_D \quad (3.10)$$

Кроме того, целевая система может быть заполнена запросами от большого количества распространенных издателей IoT. Таким образом, существует жесткое ограничение на количество издателей, которые может обслуживать каждая система. Этот предел может быть определен общими ограничениями задержки T_{QoS} , наложенными требованиями приложения. Затем максимально допустимое количество издателей, которых может обслуживать система как в формуле (3.11), где M_{max} - это максимальное количество издателей IoT для приложений обоих типов (на основе участия и на основе событий).

$$M_{max} = \frac{T_{QoS}}{Q} \quad (3.11)$$

Передавая информацию об управлении трафиком (λ_{max} и M_{max}) на границы сети, можно избежать высокой нагрузки на сеть и контролировать объемный трафик IoT.

Рассматриваются две категории опубликованных приложений с постоянным и пуассоновским трафиком данных.

Теория массового обслуживания, или очередей (англ. queueing theory), — раздел теории вероятностей, целью исследований которого является рациональный выбор структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и выходящих из неё, длительности ожидания и длины очередей. Этот подход применяется к различным типам задач, в частности, для проектирования сетевой системы. Существует некоторая модель массового обслуживания, которая может быть реализована в сетевой системе, которая обычно делится на детерминистическую и вероятностную модель. Я использовала системы массового обслуживания M/M/1 (приложение А) и M/G/1 (приложение Б), в которой прибытия пакетов определяются законом Пуассона со скоростью λ .

Для моделирования выбран следующий пример сети Интернета вещей. В трех городах установлены устройства IoT, снимающие данные о погоде, где в каждом городе имеется 1000 устройств IoT, которые генерируют данные с постоянной скоростью один пакет каждые 15 миллисекунд. Также было смоделировано четыре автомобильные стоянки с 1000 IoT-датчиками, которые генерируют пуассоновский трафик со средней скоростью поступления одного пакета каждые 64 миллисекунды. Здесь два фактора сыграли главную роль в предотвращении высокой сетевой нагрузки: максимальная скорость поступления издателя λ_{max} и общее количество узлов издателя M_{max} .

Модель системы показана Приложениях А и Б.

3.4 Оценка эффективности предложенной модели

Получены результаты моделирования, связанные с максимальной скоростью прибытия λ_{max} . По этой причине моделирование выполняется в течение относительно длительного периода времени, чтобы иметь возможность поддерживать ряд временных показателей прибытия. Из рисунка 3.3 можно заметить, что скорость трафика интеллектуальной парковки находится в диапазоне от 0 до 9 пакетов/миллисекунд, в то время как приложение для передачи метеорологического сигнала имеет максимум 8 пакетов/миллисекунду.

MQTT-брокер ведет список максимально допустимой скорости поступления для каждого клиента и сообщает политику трафика (максимальную скорость поступления) программируемым коммутаторам точки входа. Коммутаторы постоянно собирают статистику и обновляют свои решения в зависимости от состояния сети и потребностей брокера. В этот момент, если частота поступления конкретного MQTT-клиента (устройства IoT) в интервале выборки 100 миллисекунд выше максимальной частоты поступления с вероятностью 98%, тогда этот клиент будет заблокирован для устранения

нагрузки на сеть. Реакция системы с и без нашего метода ID IoT была смоделирована.

Запустила симуляцию в течение 100 секунд. На 50-й секунде один город и две автостоянки начинают отправлять с более высокой скоростью один пакет каждые 1,5 миллисекунды и один пакет каждые 6,4 миллисекунды, соответственно. Такого рода изменения в скорости передачи данных могут быть сделаны преднамеренно или нет. Наша система определила переоцененные устройства и реагирует только на них, сохраняя поведение системы стабильным для других обычных пользователей. Как показано в рисунках 3.4 и 3.15, средняя загрузка сервера MQTT составляет 0,13 в нормальных условиях, но при загрузке сети она увеличивается до 0,39. Из этого можно сделать вывод, что в условиях высокой сетевой нагрузки сервер чрезвычайно обременен запросами большого объема, что приводит к увеличению использования. В какой-то момент сервер в конечном итоге достигает очень высокого уровня использования и не может принимать запросы от клиентов системы. В отличие от этого, когда рассматривается наш метод, MQTT-брокер может идентифицировать клиентов с ненормальным поведением точно по их идентификатору клиента и поддерживать систему в стабильном состоянии, чтобы отвечать другим клиентам. Это дает четкое представление о преимуществах использования мощности протокола MQTT IoT и метода ID IoT.

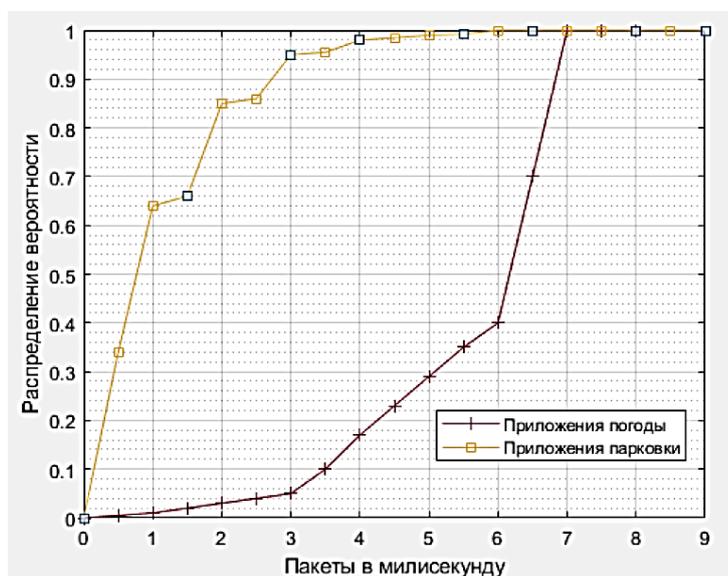


Рисунок 3.3 – Распределение скорости поступления пакетов

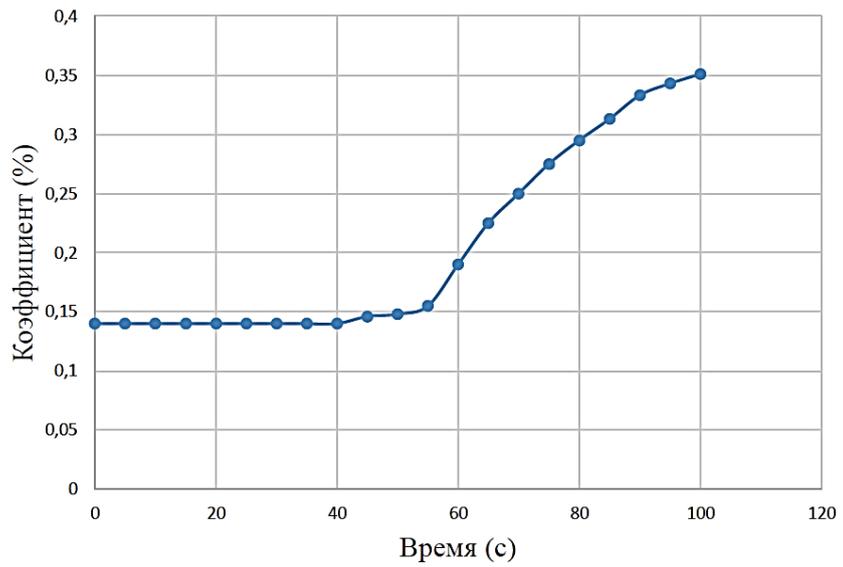


Рисунок 3.4 – Моделирование коэффициента использования MQTT брокера без идентификатора IoT

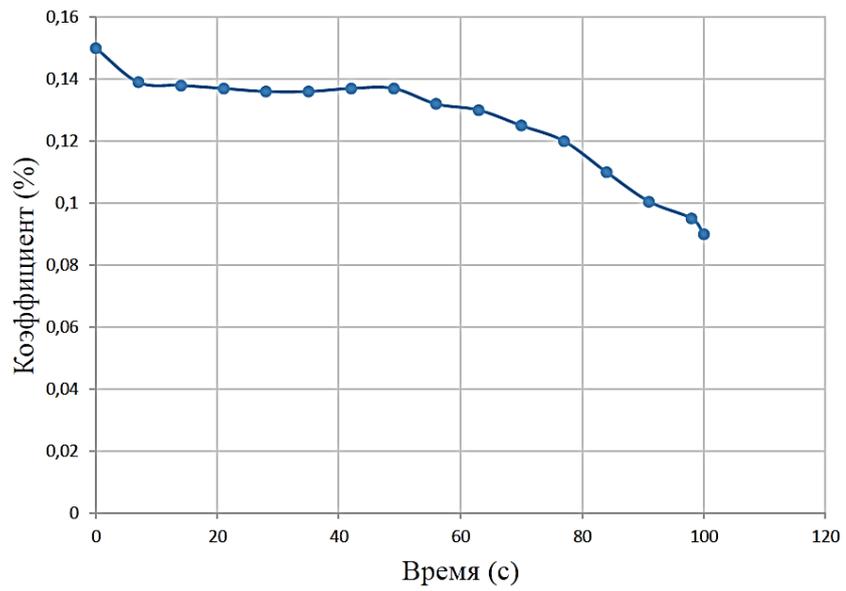
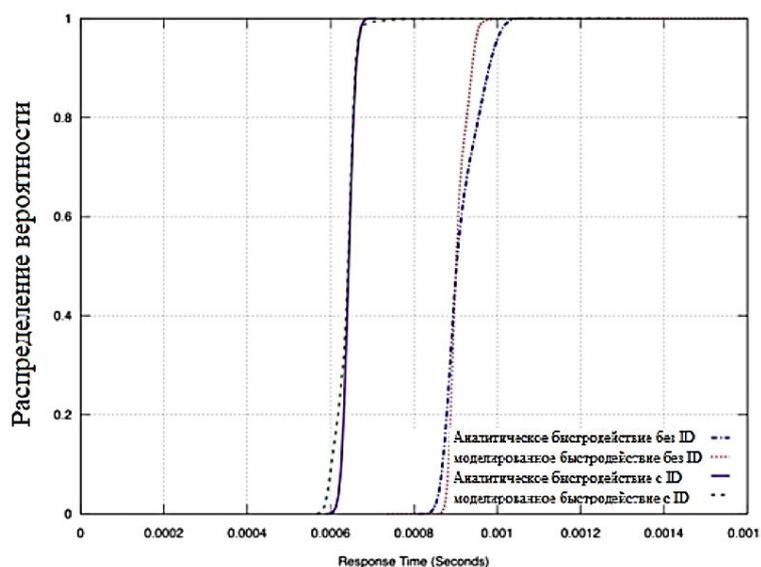
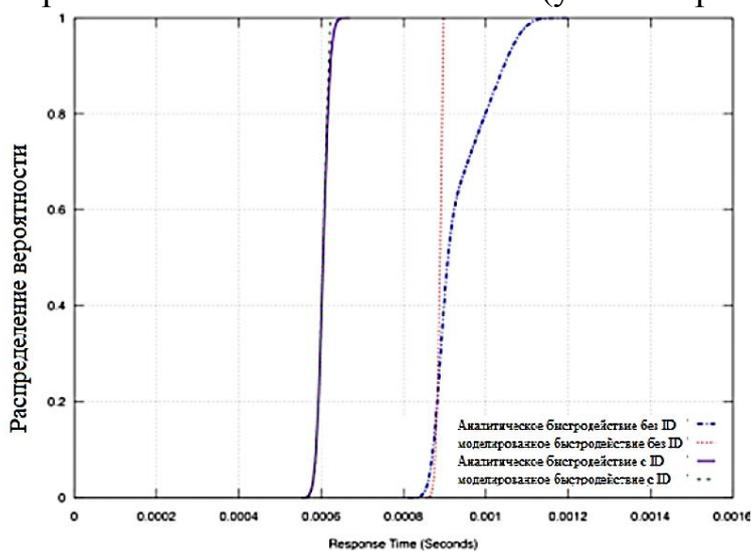


Рисунок 3.5 – Моделирование коэффициента использования MQTT брокера с идентификатором IoT



Для приложений на основе событий (умная парковка)

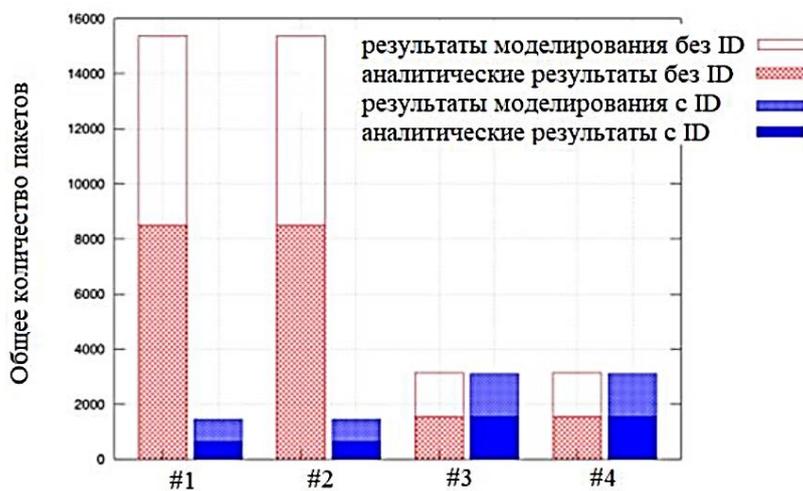


Для приложений на основе участия (сигнал погоды)

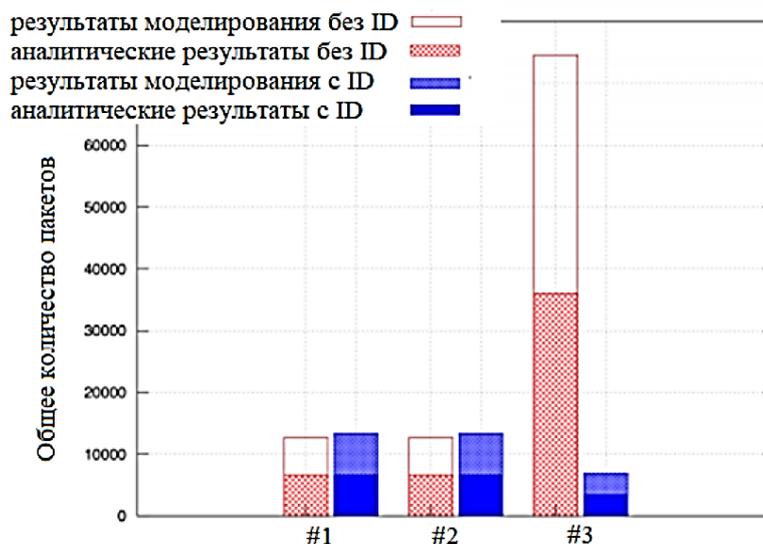
Рисунок 3.6 – Время отклика системы

Загрузка сети просто задерживает или препятствует обработке пакетов данных для законных соединений; такие дополнительные задержки ухудшают QoS трафика текущих соединений. ID IoT должен быть надежным и эффективным для улучшения производительности QoS для трафика, когда он подвергается такой угрозе. Чтобы проверить это дополнительно изучили правильность аналитических выражений для T (то есть время отклика в одиночных приоритетных очередях M/G/1). Как показано на рисунке 3.7, предлагаемый метод уменьшил время отклика системы и предотвратил снижение производительности QoS, заблокировав переоцененные узлы. Приложение парковки на рисунке 3.6, имеет среднее время отклика 0,91 миллисекунды при высокой нагрузке на сеть без использования нашей методики и в среднем 0,64 миллисекунды с методом ID IoT. Применение погодного сигнала на рисунке имеет почти одинаковую реакцию в среднем 0,65 миллисекунды и 0,93 миллисекунды с и без ID IoT соответственно. Количество

заблокированных пакетов - это еще одна важная мера, и в нужное время следует принять определенное решение, чтобы предотвратить переполнение системы огромным количеством бесполезных пакетов данных. Рассматривая общее количество пакетов N для каждого клиента, очевидно, можем показать преимущество нашего метода.



а)



б)

Рисунок 3.7 – Общее количество пакетов

а) для приложений на основе событий (умная парковка)

б) для приложений на основе участия (сигнал погоды)

В обычной ситуации на рисунке 3.7 (а) можно заметить, что каждая автостоянка участвует примерно в 1556 пакетах, а когда скорость передачи данных увеличивается, неправильно ведущие автостоянки отправляют около 8513 пакетов. В нашем предлагаемом способе и до того, как загрузка произойдет,

первая и вторая автостоянка отправят брокеру только 648 пакетов, затем брокер обнаружил увеличение скорости поступления и запретил им доступ к системе. На рисунке 3.7 (б) показана та же самая ситуация, которая произошла с приложением сигнала погоды. ID IoT предотвращает около 35000 ненужных пакетов из третьего города, которые могут быть ответственны за нарушение общего качества системы.

Интервал выборки играет важную роль для поддержания предопределенных ограничений QoS. Когда объем трафика увеличился, наша система по-прежнему устойчива к экстремальным случаям (новый коэффициент прибытия $\lambda_{new} = 5\lambda$) и точно идентифицирует переоцененные устройства по их идентификатору клиента с некоторыми дополнительными затратами в очереди. Эта задержка в очереди может быть минимизирована путем оптимизации интервала выборки, используемого для расчета текущей частоты поступления, как показано на рисунке 3.8. При интервале выборки в 100 миллисекунд задержка в очереди составляла около 1 миллисекунды, которую можно дополнительно уменьшить до 0,2 миллисекунды, уменьшив Интервал выборки до 20 миллисекунд.

Оптимизация интервала выборки должна добавить другое измерение, чтобы существенно снизить накладные расходы производительности. Выбирается оптимизацию интервала выборки как будущую работу. Общее количество издателей IoT должно контролироваться для поддержания стабильности системы и предотвращения загрузки сети IoT на ранних этапах. Любая система может обслуживать указанное количество пользователей. Когда количество устройств IoT увеличится выше адекватного предела, появится ухудшение качества обслуживания. Таким образом, проводится простой эксперимент, чтобы измерить задержку в очереди, поскольку количество устройств IoT (для обоих приложений) увеличилось в 2 раза, 4 раза, 6 раз, 8 раз, 10 раз и 12 раз. Как показано на рисунке 3.9, задержка в очереди составляла около 0,42, 0,5 и 0,68 миллисекунды для 2х, 4х и 6х соответственно. Задержка продолжает увеличиваться на порядок секунд, пока не достигнет 7 секунд для (12х), что совершенно неприемлемо для большинства приложений. Следовательно, периодический мониторинг системы на границах сети поможет достичь требований QoS сети. Как видно из вышесказанного, результаты нашего моделирования близко соответствуют аналитическим результатам для всех показателей производительности.

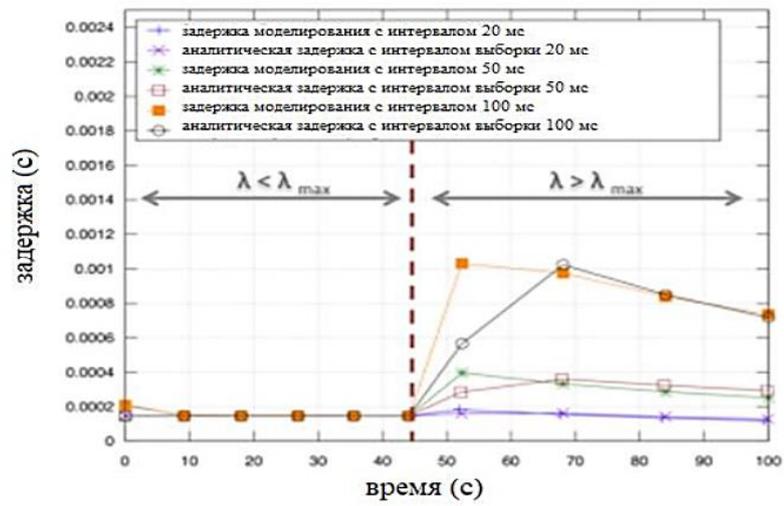


Рисунок 3.8 – Задержка в очереди против интервала выборки

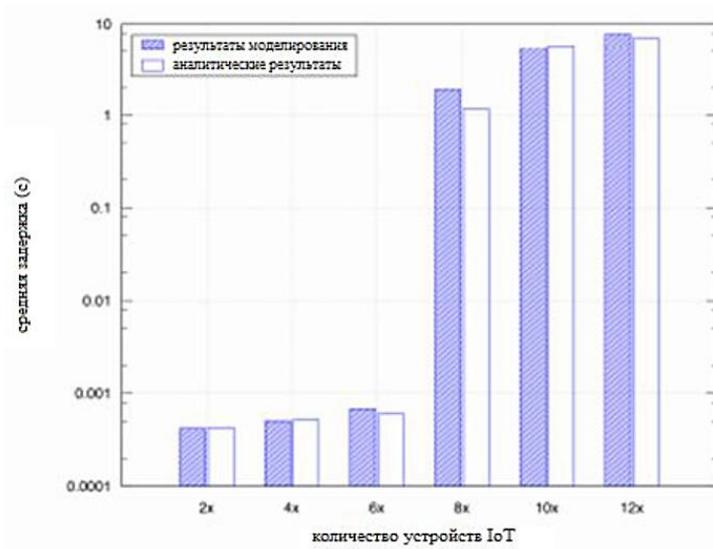


Рисунок 3.9– Задержка в очереди против количества IoT-издателей

Перечень принятых сокращений, терминов

LTE – Long Term Evolution
VR – Virtual Reality
IoT – Internet of Things
ИБ – Интернет вещей
M2M – Machine to machine
GPRS – General Packet Radio Service
EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution
HSPA – High Speed Packet Access
MIMO – Multiple Input Multiple Output
D2D – Device-to-device
WPAN – Wireless Personal Area Network
WLAN – Wireless Local Area Network
Wi-Fi – Wireless Fidelity
WMAN – Wireless Metropolitan Area Network
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access
WWAN – Wireless Wide Area Network
3GPP/3GPP2 – 3rd Generation Partnership Project 2
GSM – Groupe Special Mobile
eMBB – enhanced MBB
ULLRC – Ultra Low Latency Reliable Communication
Massive IoT – Massive Internet of Things
IIoT – Industrial Internet of Things
IMT2020 – International Mobile Telecommunications-2020
RAT – Remote Access Trojan
NR – New Radio
ЖКХ – Жилищно-коммунальное хозяйство
UHD – Ultra High-Definition
API – Application Programming Interface
AR – Augmented Reality
AI – Artificial Intelligence
MCA – Mission Critical Communication
DV – Driverless Vehicles
ADAS – Advanced Driver – Assistance Systems
NFV – Network Function Virtualization
SDN – Software Defined Networking
QoS – Quality of Service
IaaS – Infrastructure as a Service
MVNO – Mobile Virtual Network operator
ЦОД – Центр(хранения) обработки данных
CSI – Customer satisfaction index
IP – Internet Protocol

QR – код - Quick Response code
СПС – Современные и перспективные сети связи
LoRaWAN – Low Power Wide Area Network
E2E – End-to-end
PDB – Packet Delay Budget
RAN – Radio Access Network
DVB – T – Digital Video Broadcasting — Terrestrial
HDTV – High Definition Television
SDR – Software Defended Radio
NFV – Network Function Virtualization
V2V – Vehicle-to-Vehicle
SDTV – Standard-definition television
UHDTV – Ultra-High-Definition television
UMTS – Universal Mobile Telecommunications System
VoIP – Voice over Internet Protocol
MQTT – Message queuing telemetry transport
TCP – Transmission Control Protocol
ID – Identifier
TLS – Transport Layer Security

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе был выполнен анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G.

Среди выделенных перспективных направлений выбраны направления развития Интернета Вещей и Тактильного Интернета. На основе статистического анализа основных тенденций установлено, что данные направления будут актуальны в обозримой перспективе развития сетей связи.

Анализ тенденций развития перспективных сетей связи показал, что одной из основных особенностей сетей 5G является использование достоинств гетерогенной структуры, заключающихся в возможности «выгрузки» трафика в сети, использующие различные технологии доступа. Для этого, в частности, планируется использовать WLAN, построенные на стандартах WiFi, а также прямые соединения между устройствами (D2D).

Результаты анализа показали, что элементом, обеспечивающим выгрузку трафика в перспективной гетерогенной сети связи, могут быть беспроводные сенсорные сети. Использование WSN для выгрузки трафика ИВ позволит повысить устойчивость сети в целом к перегрузкам данным видом трафика.

Проведен анализ роли и задач построения беспроводных сенсорных сетей в перспективных сетях связи. Результаты анализа показали, что беспроводные сенсорные сети в перспективных сетях связи могут быть и являются одной из составляющих, позволяющей решать задачи в рамках развития Интернета вещей и тактильного Интернета.

Полученные результаты показывают актуальность задач построения беспроводных сенсорных сетей и задач обслуживания трафика в таких сетях. Рассматривая WSN как один из элементов гетерогенной структуры перспективных сетей связи необходимо иметь методы анализа и управления трафиком, производимым в таких сетях.

Также был представлен метод мгновенного обнаружения и предотвращения загрузки сети в сетях IoT, поддерживаемых моделью публикации/подписки (протокол MQTT). Предложенная схема направлена на предотвращение массового трафика, генерируемого устройствами IoT.

Модель собирает и анализирует исторические коэффициенты поступления трафика и позволяет центральному брокерскому узлу реагировать в соответствии с собранными коэффициентами поступления и текущим числом узлов публикатора в случае возникновения события высокого спроса. Анализ и моделирование очереди M/G/1 были использованы для проверки предложенной модели. Сравнивается наш механизм с обычным случаем, чтобы оценить полученные результаты. Результаты моделирования показали, что понимание базовых шаблонов трафика может помочь определить высокую нагрузку на сеть на ранней стадии.

Полученные в работе результаты могут применяться при анализе обслуживания, а также при прогнозировании M2M трафика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Что такое мобильные сети 1G, 2G, 3G... Электронная версия: <https://vseplus.com/article/cto-takoe-mobilnye-seti-1g-2g-3g-756>

2 Олег Павлюк. Что такое 5G, как он вообще работает, и почему люди поджигают вышки? Отвечаем на вопросы. <https://hromadske.ua/ru/posts/cto-takoe-5g-kak-on-voobshe-rabotaet-i-pochemu-lyudi-podzhigayut-vyshki-otvechaem-na-voprosy>

3 Тихвинский В.О. Возможности технологии 5G для создания сетей широкополосного беспроводного доступа в малых и средних населенных пунктах. Региональный семинар МСЭ для стран СНГ «Оптимальные решения по обеспечению широкополосного доступа в малых и средних населенных пунктах» г. Москва, Российская Федерация, 17-19 февраля 2015 года.

4 Обзор сервисов device-to-device (D2D) в стандартах 3GPP
<https://itechinfo.ru/content/%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80-%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%B2-device-device-d2d-%D0%B2-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%85-3gpp>

5 Довгаль Виталий Анатольевич. Интернет Вещей: концепция, приложения и задачи. В электронном виде: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-kontseptsiya-prilozheniya-i-zadachi>

6 Ф. Боккарди, Р. Хелт-мл., А. Лозано, Т. Марцетта, П. Поповски. Пять прорывных технологий 5G. Часть 2. Интеллектуальные устройства и встроенная поддержка M2M // Беспроводные технологии №4 '16.

7 Кузнецов К. А., Мутханна А. С. А., Кучерявый А. Е. Тактильный Интернет и его приложения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 2.

8 Полевич С.С., Симонина О.А. Алгоритмы выделения канального ресурса в гетерогенной сети радиодоступа нового поколения // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 3.

9 В. О. Тихвинский, Г. С. Бочечка. Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания. «ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ», № 11, 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Моделирование систем М/М/1 в Matlab / Simulink

М/М/1 - система массового обслуживания (СМО), в которой прибытия пакетов определяются законом Пуассона со скоростью λ , а время обслуживания пакетов имеет экспоненциальное распределение с интенсивностью μ . Один сервер обрабатывает содержимое пакетов по одному с дисциплиной «первым пришел - первым обслужен». Когда обслуживание завершено, пакет покидает очередь, и количество пакетов в системе уменьшается на единицу. Буфер имеет бесконечный размер, поэтому нет ограничений на количество пакетов, которые он может содержать.

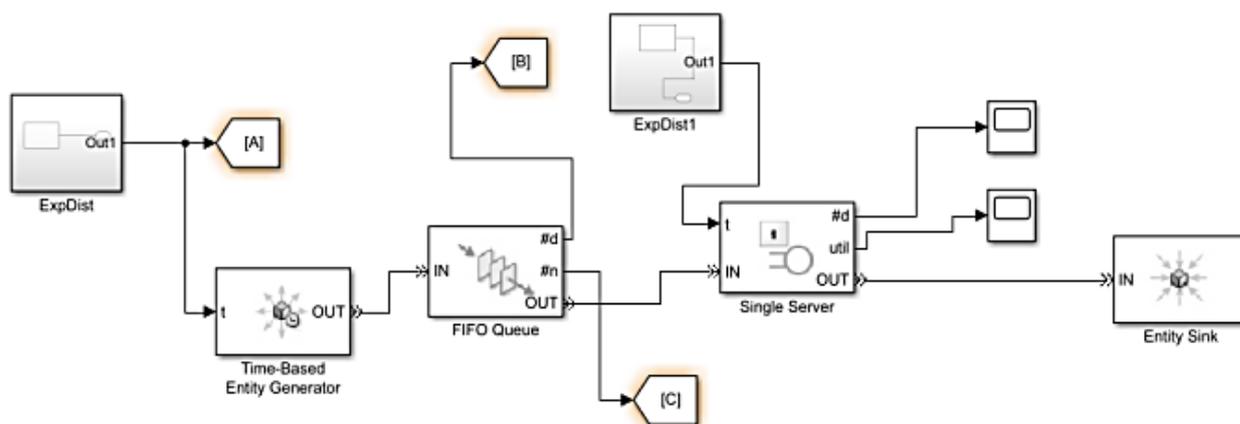


Рисунок А.1 – Имитационная модель СМО вида М/М/1

В модели массового обслуживания М/М/1, рисунок А.1, количество пакетов (N) в системе в стационарном состоянии формулируется следующим уравнением:

$$N = \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad (\text{A. 1})$$

где $\rho = \lambda / \mu$ - коэффициент использования системы.

Более того, согласно теореме Литтла, среднее число пакетов в очереди (N_q) может быть сформулировано как $N_q = \lambda W$. В качестве альтернативы, N_q может быть определен следующим образом:

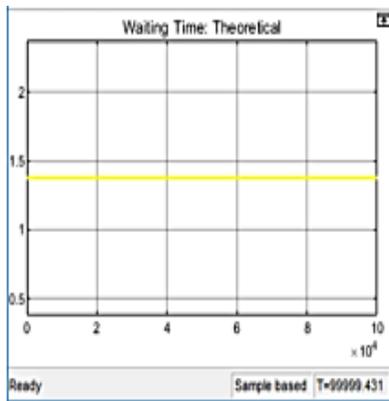
$$N_q = N - \rho = \frac{\rho}{1 - \rho} - \frac{\rho \cdot (1 - \rho)}{1 - \rho} = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} \quad (\text{A. 2})$$

Продолжение приложения А

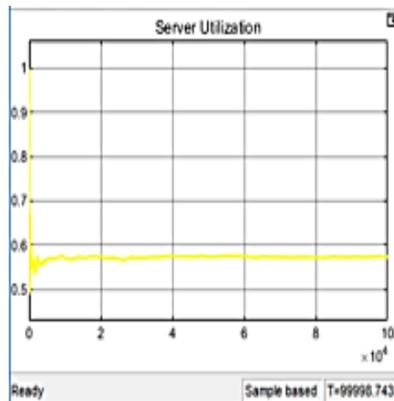
Следовательно, время ожидания пакета (W) может быть найдено на основе следующим образом:

$$W = \frac{N_q}{\lambda} = \frac{\rho^2}{\lambda(1 - \rho)} = \frac{\rho}{\mu - \lambda} \quad (\text{A.3})$$

Моделирование модели M/M/1 изображено на рисунке А.2. Интенсивность поступления пакетов по закону Пуассона представляет коэффициент усиления сигнала скорости с коэффициентом умножения «1». Выходной сигнал является входом для основанного на времени генератора пакетов. Экспоненциальное распределение скорости обслуживания представлено сигналом скорости с коэффициентом умножения «1». Результаты сравнения использования системы и очереди системы времени ожидания между теоретическим и имитационным моделированием изображены на рисунке А.2 с использованием $\lambda = 0,5$ и $\mu = 0,5$.



а)



б)



в)

Рисунок А.2 – Результат сравнения M/M/1 от SimEvents

- (а) Теоретический результат времени ожидания системной очереди;
- (б) Результат моделирования использования системы;
- (в) Результат моделирования времени ожидания системной очереди.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Моделирование M/G/1

Система массового обслуживания M/G/1 представляет собой одно серверную систему, куда клиенты приходят в соответствии с законом Пуассона со скоростью λ , а ее функция распределения составляет:

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0 \quad (\text{Б.1})$$

Время обслуживания является независимым и идентично распределяется с помощью общей функции распределения. Модель M/G/1 показана на рисунке 3.6.

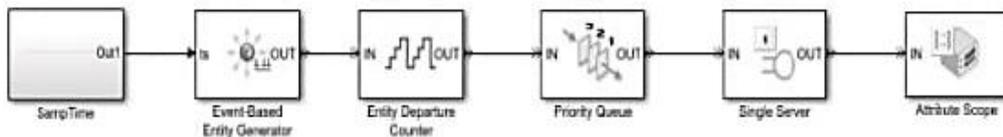


Рисунок Б.1 – Модель M/G/1

Средняя скорость обслуживания обозначается через μ , функция распределения времени обслуживания:

$$B(x) = P\{x < S\} \quad (\text{Б.2})$$

где S - случайная величина, описывающая время обслуживания, а ее функция плотности:

$$B(x)dx = P\{x < S \leq x + dx\} \quad (\text{Б.3})$$

Если $B(x)$ является экспоненциальным распределением, имеем систему массового обслуживания M/M/1 или, если времена обслуживания постоянны, то получаем систему массового обслуживания M/D/1. Это особые случаи систем массовых обслуживаний M/G/1.

Чтобы проверить предложенную нами модель, выполняется моделирование с использованием MATLAB/Simulink, где топология сети представлена на рисунке Б.2. Основной узел MQTT моделируется как одна очередь M/G/1 с обычно распределенным временем обслуживания 2000 пакетов в секунду. Узлы издателя подключены к брокеру MQTT и рассматриваются две категории опубликованных приложений с постоянным и пуассоновским трафиком данных.

Продолжение приложения Б

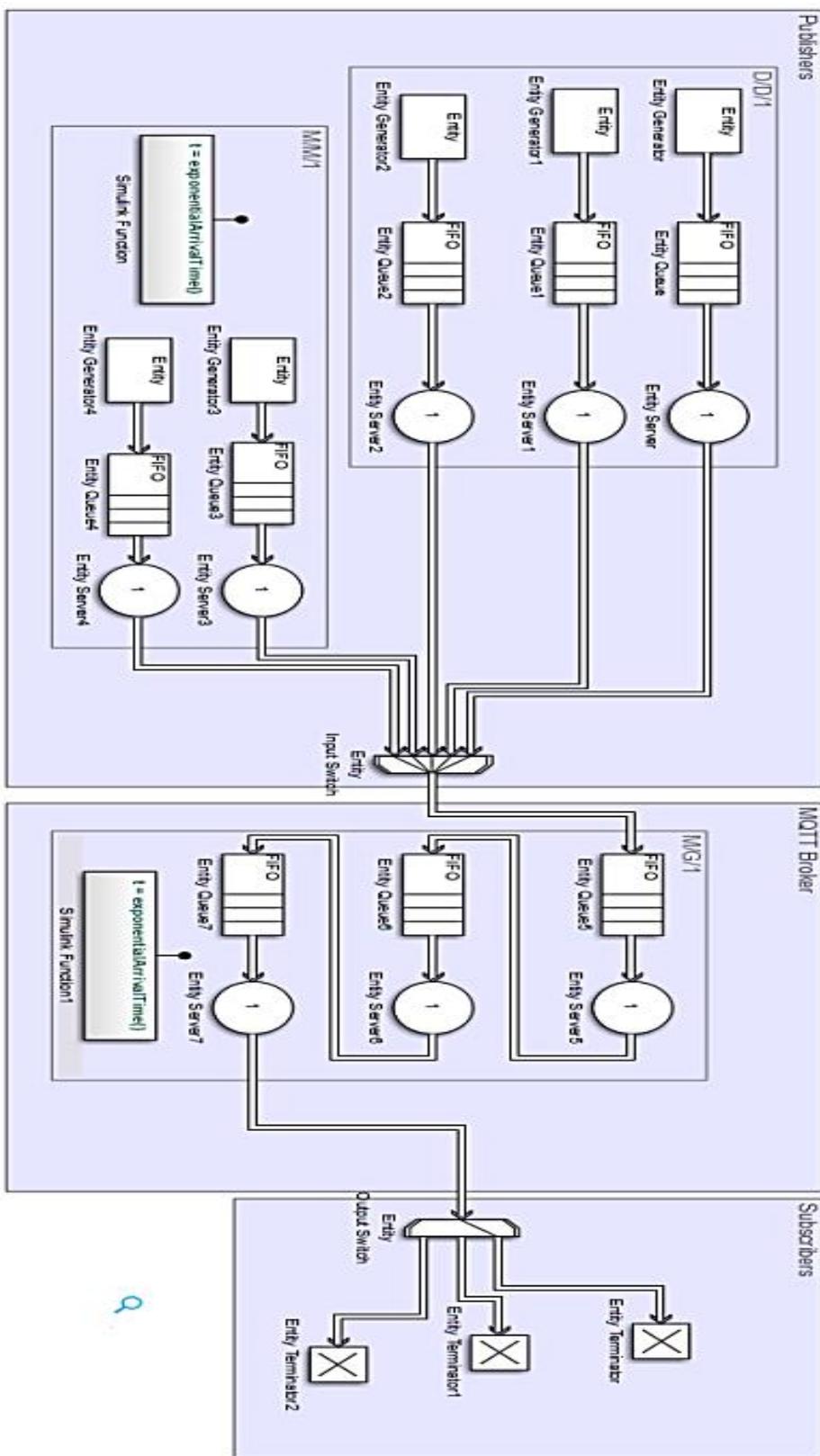


Рисунок Б.2 – Имитационная модель для MQTT

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на предзащиту дипломной работы

Ерболовой Айнур Ерболкызы

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Тема: Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

В дипломной работе Ерболова А. дает анализ перспективным приложениям сети 5G, таким как Интернет вещей, Тактильный интернет, а также рассматриваются возможности перспективных сетей связи и задачи построения беспроводных сенсорных сетей.

Приложения гетерогенных сетей 5G актуальны для развития всех отраслей экономики.

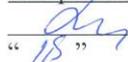
Для трафика IoT/M2M в сети с протоколом MQTT было проведено моделирование в Matlab / Simulink.

Замечания: выполнить до конца моделирование трафика IoT/M2M, перенести модель в Приложение, внести ссылки на литературу.

После исправления всех замечаний по предзащите Ерболова Айнур может быть допущена к защите дипломной работы

Научный руководитель

маг-р техн. наук

 Г.М. Байкенова

“ 18 ” 05 2022г.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Ерболовой Айнур Ерболқызы

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Тема: Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

В дипломной работе Ерболова А. дает анализ перспективным приложениям сети 5G, таким как Интернет вещей, Тактильный интернет, а также рассматриваются возможности перспективных сетей связи и задачи построения беспроводных сенсорных сетей.

Направления развития Интернета Вещей и Тактильного Интернета будут актуальны в обозримой перспективе развития сетей связи.

Анализ тенденций развития перспективных сетей связи показал, что одной из основных особенностей сетей 5G является использование достоинств гетерогенной структуры, заключающихся в возможности «выгрузки» трафика в сети, использующие различные технологии доступа. Элементом, обеспечивающим выгрузку трафика в перспективной гетерогенной сети связи, могут быть беспроводные сенсорные сети.

Для трафика IoT/M2M в сети с протоколом MQTT было проведено моделирование в Matlab / Simulink.

Считаю, что дипломная работа Ерболовой Айнур Ерболқызы выполнена на 80/В/«хорошо», заслуживает присвоения академической степени бакалавра техники и технологии по специальности 5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Научный руководитель

маг-р техн. наук

 Г.М. Байкенова

“ 25 ” 05 2022г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Ерболовой Айнур Ерболқызы

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

На тему: Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

Выполнено:

- а) графическая часть на 12 листах
б) пояснительная записка на 62 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Оценка работы

Дипломная работа Ерболовой посвящена анализу приложений и услуг в сетях 5G.

В первой главе рассматривается эволюция мобильных сетей для перехода к технологии 5G и ее основные принципы работы.

Далее студент дает понятия гетерогенных беспроводных сетей связи и интеграции радиотехнологий, а также анализирует основные приложения в 5G, которые позволяют получить большое многообразие функциональных возможностей сетей IMT2020/5G: гигабайты в секунду, умный дом, умный город, дополненная и виртуальная реальность и т.п. Дается анализ развития Интернета вещей, Тактильного интернета, перспективных сетей связи, задача построения беспроводных сенсорных сетей, а также требования к качеству обслуживания в сетях 5G.

Третья глава посвящена моделированию трафика IoT/M2M в сети с протоколом MQTT с использованием программы MATLAB/Simulink.

В качестве замечания отмечу, что надо внести в 3 главу описание системы, рассматривающей сценарий применения MQTT, по которому выполняется моделирование трафика.

Считаю, что дипломная работа выполнена на 80 баллов/В/«хорошо», а дипломант, Ерболова Айнур Ерболқызы, заслуживает присвоения академической степени бакалавра техники и технологии по специальности 5B071900-Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Рецензент

канд.техн. наук, профессор А.С. Байқұлов

« 25 » 05 2021 г. по управлению персоналом



Ф КазНИТУ 706-17. Рецензия

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ерболова Айнур Ерболкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

Научный руководитель: Гулжан Байкенова

Коэффициент Подобия 1: 0.5

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 12

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

25.05.2022
Дата

Кармелен С.

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ерболова Айнуэр Ерболкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Анализ перспективных приложений гетерогенных сетей 5G

Научный руководитель: Гулжан Байкенова

Коэффициент Подобия 1: 0.5

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 12

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

15.05.2022
Дата

Заведующий кафедрой

