МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева
Институт автоматики и информационных технологий
Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии
5В074600 – Космическая техника и технологии

Ильяс Дәулет Максатұлы

# «P.UB - Социальные сети на базе микросервисов»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В074600 – Космическая Техника и Технологии

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет

имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

5В074600 – Космическая техника и технологии

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**
Заведующий кафедрой
_____ Е. Таштай
«_30_» _05_____2022 г.

# ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «P.UB - Социальные сети на базе микросервисов»

5В074600 – Космическая Техника и Технологии

Выполнил: Ильяс Дәулет Максатұлы

Рецензент
Кандидат технических наук,
Ассоциированный профессор
Казахского национального
профессор
Аграрного исследовательского
Университета
_____ Б.А. Токмолдаев
«_27_» _05_____2022 г.

Научный руководитель
Кандидат физико-
математических наук
Ассоциированный

_____ К. Х. Жунусов
«_27»_05_____2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

5В074600 – Космическая техника и технологии

**УТВЕРЖДАЮ**
Заведующий кафедрой «Электроники, телекоммуникации и космической технологии»
_____ Таштай Е.
"21" XII 2021 г

**ЗАДАНИЕ**
**на выполнение дипломной работы**

Дипломнику Ильяс Дәулет Максатұлы

Тема: «P.UB - Социальные сети на базе микросервисов».

Утверждена *приказом Ректора Университета № 489–П/Ө от «24» декабря 2021 г.*

Срок сдачи законченной работы "*30" апреля 2022 г.*

Исходные данные к дипломной работе:

1) Сравнение протоколов маршрутизации в Manet-сетях Евразийский // Союз Ученых (ЕСУ) # 1 (22), 2016 | ТехничЕСКИЕ НАУКИ; 2) Ligang Liu, Jianpo Liu, Hanwang Qian, Jun Zhu, Performance Evaluation of BATMAN-adv Wireless Mesh Network Routing Algorithms // Лаборатория науки и техники в области микросистем, Шанхайский институт микросистем и информационных технологий, Китайская академия наук; 3) Z. Yuan, G. Yu, and W. Li, «Multi-User Shared Access for 5G», Telecommunications Network Technology, том 5, Бюль. 5, стр. 28-30, Май 2015.

Перечень вопросов подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

а) Изучение методов построения и маршрутизации Mesh-сетей; б) Изучение принципов работы алгоритма B.A.T.M.A.N-adv; в) Приведение принципов работы методов мультиплексирования OFDMA, MC-CDMA, NOMA.

# ГРАФИК

подготовки дипломной работы

| **Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов** | **Сроки представления научному руководителю** | **Примечание** |
|---|---|---|
| 1. Выбор оптимального протокола построения и маршрутизации Mesh-сетей. | 1.09.2021-31.12.2021 | Выполнено |
| 2. Построение Mesh-сети с помощью выбранного протокола построения и маршрутизации Mesh-сетей. | 1.01.2022-15.02.2022 | Выполнено |
| 3. Изучение задач и проблем построения Mesh-сетей. Предложить решения для указанных проблем. | 16.02.2022-31.03.2022 | Выполнено |
| 4. Написание дипломной работы | 15.04.2022-30.04.2022 | Выполнено |

## Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов диссертации

| **Наименование разделов** | Консультанты<br>Ф.И.О.<br>(уч.степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|---|---|---|---|
| Обсуждение темы дипломной работы | Жунусов К.Х., ассоциированный профессор | 29.12.2021 | |
| Теоретическая информация | Жунусов К.Х., ассоциированный профессор | 18.03.2022 | |
| Нормоконтролер | Ибекеев С. Т., м.т.н, лектор ЭТиКТ | 27.05.2022 | |

Научный руководитель _____ Жунусов.К.Х

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Ильяс Д.М

Дата

# АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена на ознакомление с технологией Mesh-сетей в целом и протоколом построения Mesh-сетей batman-adv в частности; использование микросервисной архитектуры для оптимизации работы сетевых приложении. Целью данной работы является указание предлагаемых технологией Mesh-сетей возможностей для расширения и оптимизации линии связи, достижения анонимности и личной безопасности пользователя при использовании Mesh-сетей для связи; приведение причин перерассмотрения использования сетевых ресурсов и использование микросервиной архитектуры; а так же обсуждение актуальных проблем Mesh-сетей и предложение их решении.

Первый раздел данной работы назначена на ознакомление с основными характеристиками Mesh-сетевых технологии, условиями из применения, закономерностями принципа работы, настоящие проблемы в построении Mesh-сетей, использование Mesh-сетевых технологии совместно со спутниковой связью, для оптимизации сервисов спутникового интернета.

Второй раздел поднимает вопрос о правильном подборе технологии мультиплексирования в контексте Mesh-сетей. В этом разделе проводится ознакомление с историей развития современных технологии мультиплексирования, с принципами их работы и их применение в Mesh-сетях.

Третий раздел просвящяет о принципах работы существующих протоколах маршрутизации в Mesh-сетевых технологиях, отмечает их различия, выделяет их сильные и слабые стороны.

Четвертый раздел посвящяет о перерассмотрении концепции использования сетевых ресурсов в рамках Mesh-сетей. Дается пояснение таких терминов, как Web3, микросервисы; представляется идея и реализация проекта P.UB.

# АҢДАТПА

Бұл жұмыс жалпы Mesh-желілер технологиясымен және атап айтқанда, batman-adv Mesh-желілерін құру протоколымен танысуға арналған. Бұл жұмыстың мақсаты – байланыс желісін кеңейту және оңтайландыру, байланыс кезінде пайдаланушының анонимділігі мен жеке қауіпсіздігіне қол жеткізу үшін Mesh-желілер технологиясы ұсынатын мүмкіндіктерді көрсету; сонымен қатар торлы желілердің өзекті мәселелерін және оларды шешу бойынша ұсыныстарды талқылау.

Бұл жұмыстың бірінші бөлімі сізді торлы-желілік технологияның негізгі сипаттамаларымен, қолдану шарттарымен, жұмыс істеу принципінің заңдылықтарымен, сонымен қатар Mesh-желілерді құрудағы нақты мәселелермен таныстыруға, спутниктік Интернет қызметтерін оңтайландыру үшін спутниктік байланыспен бірге Mesh-желілік технологияларды пайдалануға арналған.

Екінші бөлім торлы желілік технологияларда бар маршруттау протоколдарының қалай жұмыс істейтінін түсіндіреді, олардың айырмашылықтарын көрсетеді, күшті және әлсіз жақтарын көрсетеді.

Үшінші бөлімде торлы желілер жағдайында мультиплекстеу технологиясын дұрыс таңдау мәселесі көтеріледі. Бұл бөлімде қазіргі мультиплексирлеу технологияларының даму тарихымен, олардың жұмыс істеу принциптерімен және торлы желілерде қолданылуымен таныстыру қарастырылған.

Төртінші бөлім торлы желілер ішінде желілік ресурстарды пайдалану тұжырымдамасын қайта қарауға бағытталған. Web3, микросервистер сияқты терминдерге түсініктеме беріледі; P.UB жобасының идеясы мен жүзеге асырылуы ұсынылған.

# ANNOTATION

This work is devoted to getting acquainted with the technology of Mesh networks in general and the protocol for constructing Mesh networks batman-adv in particular. The purpose of this work is to indicate the possibilities offered by the technology of Mesh networks for expanding and optimizing the communication line, achieving anonymity and personal security of the user when using Mesh networks for communication; as well as discussion of topical problems of Mesh networks and proposals for their solution.

The first section of this work is intended to familiarize you with the main characteristics of Mesh-network technology, the conditions of application, the laws of the principle of operation, as well as the real problems in building Mesh-networks.

The second section deals with the principles of operation of existing routing protocols in Mesh networking technologies, notes their differences, highlights their strengths and weaknesses.

The third section raises the question of the right choice of multiplexing technology in the context of Mesh networks. This section provides an introduction to the history of the development of modern multiplexing technologies, the principles of their operation and their application in Mesh networks.

The fourth section focuses on revisiting the concept of using network resources within Mesh networks. An explanation is given of such terms as Web3, microservices; the idea and implementation of the P.UB project is presented.

The fifth section is devoted to the use of Mesh-network technologies in conjunction with satellite communications to optimize satellite Internet services.

## СОДЕРЖАНИЕ


Введение 9
1 Беспроводная Mesh-сеть 10
1.1 Проблемы беспроводных Mesh-сетей 10
1.2 Использование mesh-сетей совместно со спутниковой связью 13
2 Методы мультиплексирования в работе самоорганизующихся 18
2.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing 18
2.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access 21
2.3 Multi-Carrier Code Division Multiple Access 23
2.4 Non-Orthogonal Multiple Access 27
3 Алгоритмы маршрутизации 32
3.1 Общие сведения об алгоритмах маршрутизации в mesh-сетях 32
3.2 Протокол построения и маршрутизации mesh-сетей b.a.t.m.a.n-adv 33
4 WEB3, микросервисы и P.UB 38
Заключение 41
Список использованной литературы 42

# ВВЕДЕНИЕ

Современное положение телекоммуникационных технологии сильно завязано на массивной инфраструктуре. Мегаполисная и глобальная телекоммуникационная связь производится за счет базовых станции. Такой подход сделал такую связь возможной, и очень эффективной. Тем не менее, у данного подхода есть множество не решенных проблем.

Расширение инфраструктуры может быть усложнена (или не оправдана) по множесту экономических и геофизических факторов, поломка или разрушение даже считанных единиц инфраструктуры может прервать связь для обширных территории. За поломками и разрушением таковых единиц может быть множество причин - стихийные бедствия, террористические акты, внутренние изъяны таковых объектов или износ.

К счастью, развитие и близжайшие перспективы безпроводных технологии позволяют построение сетей с минимальными потребностями инфраструктуры в ограниченном пространстве - Mesh-сети. Данная работа направлена на привлечение внимания на данную технологию, обсуждение его возможностей, проблем и будущих перспектив.

На данный момент наиболее распространенное использование Mesh-сетей приходится к IoT-технологиям. Связано это с тем, что в IoT связь как правило происходит внутри одного здания, передаваемые сообщения редко превосходят несколько сотен байтов, кроме того, даже при условиях потребности передачи сообщения на большие расстояния, используются более низкие частоты, чем в WiFi, WiMAX и других широкораспространенных технологиях, что означает, что IoT устройствам не нужно большое усиление для передачи своих сообщении на большие расстояния.

Успех Mesh технологии в среде IoT не остался не замеченным в других направлениях. Так, например, компания «AMAZON» 22 января 2018 года представила сеть магазинов «Amazon Go» в Соединенных Штатах Америки, суть которых заключается в том, что магазины даной сети оперируют без кассиров – покупатель при входе в магазин подключает свой смартфон во внутреннюю Mesh-сеть магазина, и при выборе товаров и продуктов, смартфон покупателя автоматический совершает оплату. Данный шаг доказывает не только то, что использование смартфонов, рабочих станции и мобильных устройств в Mesh-сетях имеет перспективу, но и то, что крупные компании заинтересованы в том, чтобы внести свою лепту в развитие данной технологии.

Данная работа направлена на обсуждение возможностей и условии, в которых использование Mesh-сетей на ряду с традиционными интернет технологиями может стать не только возможной, но так же окажет позитивное влияние на доступность беспроводной связи в труднодоступных регионах, поддержание свободы слова и анонимности в интернете.

# 1 БЕСПРОВОДНАЯ MESH-СЕТЬ

Mesh-сеть – сетевая топология компьютерной сети, в которой каждое устройство подключено к остальным устройствам по принципу "каждый к каждому", если это "полный Mesh", или "многие ко многим", если это "не полный Mesh". Рисунок данной топологии напоминает графы.

Mesh-сети представляют из себя сети, в котором устройства соеденены друг с другом в безпроводной одноранговой иерархии. Это означает, что каждое устройство выполняет все функции и требования для установления и поддержания сети, иными словами, все функции инфраструктуры распределяется между самими участниками сети. Эта технология не только стала возможной, но и перспективной в технологическом плане. Так же, возможность больших свобод и мер безопасности делает эту технологию привлекательной для энтузиастов свободы слова и анонимности в интернете.

Mesh-сети так же можно делить на Ad-hoc и Manet (Mobile Ad-hoc Network) сети, отличие которых заключается в том, что в Ad-hoc сетях имеется определенная серверная инфраструктура – точки доступа, роутеры, и т.д.; и Manet, в котором присутствуют только рабочие станции – ПК, ноутбуки, смартфоны и т.д.

Вопросами, подлежащие обсуждению в данной работе, являются проблемы эффективного построения Mesh-сетей и их решения, такие как: техники мультиплексирования при работе самоорганизующихся сетей, алгоритмы маршрутизации и т.д.

## 1.1 ПРОБЛЕМЫ БЕСПРОВОДНЫХ MESH-СЕТЕЙ

Все безпроводные устройства продолжительно проводят сканирование радио-трансмиттеров. Современные устройства имеют возможность сканировать на 2,4-2,4835 ГГц и 5,15-5,85 ГГц частотах. Есть пассивное и активное виды сканирования. По умолчанию, оба вида сканирования доступны и выполняются без участия пользователя.

Во время пассивного сканирования антенна слушает запросы и получает пакеты от трансмиттеров раз в секунду. Пассивное сканирование как правило всегда включена, так как эта функция так же используется для установления связи с утройством.

При активном сканировании антенна отправляет зонд-запрос на определенной частоте для получения ответа на запрос. Активное сканирование может быть отключено.

После сканирования, как только два (или больше) устройства установили друг-друга, возможна передача сообщении.

В интернет технологиях для передачи сообщений большую роль играет IP (internet protocol) 3-го уровня модели OSI. Его функция заключается в определении адресов устройств в сети, по которым сообщения будут ориентироваться в трансмисии. Как только устройство подключается к сети, оно отправляет broadcast запрос всем устройствам в сети. Как только специальный сервер для назначения адресов, DHCP-сервер, получает этот запрос, он передает запросившему устройству одну из свободных адресов. Через этот адрес другие участники сети могут обращаться к новому устройству.

Одноранговая структура Manet-сетей не рассматривает использование подобного сервера. Но это в свою очередь создает проблему, похожую на проблему яйца и курицы: чтобы обмениваться сообщениями внутри сети, нужно знать адреса устройств сети, и чтобы узнать эти адреса, нужно обменяться сообщениями. Эта проблема решается не использованием IP адресов при обмене. Сообщения передаются по MAC-адресам устройств, и так как MAC-адреса по-умолчанию являются уникальными и даются при разработке устройства, это решает вышеуказанную проблему. Кроме того, такой подход сокращяет время приема и передачи сообщении и алгоритмы исправления ошибок, так как одна ступень всего пути обходится.

Беспроводная связь имеет множество проблем в соответствии с характеристиками используемых электромагнитных волн. Минимальная инфраструктура или полное ее отсутствие заново поднимает данные проблемы, которые традиционно решались провайдерами в рамках базовых станции и радиусом их действия. В рамках данной работы мы рассмотрим проблемы электромагнитных помех, частотного замирания и закон обратных квадратов.

Электромагнитные помехи (EMI), также называемые радиочастотными помехами (RFI), когда они находятся в радиочастотном спектре, представляют собой помехи, создаваемые внешним источником, который влияет на электрическую цепь за счет электромагнитной индукции, электростатической связи или проводимости. Возмущение может ухудшить работу схемы или даже остановить ее работу. В случае обмена данными эти эффекты могут варьироваться от увеличения частоты ошибок до полной потери данных. И техногенные, и естественные источники генерируют изменяющиеся электрические токи и напряжения, которые могут вызывать электромагнитные помехи: системы зажигания, сотовая сеть мобильных телефонов, молния, солнечные вспышки и полярные сияния (северное/южное сияние).

В беспроводной связи, затухание — это изменение затухания сигнала с различными переменными. Эти переменные включают время, географическое положение и радиочастоту. Затухание часто моделируется как случайный процесс. Канал затухания — это канал связи, который испытывает затухание. В беспроводных системах затухание может быть вызвано либо многолучевым распространением, погодными условиями (особенно дождем), либо затенением от препятствий, влияющих на распространение волны.

Наличие отражателей в среде, окружающей передатчик и приемник, создает несколько путей, по которым может проходить передаваемый сигнал. В

результате приемник видит наложение нескольких копий передаваемого сигнала, каждая из которых проходит свой путь. Каждая копия сигнала будет испытывать различия в затухании, задержке и фазовом сдвиге при перемещении от источника к приемнику. Это может привести как к конструктивным, так и к деструктивным помехам, усиливая или ослабляя мощность сигнала, воспринимаемого приемником. Сильные деструктивные помехи часто называют глубокими затуханиями и могут привести к временному сбою связи из-за резкого падения отношения сигнал/шум в канале.

Модели каналов с затухания часто используются для моделирования эффектов электромагнитной передачи информации по воздуху в сотовых сетях и широковещательной связи.

В науке закон обратных квадратов — это любой научный закон, утверждающий, что определенная физическая величина обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника этой физической величины. Фундаментальную причину этого можно понять как геометрическое разбавление, соответствующее излучению точечного источника, в трехмерном пространстве.

Энергия радара расширяется как при передаче сигнала, так и при отражении, поэтому обратный квадрат для обоих путей означает, что радар будет получать энергию в соответствии с обратной четвертой степенью дальности.

Решения всех приведенных проблем беспроводной Mesh-сети лежит на физичексом и MAC уровнях модели OSI.

Закон обратных квадратов в контексте беспроводной сети является проблемой дальности отправки сообщении – чем дальше нужно отправить сообщение, тем большее усиление требует устройство отправителя. В Mesh-сетях эта проблема решается маршрутизацией через промежные устройства в сети, которые могут составить путь для передачи сообщения от отправителя к адресату.

Решение проблем затухания и электромагнитных помех решаются правильным подбором метода мультиплексирования. При большой нагруженности сети, что может быть вызвано большим количеством узлов, активно участвующие в передаче сообщений внутри сети, вызывают падение качества подключения. Организация и оптимизация использования несущих электромагнитных волн и соотвествующий дизайн устройств и сетей должна быть нацелена на поддержание наибольшего количества устройств, на достижение наибольшего качества связи на заданном расстоянии.

## 1.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MESH-СЕТЕЙ СОВМЕСТНО СО СПУТНИКОВОЙ СВЯЗЬЮ

Спутниковая связь, в частности спутниковый интернет находится в неоднозначном положении. Провайдерам спутникового интернета, таким как Iridium, Inmarsat, Thuraya и Globalstar, сложно найти широкую клиентскую базу из-за фундаментальных принципов работы такой связи:

- так как обмен сообщениями происходит на больших расстояниях, пользователям спутниковой связи нужно расчитывать на большую задержку;
- преодоление больших расстоянии для несущих волн предполагает использование специфической аппаратуры, а так же большое энергопотребление, как в восходящем обмене - клиент-спутник, так и в нисходящем - спутник-клиент. Данный фактор поднимает финансово-экономические вопросы;
- различные реализации от разных провайдеров влекут за собой такие же различные проблемы. Так, например, при использовании мобильных спутниковых терминалов, связь внутри здании не возможна, так как связь поддерживается только в условии прямой видимости.

Рассмотрим проект спутникового интернета Iridium. Спутниковая сеть Iridium — это спутниковая беспроводная персональная коммуникационная сеть, основанная на стандарте Глобальной системы мобильной связи (GSM), предоставляющая услуги передачи голоса и данных практически в любую точку мира[35].

Система связи Iridium состоит из трех основных компонентов: спутниковой сети, наземной сети и абонентских продуктов Iridium. Конструкция сети Iridium позволяет передавать голос и данные практически в любую точку мира. Голосовые вызовы и вызовы данных ретранслируются с одного спутника на другой до тех пор, пока они не достигнут спутника над земной станцией или терминалом, и сигнал ретранслируется обратно на Землю.

Семейство состоит из 66 активных спутников на орбите, необходимых для глобального покрытия, и дополнительных запасных спутников на случай отказа. Спутники находятся на низкой околоземной орбите на высоте примерно 781 километр (485 миль) и наклонении 86,4°.

Чтобы портативный телефон мог с ними связаться, спутники Iridium находятся ближе к Земле, на низкой околоземной орбите, на высоте около 781 км (485 миль) над поверхностью. При орбитальном периоде около 100 минут спутник может находиться в поле зрения телефона только около 7 минут, поэтому вызов автоматически «передается» другому спутнику, когда тот уходит за местный горизонт. Для этого требуется большое количество спутников, тщательно разнесенных по полярной орбите, чтобы гарантировать, что по крайней мере один спутник постоянно находится в поле зрения из любой точки на поверхности Земли. Для непрерывного покрытия требуется не менее 66 спутников на 6 полярных орбитах, по 11 спутников на каждой.

Орбитальная скорость спутников составляет примерно 27 000 км/ч. Спутники связываются с соседними спутниками через межспутниковые каналы Ka-диапазона. Каждый спутник может иметь четыре межспутниковых канала: по одному на соседей вперед и назад в одной и той же орбитальной плоскости и

по одному на спутники в соседних плоскостях с обеих сторон. Спутники вращаются от полюса к тому же полюсу с периодом обращения примерно 100 минут. Такая конструкция обеспечивает отличную видимость со спутников и покрытие услугами, особенно на Северном и Южном полюсах. Конструкция орбиты над полюсом создает «швы», где спутники в плоскостях, вращающихся в противоположных направлениях рядом друг с другом. Переключение межспутниковой линии связи должно происходить очень быстро и справляться с большими доплеровскими сдвигами; поэтому Iridium поддерживает межспутниковую связь только между спутниками, вращающимися в одном направлении. Созвездие из 66 активных спутников имеет шесть орбитальных плоскостей, разнесенных на 30°, по 11 спутников в каждой плоскости (не считая запасных).

В системе Iridium используется передача обслуживания. Когда спутник движется над землей, вызовы передаются на соседние сфокусированные лучи; это происходит примерно каждые пятьдесят секунд. Спутник остается в поле зрения только в течение семи минут на экваторе. Когда спутник исчезает из поля зрения, делается попытка передать вызов другому спутнику. Если в поле зрения нет другого спутника, соединение разрывается. Это может произойти, когда сигнал любого спутника блокируется препятствием. В случае успеха межспутниковая передача обслуживания может быть заметна по прерыванию на четверть секунды.

Оптимизация работы спутникового интернета при использовании Mesh-сетевых технологии строится на том принципе, что Mesh-сети, так же как и спутниковая связь, являются динамичными, что означает возможность высокого уровня оптимизации при совместном использовании.

Совместное использование подразумевает передачу обслуживания от спутника к наземным узлам Mesh-сети. Такое использование обеспечит максимизацию использования отдельных спутников, и минимизацию времени, отведенную на передачу несущих частот - уменьшению задержки.

При традиционном использовании спутниковой сети Iridium, на поддержание единичной связи спутник-клиент отводится 7 минут на расстоянии 780 км. По истечению 7 минутного срока, связь передается к следующему спутнику на данной полярной орбите. Передача данных о связи от одного спутника к другому осуществляется при расстоянии примерно 4018 км. Если мы представим ситуацию, если клиент будет в течении одного часа пользоваться услугами спутникового интернета Iridium, то таких передач должно осуществиться 8 раз, что означает, что данные о связи должны будут преодолеть примерно 32150 км только засчет передачи связи от одного спутника к другому. Для сравнения, длина экватора Земли составляет 40000 км.

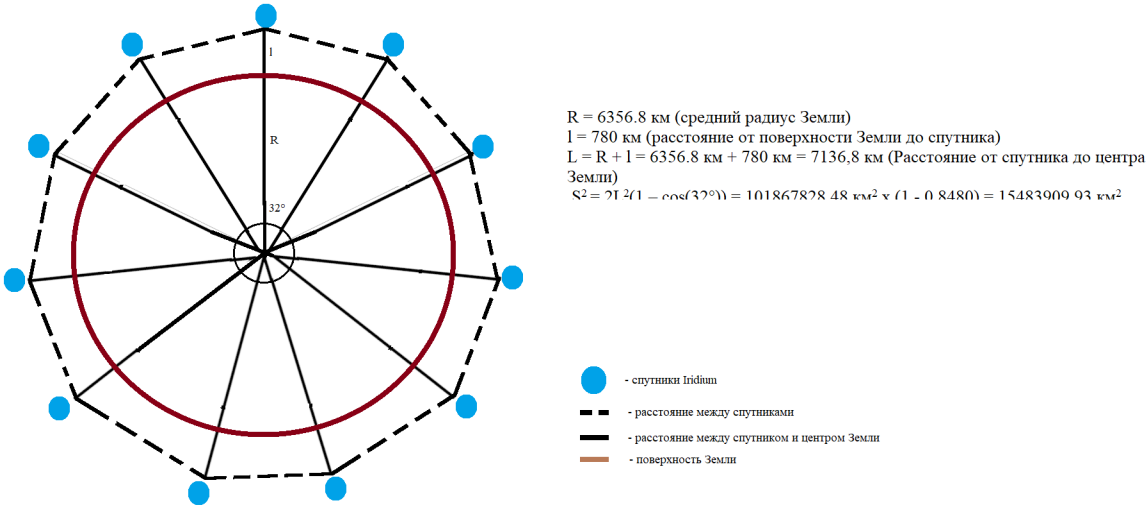


Рисунок 1.1 – примерное расстояние между спутниками Iridium

При совместном использовании, по истечению 7 минутного срока, или при прерыве/ухудшении качества связи у спутника будет вариант передачи сообщения к любому доступному узлу Mesh-сети, готового принимать сообщение со спутника. Так, например, каждые 403 км расстояния приемников на земном сегменте сети увеличило бы время поддержания связи с одним спутником до 8-ми минут.

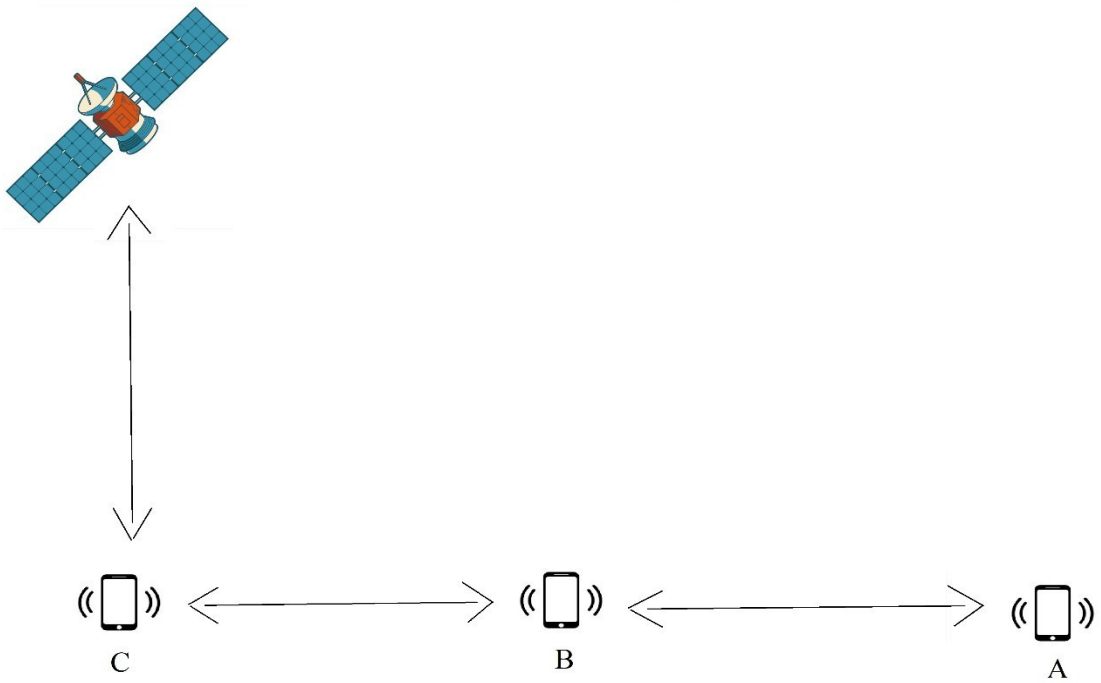


Рисунок 1.2 – Совместное использование спутниковых и Mesh-сетевых технологии

403 км для Mesh-сети звучит много, но при учете, что цена подключения спутникового интернета Iridium в РК составляет $50, абонентская плата $60, оптимизация в 14,3% является весомым результатом. Так же стоит учитывать, что данный результат приведен на примере сети из 11 спутников на 6 орбитах. Данный подход ощутимо масштабируется при увеличении количества спутников в сети. В проекте Starlink компании SpaceX на Май 2022 года используется 2400 спутников. Увеличение времени поддержания связи с каждым из этих спутников показало бы больший результат с меньшим значением требуемого расстояния.

Таким образом, Mesh-сетевые технологии предлагают решения как для наземного использования, так и в оптимизации средств связи космического масштаба. Совместное же использование Mesh-сетевых и спутниковых технологии принесло бы пользу обеим частям сложения: спутниковая связь оптимизировало бы делокализацию Mesh-сетей; Mesh-сети оптимизировали бы локальное распространение сетевых ресурсов со спутников.

# 2 МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ В РАБОТЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ

С появлением беспроводных средств связи, использование несущих частот с наибольшей эффективностью только набирало актуальность. Особенно востребованным этот вопрос стал из-за большого роста популярности сотовых и WiFi сервисов. На сегодняшний день наиболее конкурентоспособными методами мультиплексирования являются OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), MC-CDMA (Multi-Carrier Code Division Multiple Access) и NOMA (Non-orthogonal Multiple Access).

## 2.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Данная технология стала важным шагом в оптимальном использования несущих частот, и решении FSF (Frequency Selective Fading) в широкополосных беспроводных системах. В стандарте 802.11 a/g OFDM помогла добиться скорости 50 Мб/с внутри помещении с несколькими пользователями; стандарт 802.16 d/e предложил использование OFDM как для стационарных, так и для мобильных телекоммуникационных систем.

Некоторые из ключевых концепций OFDM включают утилизацию ортогональных поднесущих для параллельной отправки нескольких символов данных, что приводит к лучшей спектральной эффективности и простым методам коррекции в приемнике. Выборки переданного сигнала OFDM могут быть получены путем выполнения операции ОБПФ над группой символов данных, подлежащих отправке на ортогональных поднесущих. Точно так же восстановление символов данных из ортогональных поднесущих выполняется с использованием операции БПФ над блоком принятых отсчетов. Таким образом, блоки ОБПФ и БПФ в передатчике и приемнике соответственно являются важными составляющими системы OFDM. Много работы было потрачено на оптимизацию реализаций БПФ, и сообщество разработчиков успешно использовало эту тенденцию, что привело к популярности систем на основе OFDM.

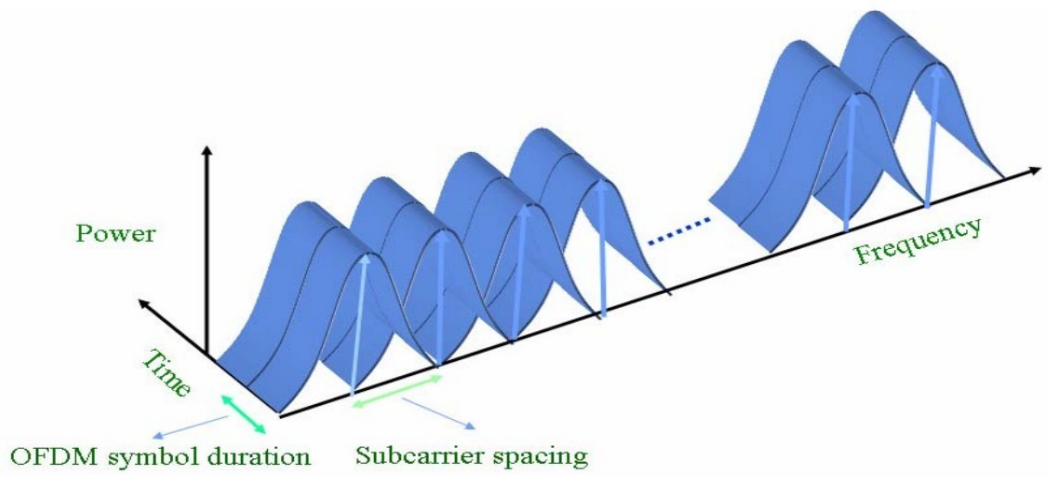


Рисунок 2.1 – OFDM

Из рисунка видно, что даже несмотря на то, что сигналы поднесущих перекрываются во временной и частотной областях, нет взаимных помех, когда выборка выполняется в определенных точках в частотной области, называемых позициями поднесущих. Это одно из важных свойств сигнала OFDM, которое приводит к более высокой спектральной эффективности по сравнению с системой мультиплексирования с частотным разделением каналов (FDM). Для WiFi разнос поднесущих составляет около 300 кГц, в то время как в мобильном WiMAX значение составляет около 11 кГц, тогда как продолжительность CP составляет около 800 наносекунд для WiFi и обычно составляет около 10 микросекунд для WiMAX.

Адаптивная модуляция и кодирование (Adaptive modulation and coding - AMC) на разных поднесущих — это еще одна функция в системах OFDM, которая успешно использовалась в стандарте DMT [3] и была предложена для использования в WiMAX и в высокоскоростных расширениях Wi-Fi, называемых 802.11n [4]. Изменения многолучевого канала в частотной области эффективно используются с AMC, чтобы получить такие преимущества, как более высокие скорости передачи данных и меньшая передаваемая мощность по сравнению с системой с равномерной нагрузкой. В системах OFDM с AMC сведения о характеристиках многолучевого канала в передатчике получают с помощью механизмов обратной связи, которые также рассматриваются в WiFi и WiMAX.

Различные схемы множественного доступа могут быть объединены с передачей OFDM, и они включают множественный доступ с ортогональным частотным разделением каналов, мультиплексирование с временным разделением каналов (OFDM-TDMA), OFDMA и множественный доступ с кодовым разделением каналов с несколькими несущими (MC-CDMA). В OFDM-TDMA временные интервалы, кратные символам OFDM, используются для разделения передач множества пользователей, как показано на рис. 2.2.

Это означает, что все используемые поднесущие выделяются одному из пользователей на конечное число периодов символа OFDM. В WiMAX один из разрешенных режимов передачи использует OFDM-TDMA, в котором базовая станция выделяет временные интервалы пользователям для передач по нисходящей (DL) и восходящей (UL) линиям связи. Заметим, что даже в схеме распределенного доступа в WiFi, при условии отсутствия коллизий, соблюдается аналогичный принцип. Единственное отличие от OFDM-TDMA заключается в том, что пользователи захватывают канал и используют его в течение определенной продолжительности, т. е. для разделения пользовательских сигналов используется измерение времени [5].

В системах OFDMA для разделения множества пользовательских сигналов используются как временные, так и частотные ресурсы. Группы символов OFDM и/или группы поднесущих являются единицами, используемыми для разделения передач к/от множества пользователей. На рис. 2.3 показано частотно-временное представление типичного сигнала OFDMA для случая, когда есть 3 пользователя. Это видно из рис. 2.3 видно, что сигналы пользователей разделяются либо во временной области с использованием разных символов OFDM, либо в области поднесущих. Таким образом, для поддержки многопользовательских передач используются как временные, так и частотные ресурсы. Мы обсудим этот метод более подробно в следующих разделах, а также сравним его с OFDM-TDMA.

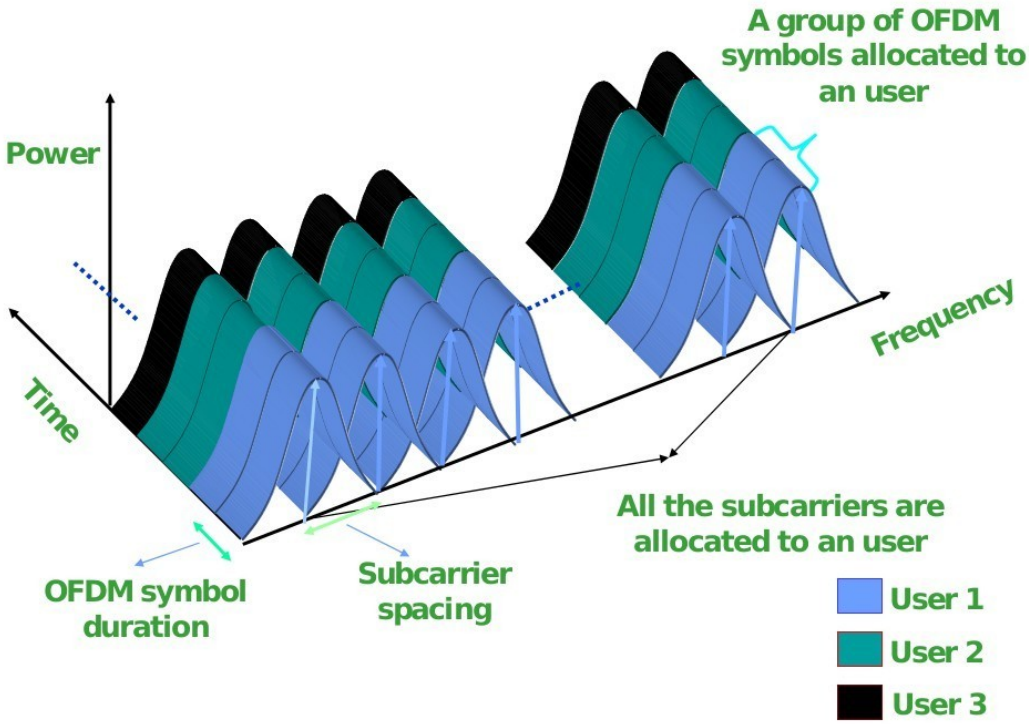


Рисунок 2.2 – OFDM-TDMA

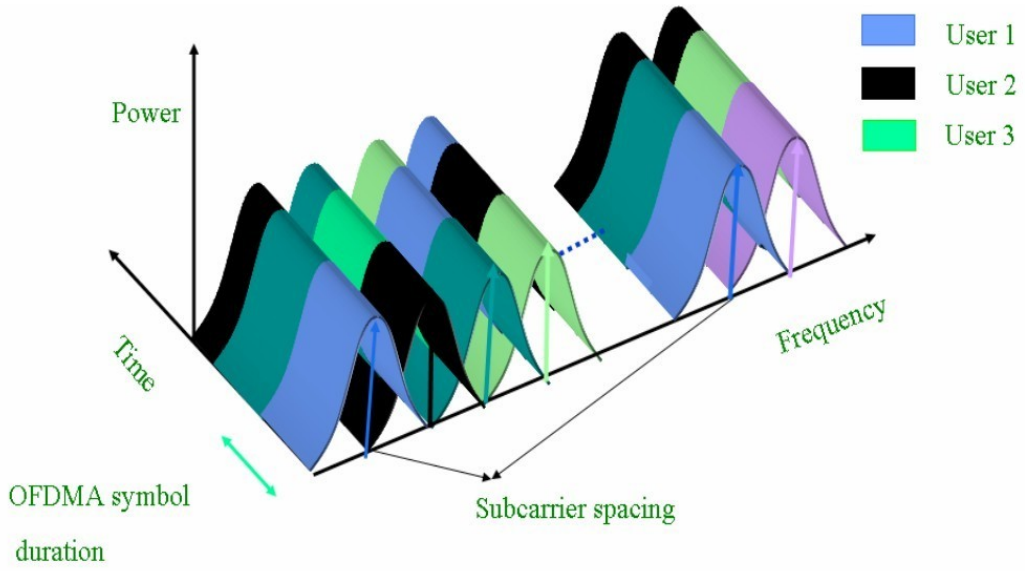


Рисунок 2.3 – OFDMA

В системах MC-CDMA символ данных передается по нескольким поднесущим с использованием кода расширения, который отличается для пользователей с множественным доступом. Многочисленные пользовательские сигналы перекрываются во временной и частотной области, но их можно разделить в приемнике, используя коды расширения. Таким образом, MC-CDMA можно рассматривать как комбинацию схем OFDM и CDMA, дающую преимущества благодаря обоим этим подходам.

## 2.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

В системах OFDMA несколько пользовательских сигналов разделяются во временной и/или частотной областях. Обычно пакет в системе OFDMA состоит из нескольких символов OFDM, т.е. разные группы поднесущих и/или символов OFDM используются для передачи сигналов к/от множества пользователей.

На практике распределение в частотной области не решается на уровне поднесущих. Обычно подканалы, которые являются наименьшими единицами детализации в выделении, создаются путем группирования поднесущих в символе OFDM различными способами. Формирование этих подканалов из поднесущих является важной концепцией в системах OFDMA. Формирование можно разделить на 2 типа: одним из них является отображение непрерывной группы поднесущих в подканал, называемое методом смежных поднесущих (Adjacent subcarrier method - ASM), и другим является группирование на основе разнесения-перестановки, называемое методом разнесения поднесущих (diversity subcarrier method - DSM), в котором подканал обычно содержит

несмежные поднесущие. Пример распределения с использованием двух методов показан на рис. 2.4 а и 2.4 б соответственно.

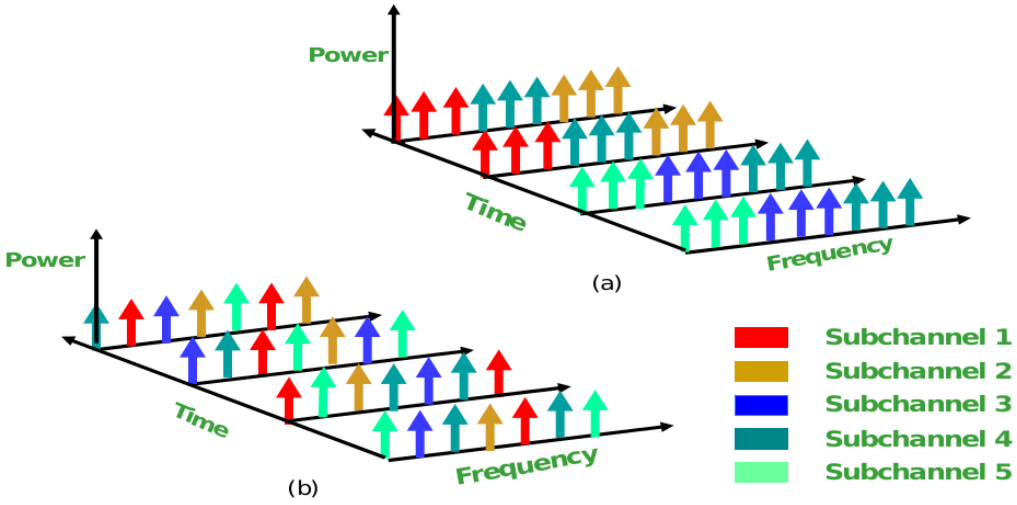


Рисунок 2.4 – ASM (a) и DSM (b)

В методе ASM подканал обычно содержит группу смежных поднесущих, и ожидается, что частотные характеристики канала на поднесущих в подканале будут сильно коррелированы. Это основано на том факте, что поднесущие, попадающие в полосу когерентности, имеют схожие отклики. Метод ASM подходит для использования AMC, так как сильно коррелированный блок поднесущих можно рассматривать вместе как единицу, обеспечивающую простую канальную обратную связь, которая необходима для реализации битовой загрузки. Обратите внимание, что если бы отклики поднесущих были некоррелированными, то отклики каналов на каждой поднесущей должны были бы возвращаться обратно к передатчику, что приводило к более высоким издержкам. Таким образом, обратная связь канала, которая потребляет ценную полосу пропускания и мощность, может быть упрощена, если AMC используется вместе с ASM. Кроме того, упрощения алгоритма адаптивной загрузки, используемого в AMC, могут быть достигнуты, когда соседние поднесущие имеют аналогичные отклики [6].

Каналу FSF присуще частотное разнесение (frequency diversity - FD) из-за изменений отклика канала в частотной области, т.е. поднесущие из разных положений в частотной области, вероятно, будут испытывать различные условия замирания канала. Это разнесение было использовано в системах Wi-Fi с использованием подходящего кодирования с защитой от ошибок и чередования. В DSM поднесущие из, казалось бы, случайных позиций в частотной области группируются в подканал. Таким образом, подканал имеет потенциальное частотное разнесение, которое можно использовать, когда данные, которые должны быть отправлены по этому подканалу, соответствующим образом закодированы и перемежены. Такие методы

кодированной модуляции с чередованием битов (Bit interleaved coded modulation - BICM) использовались в WiFi, а также используются в системах WiMAX. Способы скачкообразной перестройки частоты также можно комбинировать с методом DSM, так что поднесущие в конкретном подканале не являются постоянными во времени.

Временная гранулярность для ASM и DSM кратна символам OFDM; например, один и тот же подканал в двух символах OFDM может быть основной единицей распределения. Пользователям обычно выделяют один или несколько подканалов для одного или нескольких символов OFDM в зависимости от распределения и требований. Обратите внимание, что разделение каналов позволяет нам обрабатывать ресурсы как группы поднесущих и символов OFDM.

### 2.3 Multi-Carrier Code Division Multiple Access (MC-CDMA)

В MC-CDMA каждый символ данных распределяется по нескольким поднесущим с кодом, определяемым пользователем. Каждая микросхема кода расширения с модулированными данными передается на другой поднесущей. Разные пользователи используют одну и ту же полосу частот, т. е. одни и те же поднесущие, в одно и то же время, как показано на рисунке 2.5.

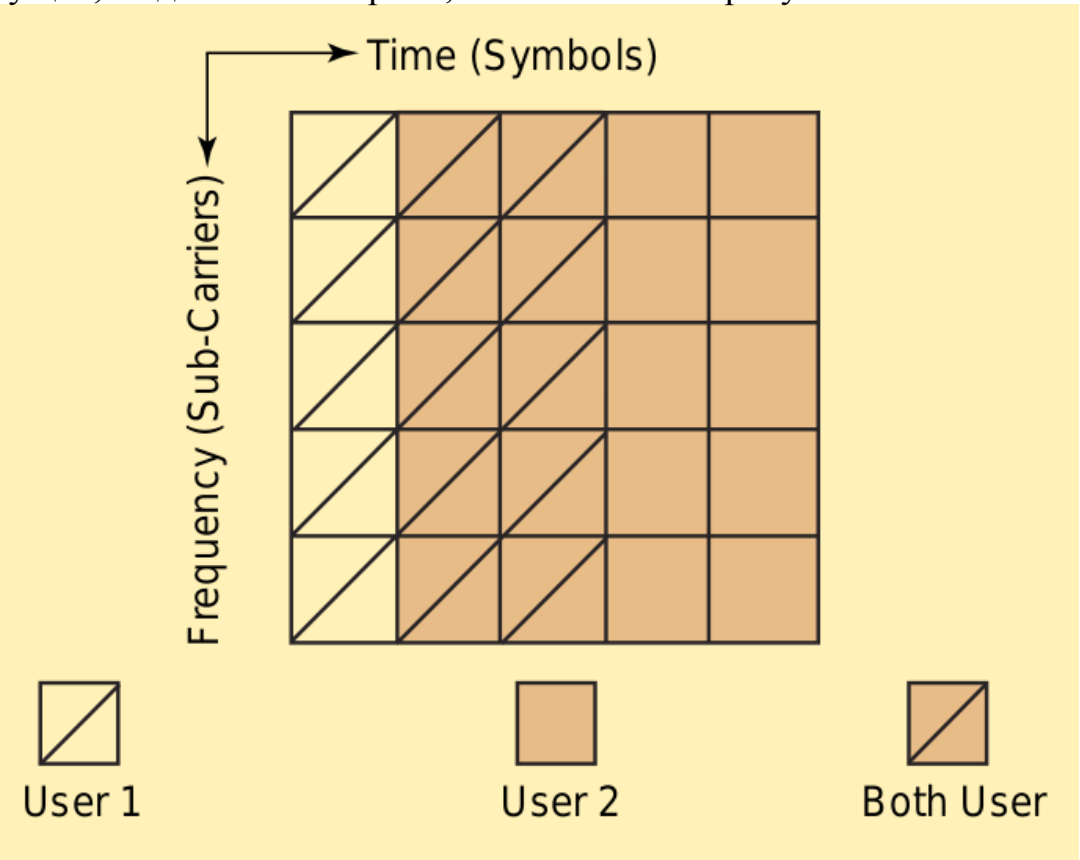


Рисунок 2.5 – MC-CDMA

В этой схеме входящий битовый поток разделяется на N символов (с использованием последовательно-параллельного преобразователя), как и в случае обычного OFDM. Каждый из N символов модулируется на M различных ортогональных частотах поднесущих. Однако расширение символа выполняется в частотной области до модуляции на частотах поднесущих.

Каждая поднесущая расширяется с помощью чипа из расширяющей последовательности, которая принадлежит пользователю, отправляющему данные. Было показано, что коды расширения, такие как коды Адамара-Уолша, оптимальны для поддержания ортогональности между поднесущими.

В математике матрица Уолша — это конкретная квадратная матрица размерности 2n, где n — некоторое конкретное натуральное число. Элементы матрицы равны +1 или −1, а ее строки и столбцы ортогональны, т. е. скалярное произведение равно нулю.

Всего в конструкции используются ортогональные частоты MN, как показано на рисунке 2.6. Все модулированные сигналы MN от нескольких пользователей суммируются перед выполнением операции ОБПФ. Разные пользователи используют разные наборы кодов для достижения множественного доступа.

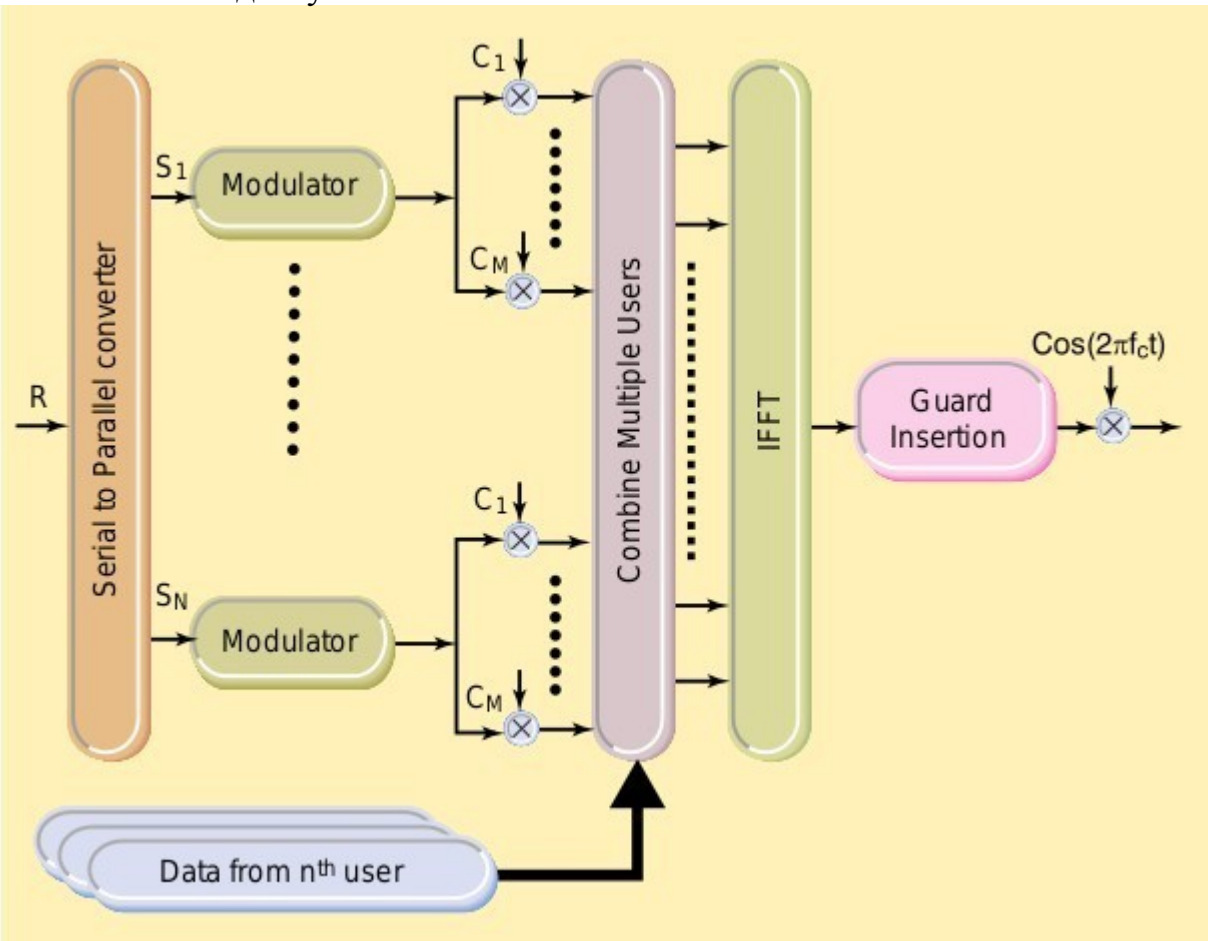


Рисунок 2.6 – Дизайн передатчика в MC-CDMA

В цифровой связи чип представляет собой импульс кода с расширенным спектром прямой последовательности (DSSS), такого как кодовая последовательность псевдослучайного шума (PN), используемая в методах доступа к каналу множественного доступа с кодовым разделением каналов прямой последовательности (CDMA).

В двоичной системе с прямой последовательностью каждый чип обычно представляет собой прямоугольный импульс с амплитудой +1 или -1, который умножается на последовательность данных (аналогично +1 или -1, представляющая биты сообщения) и на форму несущей, чтобы получить передаваемый сигнал. Таким образом, чипы — это всего лишь последовательность битов из генератора кода; они называются чипами, чтобы не путать их с битами сообщений.

Скорость передачи элементарных посылок кода — это количество импульсов в секунду (чипов в секунду), с которым передается (или принимается) код. Скорость передачи элементарных посылок больше, чем скорость передачи символов, что означает, что один символ представлен несколькими элементарными посылками. Отношение известно как коэффициент расширения (SF) или усиление обработки:

$$SF = \text{chip rate} / \text{symbol rate}$$

Приемник реверсирует работу передатчика, как показано на рисунке 2.7. Выполнение операций БПФ может выполнять демодуляцию. Каждый демодулированный сигнал умножается на одну и ту же последовательность расширения, используемую в передатчике. Наконец, приемник попытается обнаружить переданные символы данных из сжатых сигналов.

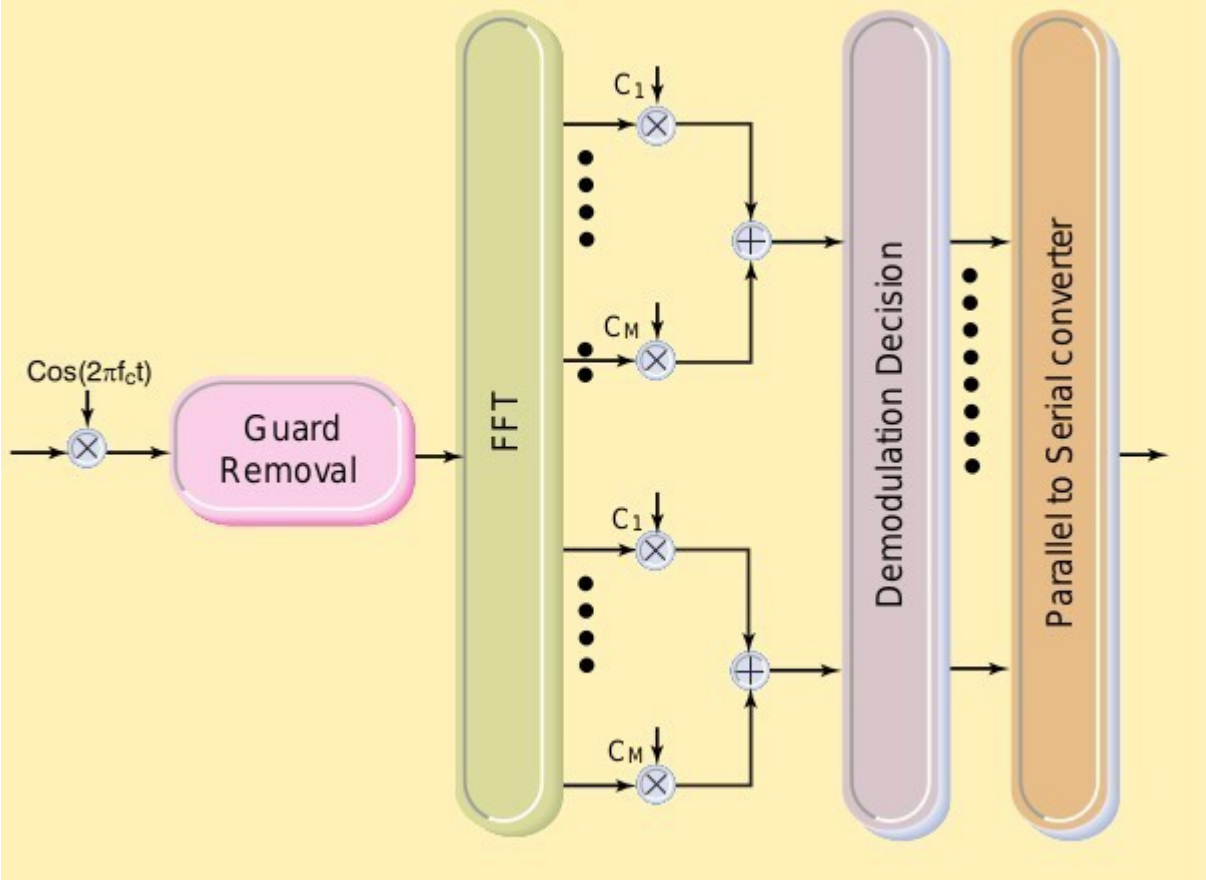


Рисунок 2.7 – Дизайн приемника в MC-CDMA

- При соответствующих условиях сигналы MC-CDMA будут распространяться по многолучевым каналам с небольшими искажениями.

- Поскольку края сигнала в частотной области формируются узкополосными функциями sinc(), спад на краю спектра сигнала MC-CDMA очень резкий. Следовательно, спектральная утечка в соседние полосы частот мала

. - Длительность символа намного больше, чем разброс задержки. Следовательно, сигнал MC-CDMA не чувствителен к расширению задержки и ISI, как другие схемы.

- Коэффициент расширения можно выбрать таким образом, чтобы маловероятно, чтобы все поднесущие находились в глубоком замирании и, следовательно, достигалось частотное разнесение.

- Компенсация ICI, вызванная доплеровским разбросом, возможна путем соответствующего взвешивания поднесущих. Сигналы MC-CDMA также могут быть обнаружены с помощью довольно простых структур приемника. Следовательно, система менее сложна из-за выравнивания в частотной области.

- Он имеет возможность подавления узкополосных помех.

- Современные методы DSP делают реализацию MC-CDMA осуществимой и привлекательной.

## 2.4 Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

В целом схемы NOMA можно разделить на два типа: мультиплексирование в области мощности и мультиплексирование в области кодирования. При мультиплексировании в области мощности разным пользователям назначаются разные коэффициенты мощности в соответствии с условиями их канала для достижения высокой производительности системы. В частности, на стороне передатчика накладываются информационные сигналы нескольких пользователей. На стороне приемника применяетс последовательное подавление помех (SIC) для декодирования сигналов один за другим до тех пор, пока не будет получен желаемый сигнал пользователя [8], что обеспечивает хороший компромисс между пропускной способностью системы и справедливостью для пользователя. При мультиплексировании в кодовой области разным пользователям назначаются разные коды, и они мультиплексируются с использованием одних и тех же частотно-временных ресурсов, таких как многопользовательский совместный доступ (MUSA) [9], множественный доступ с разреженным кодом (SCMA) [10] и расширение с низкой плотностью (LDC) [11]. В дополнение к мультиплексированию в области мощности и мультиплексированию в кодовой области существуют другие схемы NOMA, такие как множественный доступ с разделением по шаблону (PDMA) [12] и мультиплексирование с разделением по битам (BDM) [13]. Хотя мультиплексирование в кодовой области потенциально может повысить спектральную эффективность, оно требует широкой полос пропускания и не может быть легко применимо к современным системам. С другой стороны, мультиплексирование в домене мощности имеет простую реализацию, поскольку в существующих сетях не требуется значительных изменений. Кроме того, он не требует дополнительной полосы пропускания для повышения спектральной эффективности [14]. В этой работе мы сосредоточимся на NOMA домена мощности.

Хотя методы OMA могут обеспечить хорошую производительность системы даже с простыми приемниками из-за отсутствия взаимных помех между пользователями в идеальных условиях, они по-прежнему не способны решать возникающие проблемы из-за растущих требований в сетях 5G и последующих поколений. Например, согласно данным Международной мобильной связи (IMT) на 2020 год и далее [15], технология 5G должна поддерживать три основны категории сценариев, таки как усовершенствованная мобильная широкополосная связь (eMBB), массовая связь машинного типа (mMTC) и сверхнадежная связь с малой задержкой (URLLC). Основными сложными требованиями сценария eMBB являются воспринимаемая пользователем скорость передачи данных 100 Мбит/с и повышение эффективности использования спектра более чем в 3 раза по сравнению с предыдущими версиями LTE для предоставления услуг, включая видео высокой четкости, виртуальную реальность и дополненную реальность.

Поскольку к сети будут иметь доступ большое количество IoT-устройств, основной задачей mMTC является обеспечение плотности подключения в 1 миллион устройств на квадратный километр. В случае URLLC основными требованиями являются сквозная задержка 0,5 мс и надежность выше 99,999% [16–18]. Используя схему NOMA, для приложений mMTC и URLLC количество пользовательских подключений можно увеличить в 5 и 9 раз соответственно [18]. Кроме того, согласно [19], NOMA показала более высокую спектральную эффективность на 30 % для нисходящей линии связи и на 100 % для восходящей линии связи в eMBB по сравнению с OMA. Таким образом, NOMA был признан сильным кандидатом среди всех методов MA, поскольку он обладает важными характеристиками для преодоления проблем, связанных с аналогом OMA, и удовлетворения требований следующих систем мобильной связи [20–22]. Превосходство NOMA над OMA можно отметить следующим образом:

- Спектральная эффективность и пропускная способность: в OMA, например, в OFDMA, каждому пользователю назначается определенный частотный ресурс, даже если он находится в хорошем или плохом состоянии канала; таким образом, система в целом страдает низкой спектральной эффективностью и пропускной способностью. Наоборот, в NOMA один и тот же частотный ресурс назначается нескольким мобильным пользователям одновременно с хорошими и плохими условиями канала. Следовательно, ресурс, назначенный слабому пользователю, также используется сильным пользователем, и помехи могут быть уменьшены с помощью процессов SIC в приемниках пользователей. Следовательно, вероятность улучшения спектральной эффективности и высокой пропускной способности будет значительно увеличена, как показано на рисунке 2.8.

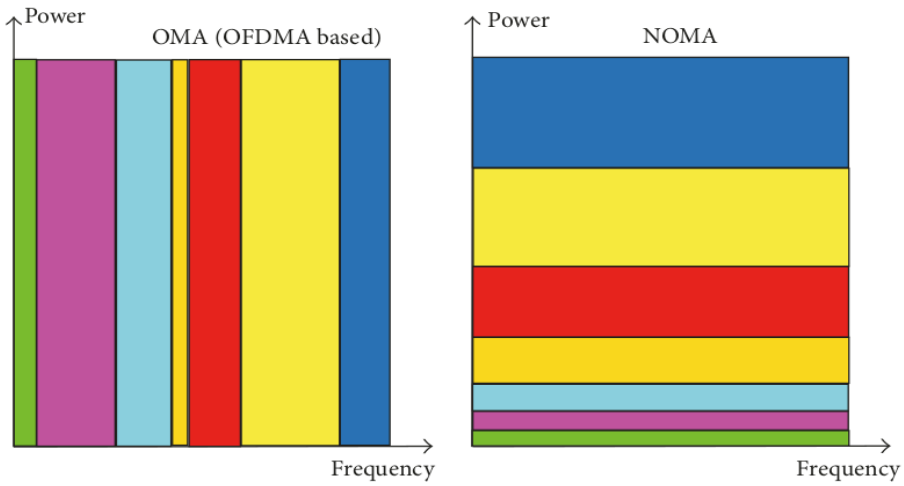


Рисунок 2.8 – Использование ресурсов в OMA и NOMA

- Справедливость пользователей, малая задержка и широкие возможности подключения: в OMA, например, в OFDMA с планированием, пользователь с

хорошим состоянием канала имеет более высокий приоритет для обслуживания, в то время как пользователь с плохим состоянием канала должен ждать доступа, что приводит к проблеме справедливости и высокой латентности. Этот подход не может поддерживать массовое подключение. Однако NOMA может одновременно обслуживать несколько пользователей с разными условиями канала; поэтому он может обеспечить повышенную справедливость для пользователей, меньшую задержку и более высокую массовую связь [20].

- Совместимость: NOMA также совместима с текущими и будущими системами связи, поскольку не требует значительных изменений существующей архитектуры. Например, NOMA была включена в проект долгосрочного развития партнерства третьего поколения (3GPP LTE Release 13) [23-29]. Более подробно, в стандартах используется нисходящая версия NOMA, многопользовательская передача с наложением (MUST) [23]. MUST использует концепцию кодирования с наложением для многопользовательской передачи в системах LTE-A. В сети радиодоступа (RAN) 3GPP при использовании MUST сценарии развертывания, методики оценки и предполагаемая схема NOMA были исследованы в [24–26] соответственно. Затем производительность на уровне системы и производительность на уровне канала NOMA были оценены в [27, 28] соответственно. Затем была предложена версия 14 3GPP LTE [29], в которой устранены внутрисотовые помехи, и, следовательно, LTE может поддерживать внутрисотовую многопользовательскую передачу с наложением по нисходящей линии связи. Кроме того, NOMA, известная как мультиплексирование с многоуровневым разделением каналов (LDM), используется в будущем стандарте цифрового телевидения ATSC 3.0 [30]. Более того, исследование стандартизации схем NOMA для 5G New Radio (NR) продолжается в рамках 3GPP LTE Release 15 [31].

Другими словами, более высокая производительность NOMA делает его оптимальным для обеспечения функций, которые должны быть реализованы в будущих поколениях систем беспроводной связи. Следовательно, исследователи предлагают NOMA в качестве сильного кандидата в качестве метода MA для следующих поколений [32]. Хотя NOMA имеет множество функций, которые могут поддерживать следующие поколения, у нее есть некоторые ограничения, которые следует устранить, чтобы использовать все ее преимущества. Эти ограничения можно указать следующим образом. В NOMA, поскольку каждому пользователю требуется декодировать сигналы некоторых пользователей перед декодированием собственного сигнала, вычислительная сложность приемника будет увеличена по сравнению с OMA, что приведет к большей задержке. Кроме того, информация об усилении каналов всех пользователей должна возвращаться на базовую станцию (BS), но это приводит к значительным издержкам обратной связи с информацией о состоянии канала (CSI). Кроме того, если какие-либо ошибки возникнут во время процессов SIC у любого пользователя, то вероятность ошибки последовательного декодирования будет увеличена. В результате количество пользователей

должно быть уменьшено, чтобы избежать такого распространения ошибок. Другая причина для ограничения количества пользователей заключается в том, что для повышения производительности сети необходимы значительные различия в усилении канала между пользователями с разными условиями канала.

Принцип работы OFDMA строится вокруг планирования на частотном и временном доменах. Среди всех известных схем OMA, OFDMA является наиболее оптимальным решением в контроллируемом участке сети. По этой причине OFDMA, на ряду с MU-MIMO, признается как главное превосходство технологии 802.11ax, так же известная как WIFI6. Однако, так как Mesh-сети по своей природе являются динамичными, где условия каналов и количество узлов в сети постоянно меняется, планирование как в частотном, так и во временном домене усложняется. В условиях высокой динамичности сети, таких как массовая связь машинного типа (mMTC), CAN (Campus Area Network), MAN (Municipal Area Network), WAN (Wide Area Network), использование OFDMA если и возможна, то не оптимальна. Тем не менее, в условиях высокого уровня контроля и организации, в LAN (Local Area Network), OFDMA из всех предложенных технологии является наиболее оптимальным.

MC-CDMA, из всех известных OMA является самым подходящим и простым в реализации принципом множественного доступа в динамичной среде. OFDMA, больше нагружает сеть, так как предполагает обмен сообщений о состоянии канала, для дальнейшего планирования трансмисии; в MC-CDMA такой потребности нет, хоть и нагрузка каждого отдельного символа OFDM больше, за счет кодирования. Следует принять во внимание, что добиться ортогональности или квазиортогональности кодирования маловероятно добиться с первой передачи, так как использование алгоритмов расширения кода требует какой-то степени организации.

NOMA является самым экспериментальным вариантом среди предложенных, так как меньше использовалась на практике и в данное время изучается и рассматривается. В то же время является самым многообещающим: NOMA предлагает высокую степень адаптивности системы передачи, что очень важно для динамически изменяемых сетей, в то время как ограничения, выявленные выше не являются релевантными в контексте Mesh-сетей:

- так как прием и передача сигналов других пользователей, как совместно со своим сигналом, так и отдельно, является принципом работы маршрутизации Mesh-сетей, повышение вычислительной сложности приемника является скорее нормой, чем отклонением;
- информацию об усилении каналов можно состовлять по рейтингу успешно принятых сообщений, как это происходит в работе модуля batman-adv;
- высокая надежность маршрутизации Mesh-сетей, обусловленная множеством доступных альтернативных путей передачи, ошибки процессов SIC не являются критичными для работы сети.

Выводя из вышеуказанных замечании, можно сказать, что исследование и реализация систем NOMA в Mesh-сетях должны принести плодородные результаты, и в идеале стать стандартом для передачи сообщений в Manet.

# 3 АЛГОРИТМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ

## 3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЛГОРИТМАХ МАРШРУТИЗАЦИИ В MESH-СЕТЯХ

Так как топология Mesh-сети имеют непостоянную структуру, где количество узлов и качество обмена сообщениями между ними может часто меняться, то для организации такой сети необходимо решить проблему маршрутизации. Протоколы маршрутизации таких сетей принято подразделять на четыре основные группы[1]:

- проактивные (табличные): OLSR, cjdns и т.д.;
- реактивные (зондовые): AODV, DSR и т.д.;
- гибридные: HWMP, HSLS и т.д.;
- дистанционно-векторная геомаршрутизация;

Проактивные протоколы предполагают присутствие таблицы маршрутизации на каждом узле сети Каждый узел сети исполняет периодический обмен таблицами среди ближайших устройств для поддержания достоверности и целостности информации о структуре сети. Слабой стороной такой маршрутизации является быстрый рост нагрузки на сеть за счет частого обмена сообщениями для поддержания и увеличение веса header-а каждого сообщения.

Реактивные протоколы не нуждаются в таблицах маршрутизации. Каждый узел перед обменом сообщениями зондирует доступную участок сети для установления адресата. После того как адресат будет установлен, обмен сообщениями будет производиться тем же путем, которым прошелся зонд. Недостатком данного подхода является большая задержка за счет поиска адресата

. Как правило, на практике используются гибридные протоколы. Они сочетают в себе подходы проактивных и реактивных протоколов на разных ступенях выполнения. Недостатком гибридных протоколов является сложность реализации и дополнительная нагрузка на устройства внутри сети за счет мер, выполнение которых необходимы для сочетания разных подходов. Например, разбиение сети на иерархии и/или классы.Также был разработан вариант протокола с дистанционно-векторной геомаршрутизацией. Его идея заключается в том, что каждый узел сети с периодичностью осуществляе broadcast рассылку hello-сообщений, содержащих как mac-адрес, так и географические координаты и время инициализации рассылки.На данный момент есть множество реализации Mesh-сетей разного уровня децентрализованности, с разными структурами и методами. Наиболее передовыми среди таких реализации являются Yggdrasil, cjdns, 802.11s, batman-adv.

## 3.2 ПРОТОКОЛ ПОСТРОЕНИЯ И МАРШРУТИЗАЦИИ MESH-СЕТЕЙ B.A.T.M.A.N-ADV

Для выполнения и изучения методов работы протоколов построения и маршрутизации Mesh-сетей, я выбрал протокол batman-adv (Better Approach to Mobile Ad-hoc Networking - Advanced), так как данный протокол оперирует на mac-уровне, что как указано выше, решает ряд проблем, и данный протокол включен в Linux kernel в качестве модуля начиная с версии 2.6.38, что гарантирует высокий уровень оптимизации.

Данный протокол разработан для Manet-сетей и позволяет находить маршруты передачи данных после реконфигурации сети. Он разрабатывеается в настоящее время сообществом "Freifunk".

Алгоритм маршрутизации batman версии 4 происходит следующим образом:

Каждый участник сети ведет таблицу маршрутизации. В таблице указываются соседи, которым можно передавать сообщение напрямую и рейтинг качества, составленный по количеству успешно полученных от этого узла сообщении. Каждый участник сети в формате broadcast периодический передает OGM (OriGinator Message) сообщение. OGM состоит из адресатора, адреса отправителя, TTL (Time To Live) и номером идентификации. Для получателя такого сообщения возможна одна из трех сценариев[2]:

- инициатор не известен, отправитель известен - инициатор добавляется в таблицу в качестве соседа отправителя, и номер всех сообщений полученных от данного отправителя увеличивается на один;
- инициатор известен, отправитель не известен - отправитель добавляется в таблицу в качестве соседа инициатора, и номер всех сообщений полученных от данного отправителя увеличивается на один;
- инициатор известен, отправитель известен - номер всех сообщений полученных от данного отправителя увеличивается на один.

Отправитель с самым большим количеством успешно полученных сообщений обозначается как самый оптимальный путь. Таким образом, BATMAN можно считать алгоритмом маршрутизации, опирающийся на качестве передачи.

Важной характеристикой данного протокола является то, что ни один узел данной сети не имеет полную информацию о пути сообщений в передаче. Header-ы каждого сообщения сформулированы таким образом, что каждый узел знает только о предыдущем отправителе сообщения и конечную цель отправляемого сообщения, в то время как инициатор данного сообщения остается анонимным для всех, кроме его адресата. Эта характеристика стала возможной благодаря векторному характеру маршрутизации. При заполнении таблицы маршрутизации, каждое устройство знает лишь о существовании первого соседнего доступного устройства, через которого можно обратиться к

последующим устройтсвам в сети. Как только один из узлов получает сообщение, которое должно быть передано другому узлу в сети, узел передает данное сообщение самому оптимальному соседнему узлу, через которого можно обратиться к адресату сообщения. Принятие такого решения предстоит перед каждым узлом в пути одного сообщения, которая предопределяется рейтингом в таблице маршрутизации, что так же значительно увеличивает отказоустройчивость такой сети.

В более ранних протоколах Mesh-сетей, такой как OSLR, в таблице маршрутизации каждого узла записывается каждый узел в пути от одного устройства к другой. Данное отличие была назначена на то, чтобы уменьшить header сообщения, тем самым уменьшая средную нагрузку на сеть при передаче сообщении. В результате, протокол batman-adv добился не только более оптимального подхода к маршрутизации, но и анонимности инициаторов обмена данными. Эффект данной характеристики можно сравнить с тем, если бы у каждого участника сети были бы VPN, которая маскировало бы их адрес на каждом шаге обмена сообщениями.

Реализацию протокола batman-adv, batctl, можно установить на любое устройство с поддержкой Linux системы с версией Linux kernel 2.6.38 и выше. Для корректной работы batctl сетевой интерфейс устройства должен поддерживать IBSS и/или Mesh point режимы.

batctl создает виртуальный сетевой интерфейс, так же известный как TUN интерфейс, с названием bat0:

batctl create

Данный интерфейс берет под контроль существующий физический сетевой интерфейс, который должен быть заранее настроенным на режим IBSS или Mesh point на определенной частоте.

batctl if add wlan0, - wlan0 - сетевой интерфейс

Для обмен сообщениями, контроль и конфигурация сети происходит через модуль batctl, например, команда "batctl n" показывает таблицу видимых устройств в сети, команда "batctl o" показывает таблицу всех конечных устройств и ближайший узел, через которую можно связаться с конечным устройством.

Модуль batctl так же можно использовать для построения bridge в случае, если устройство находится в двух или больше сетях одновременно. Для этого все активные сетевые интерфейсы нужно установить под контроль виртуального сетевого интерфейса bat0, и следующими командами проложить bridge:

modprobe bridge
brctl addbr Mesh0
brctl addif Mesh0 wlan0
modprobe batctl
batctl if add Mesh0

Это означает, что Mesh-сети в целом и batctl в частности можно использовать для протяжения сети Интернет в местностях, где прямое

подключение не возможна, если минимум одна из устройств Mesh-сети имеет подключение к Интернету.

Важно так же отметить, что протоколы верхних уровней модели OSI не видят и не конфликтуют с batctl, так как batman-adv использует и передает Ethernet фреймы. Это так же означает, что все существующие в интернет пространстве сервисы так же доступны и для Mesh-сетей, построенные на batman-adv - как клиент-серверные приложения, так и стандарты шифрования.

За процессом работы протокола batman-adv можно проследить и проводить тестирование благодаря встроенным в модуль batctl консольным командам. Наиболее важными в изучении алгоритма маршрутизации batman-adv я бы выделил команды:

- «batctl n», показывающее все соседние узлы;
- «batctl o», показывающее всю таблицу маршрутизации и соседний узел, через которую можно обратиться к крайним узлам;
- «batctl tr», показывающее путь, через которую сообщения будут проходить от отправителя к адресату;
- «batctl ping», показывающее доступна ли связь с заданным узлом через получение ответа на запрос.

При изучений методов маршрутизации протокола batman-adv было использовано 4 устройства с операционной системой семейства Debian. Установка и настройка сетевых интерфейсов проходило через использование shell команд.

```
Open   batman.sh ~/Documents   Save
#!/bin/bash
PACKAGES="build-essential checkinstall pkg-config curl libnl-genl-3-200 libnl-3-dev libnl-genl-3-200 libnl-genl-3-dev git gettext-base net-tools wireless-tools batctl"
apt update && apt upgrade -y
apt install -y $PACKAGES
cd /usr/src
modprobe batman-adv
service network-manager stop
iw phy phy0 interface add pub0 type ibss
ip link set up mtu 1532 dev pub0
iw dev pub0 ibss join PubMesh 2412
batctl if create
batctl if add pub0
ifconfig pub0 up
ifconfig bat0 up
batctl n
```

Рисунок 3.1 – Файл формата shell для установки и настройки batctl

Как видно из рисунка 3.1, для оптимальной работы и дебаггинга модуля batctl требуется установка пакетов для манипуляции сетевыми процессами, наряду с самим модулем. Отдельно я бы выделил пакеты net-tools и wireless-tools, которые используются для операции с сетевыми интерфейсами. Затем, создается новый сетевой интерфейс типа ibss, или настраиваетс существующий, если система не поддерживает или не позволяет создать новый сетевой интерфейс. Как только в системе имеется интерфейс типа ibss, его можно соединять в Mesh-сеть на любой из доступных каналов. Для данной работы был подобран канал на частоте 2,414 ГГц, так как данный канал – с

наименьшей доступной частотой, хоть и ограничен в скорости передачи пакетов, является самым надежным при передачи сообщении дальних расстояниях или через стены. Как только сетевой интерфейс подключен к Mesh-сети, он назначается модулю batctl. Далее, через модуль batctl можно получать метрики сети и настраивать сеть.

Первым шагом в тестировании сети на batman-adv является набор команды «batctl n», чтобы убедиться, что устройство подключено к сети корректно, и может взаимодействовать с другими устойствами в сети.

```
smraty@smraty:~/sh-files$ sudo batctl n
[B.A.T.M.A.N. adv 2021.1, MainIF/MAC: pub0/3c:a0:67:fb:9c:37 (bat0/22:46:f8:04:a9:f2 BATMAN_IV)]
IF             Neighbor              last-seen
         pub0     28:39:26:43:3f:9b   15.312s
```

Рисунок 3.2 – Результат команды «batctl n»

В рисунке 3.2 мы можем видеть, что наше устройство с mac-адресом 3c:a0:67:fb:9c:37 может взаимодействовать с соседним устройством с mac-адресом 28:39:26:43:3f:9b.

При проведении тестовых работ, устройства были размещены таким образом, чтобы две крайние устройства видели только одно соседнее устройство, и чтобы два устройства в середине соединяли две крайние устройства.

Рисунок 3.3 – Размещение устройств сети во время тестирования

Следующим шагом будет убедиться в том, что наше устройство видит все узлы сети. Для этого вводим команду «batctl o».

```
smraty@smraty:~/sh-files$ sudo batctl o
[B.A.T.M.A.N. adv 2021.1, MainIF/MAC: pub0/3c:a0:67:fb:9c:37 (bat0/22:46:f8:04:a9:f2 BATMAN_IV)]
   Originator        last-seen (#/255) Nexthop           [outgoingIF]
 * 28:39:26:43:3f:9b    0.488s   (229) 28:39:26:43:3f:9b [      pub0]
 * c0:14:3d:d1:55:33    0.856s   (  7) 28:39:26:43:3f:9b [      pub0]
 * 4c:ed:de:25:f5:06    1.936s   ( 13) 28:39:26:43:3f:9b [      pub0]
```

Рисунок 3.4 – Результат команды «batctl o»

На рисунке 3.4 можно заметить, что нашему устройству не известно, что связь с устройством 4c:ed:de:25:f5:06 осуществляется чере узел c0:14:3d:d1:55:33. С точки зрения нашего устройства обмен сообщениями с каждым узлом осуществляется через устройство 28:39:26:43:3f:9b.

В третей колонне результата команды «batctl o» размещен рейтинг качества связи с каждым устройством. Чем ближе этот рейтинг к числу 255, тем лучше качество связи.

Чтобы убедиться в том, что обмен сообщениями с устройством 4c:ed:de:25:f5:06 проходит именно по тому пути, которая выстраивается по алгоритму маршрутизации, мы вводим команду «batctl tr 4c:ed:de:25:f5:06». Эта команда посылает считанные байты в качестве зонда, и собирает данные о проделанном пути данного зонда.

```
smraty@smraty:~/sh-files$ sudo batctl tr 4c:ed:de:25:f5:06
traceroute to 4c:ed:de:25:f5:06 (4c:ed:de:25:f5:06), 50 hops max, 20 byte packets
 1: 28:39:26:43:3f:9b  0.775 ms  1.166 ms  1.365 ms
 2: 4c:ed:de:25:f5:06  2.509 ms  20.017 ms  2.576 ms
```

Рисунок 3.5 – Результат команды «batctl tr 4c:ed:de:25:f5:06»

Снова мы можем убедиться в том, что для нашего устройства не известно, что путь пролегает через устройство c0:14:3b:d1:55:33.

Также, чтобы убедиться в том, что две крайние устройства могут проложить и поддерживать связь друг с другом, мы можем использовать команду «batctl ping [mac-адрес устройства]».

```
smraty@smraty:~/sh-files$ sudo batctl ping 4c:ed:de:25:f5:06
PING 4c:ed:de:25:f5:06 (4c:ed:de:25:f5:06) 20(48) bytes of data
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=1 ttl=49 time=10.00 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=2 ttl=49 time=158.56 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=3 ttl=49 time=19.69 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=4 ttl=49 time=9.04 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=5 ttl=49 time=34.98 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=6 ttl=49 time=10.03 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=7 ttl=49 time=144.08 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=8 ttl=49 time=28.78 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=9 ttl=49 time=35.46 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=10 ttl=49 time=191.79 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=11 ttl=49 time=17.91 ms
Reply from host 4c:ed:de:25:f5:06 timed out
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=13 ttl=49 time=2.52 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=14 ttl=49 time=224.54 ms
20 bytes from 4c:ed:de:25:f5:06 icmp_seq=15 ttl=49 time=2.99 ms
^C--- 4c:ed:de:25:f5:06 ping statistics ---
15 packets transmitted, 14 received, 6% packet loss
rtt min/avg/max/mdev = 2.519/63.598/224.536/75.965 ms
```

Рисунок 3.6 – Результат команды «batctl ping 4c:ed:de:25:f5:06»

На устройствах, использованных для тестов имелись следующие адаптеры беспроводной связи:

- Realtek RTL8821ce 802.11ac со средней скоростью передачи данных во время тестов - 1.942 Мб/с;
- Qualcomm Atheros QCA9377 802.11ac со средней скоростью передачи данных во время тестов - 1.008 Мб/с;
- Broadcom BCM4313 802.11n со средней скоростью передачи данных во время тестов - 810 Кб/с;
- Broadcom BCM4313 802.11n со средней скоростью передачи данных во время тестов - 585 Кб/с.

# 4 WEB3, МИКРОСЕРВИСЫ И P.UB

Современная концептуальная идея интернет технологии, основанные на массивной инфраструктуре принято называть «Web2». Данная идея описывается как «интернет как платформа», в котором данные и контент централизованы у крупных транснациональных компании, так же называемые «Big Tech»; пользователи, в свою очередь, являются потребителями поставляемых данных и контента. Данная концепция поддерживается в первую очередь тем, что массивная инфраструктура – базовые станции, дата центры, являются ядром всех существующих интернет-сервисов. Если Mesh-сетевые технологии, как указано выше, не предусматривают использование такой инфраструктуры. Следовательно, концепция использования сетевых ресурсов в Mesh-сетях требует перерассмотрения.

Web3 — это идея новой итерации Всемирной паутины на основе блокчейна, которая включает в себя такие концепции, как децентрализация и экономика на основе токенов. Термин был придуман в 2014 году соучредителем Ethereum Гэвином Вудом, а в 2021 году идеей заинтересовались криптовалютные энтузиасты, крупные технологические компании и венчурные фирмы[33].

Блокчейны обычно управляются одноранговой сетью для использования в качестве общедоступной распределенной книги, где узлы коллективно придерживаются протокола для связи и проверки новых блоков. Хотя записи блокчейна не являются неизменными, поскольку возможны разветвления, блокчейны могут считаться безопасными по своей конструкции и служить примером распределенной вычислительной системы с высокой византийской отказоустойчивостью.

Рост популярности идеи блокчейна стал отправной точкой в заинтересованности широкой публики Mesh-сетевыми технологиями, так как слова «децентрализация», и «одноранговая сеть» являются ключевыми для обеих технологии. По этой причине, объединение этих двух концепции органична.

Сервисы в контексте одноранговых децентрализованных сетей должны соответствовать стандартам, отличных от стандартов технологии Web2. В частности, приложения, работающие совместно с сетью – клиенты, должны быть разработаны таким образом, чтобы работа, скачивание и установка данных приложении происходило наиболее оптимально в формате peer-to-peer. Как указано выше, Mesh-сети являются высоко динамичными. Качество связи или его присутствие может меняться в зависимости от различных факторов. Важно, чтобы проблемы разрыва или уменьшения качества связи не имели критический характер – приложения должны быть минимальными по объему, должны выполнять элементарные и легкозаменяемые функции. Такому требованию соответствует метод разработки приложения, как микросервисная архитектура.

Микросервисная архитектура — вариант сервис-ориентированной архитектуры программного обеспечения, направленный на взаимодействие насколько это возможно небольших, слабо связанных и легко изменяемых модулей — микросервисов, получивший распространение в середине 2010-х годов в связи с развитием практик гибкой разработки и DevOps[34].

Если в традиционных вариантах сервис-ориентированной архитектуры модули могут быть сами по себе достаточно сложными программными системами, а взаимодействие между ними зачастую полагается на стандартизованные тяжеловесные протоколы (такие, как SOAP, XML-RPC), в микросервисной архитектуре системы выстраиваются из компонентов, выполняющих относительно элементарные функции, и взаимодействующие с использованием экономичных сетевых коммуникационных протоколов (в стиле REST с использованием, например, JSON, Protocol Buffers, Thrift). За счёт повышения гранулярности модулей архитектура нацелена на уменьшение степени зацепления и увеличение связности, что позволяет проще добавлять и изменять функции в системе в любое время.

P.UB в свою очередь представляет из себя платформу, констеллирующую в себе идеи Mesh-сетей и микросервисной архитектуры. Проект P.UB выполняет две функции:

- построение и марштуризация Mesh-сетей, на основе протокола B.A.T.M.A.N-adv;
- библиотека сервисов и приложении, доступных пользователю в настоящий момент.

Использование протокола B.A.T.M.A.N-adv в настоящее время требует определенного уровня подготовки в сфере компьютерных сетей Автоматизация данного процесса в рамках P.UB сделает использование Mesh-сетей более доступным и привлекательным для широких масс. Для этого используется единичная инструкция для командного интерпретатора bash – batman.sh.

```
1 #!/bin/bash
2 PACKAGES="build-essential checkinstall pkg-config curl libnl-genl-3-200 libnl-3-dev libnl-genl-3-200 libnl-genl-3-dev git gettext-base net-tools
  wireless-tools batctl"
3 apt update && apt upgrade -y
4 apt install -y $PACKAGES
5 cd /usr/src
6 modprobe batman-adv
7 service network-manager stop
8 iw phy phy0 interface add pub0 type ibss
9 ip link set up mtu 1532 dev pub0
10 iw dev pub0 ibss join PubMesh 2412
11 batctl if create
12 batctl if add pub0
13 ifconfig pub0 up
14 ifconfig bat0 up
```

Рисунок 4.1 – batman.sh

Библиотека сервисов и приложении в P.UB представляет из себя компиляцию всех микросервисных приложении, оптимизированных для использования в соответствии со стандартами, представленные проектом P.UB:

- сервисы должны передавать пакеты, в соответствии с Ethernet – TCP, UDP и т.д.

- формат сообщении должны соответствовать стандарту RESTfull – использовать такие протоколы, как JSON, XML и т.д.;

- передача сообщении должна быть зашифрована актуальным методом шифрования. На момент написания диплома, таковым методом можно назвать WPA2.

По разрешению пользователей сети, данные приложения будут доступны для скачивания видимым узлам Mesh-сети. Файлы приложеии и данные о приложениях будут передаваться в формате peer-to-peer.

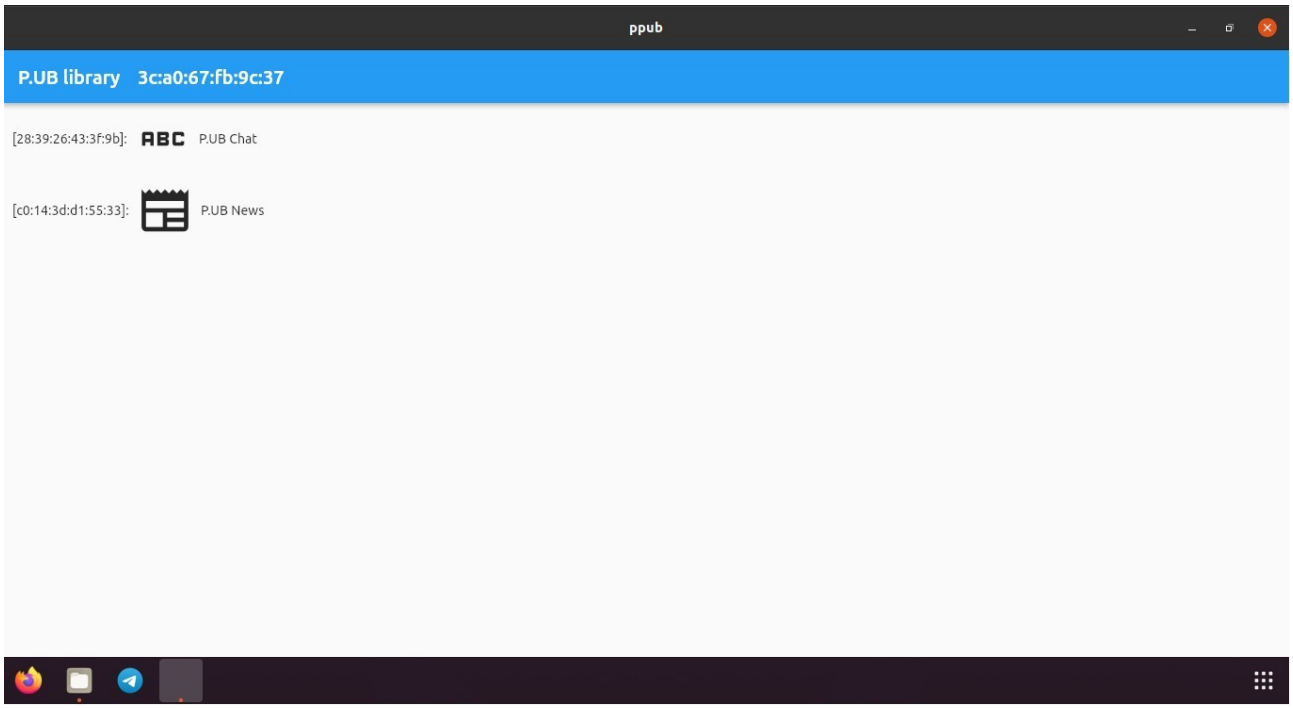


Рисунок 4.2 – Библиотека микросервисных приложении «P.UB library»

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена на ознакомление с технологией Mesh-сетей в целом и протоколом построения Mesh-сетей batman-adv в частности. Целью данной работы является указание предлагаемых технологией Mesh-сетей возможностей для расширения и оптимизации линии связи, достижения анонимности и личной безопасности пользователя при использовании Mesh-сетей для связи; а так же обсуждение актуальных проблем Mesh-сетей и предложение их решении.

Первый раздел данной работы назначена на ознакомление с основными характеристиками Mesh-сетевых технологии, условиями из применения, закономерностями принципа работы, а так же настоящие проблемы в построении Mesh-сетей.Второй раздел просвящяет о принципах работы существующих протоколах маршрутизации в Mesh-сетевых технологиях, отмечает их различия, выделяет их сильные и слабые стороны. Выделяет протокол построения и маршрутизации Mesh-сетей batman-adv, повествует о принципе работы данного протокола и отмечает его отличие от других протоколов. Назначен на пример использования модуля протокола batman-adv, batctl, на устройстве с операционной системой семейства Debian – дистрибутив ядра Linux.

Третий раздел поднимает вопрос о правильном подборе технологии мультиплексирования в контексте Mesh-сетей. В этом разделе проводится ознакомление с историей развития современных технологии мультиплексирования, с принципами их работы и их применение в Mesh-сетях. Технология OFDMA признана наиболее оптимальной в контроллируемой среде, MC-CDMA как наиболее оптимизированная под использование в Mesh-сетях, и NOMA как самое экспериментальное, но с наибольшим потенциалом.

Четвертый раздел посвящяет о перерассмотрении концепции использования сетевых ресурсов в рамках Mesh-сетей. Дается пояснение таких терминов, как Web3, микросервисы; представляется идея и реализация проекта P.UB.

Пятый раздел посвящен использованию Mesh-сетевых технологии совместно со спутниковой связью, для оптимизации сервисов спутникового интернета. Приведен пример спутникового семейства Iridium, на основе этого примера была проведена оценка оптимизации при совместном использовании Mesh-сетевых технологии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ


[1] Сравнение протоколов маршрутизации в Manet-сетях Евразийский // Союз Ученых (ЕСУ) # 1 (22), 2016 | ТехничЕСКИЕ НАУКИ

[2] Ligang Liu, Jianpo Liu, Hanwang Qian, Jun Zhu, Performance Evaluation of BATMAN-adv Wireless Mesh Network Routing Algorithms // Лаборатория науки и техники в области микросистем, Шанхайский институт микросистем и информационных технологий, Китайская академия наук.

[3] J. Cioffi et. al, Understanding Digital Subcriber Line Technology, Прентис Холл, 1998.

[4] «Mobile phone and WLAN», 1 апреля 2012 г., Enhanced Wireless, автор ewc// http://www.enhancedwirelessconsortium.org/home/

[5] M. S. Gast, 802.11 Wireless Networks, O'Reilly Publications, 2-е издание, Апрель 2005.

[6] S. T. Chung and A. Goldsmith, «Degrees of freedom in adaptive modulation: an unified view,» IEEE Trans. Commun., том 49, Бюль. 9, стр. 1561-1571, Сентябрь 2001.

[7] J. Jang and K. B. Lee, «Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems,». IEEE J. Select. Areas Commun., том 21, стр. 171-178, Февраль 2003.

[8] S. Verdu, Multiuser Detection, Cambridge University Press, Нью-Йорк, США, 1-е издание, 1998 г.

[9] Z. Yuan, G. Yu, and W. Li, «Multi-User Shared Access for 5G,» Telecommunications Network Technology, том 5, Бюль. 5, стр. 28-30, Май 2015.

[10] H. Nikopour and H. Baligh, «Sparse code multiple access,» в материалах 24-го ежегодного международного симпозиума IEEE по персональной внутренней и мобильной радиосвязи (PIMRC '13), стр. 332–336, IEEE, Лондон, Великобритания, сентябрь 2013 г.

[11] R. Hoshyar, F. P. Wathan, and R. Tafazolli, «Novel low-density signature for synchronous CDMA systems over AWGN channel,» Транзакции IEEE при обработке сигналов, том 56, Бюль. 4, стр. 1616–1626, 2008.

[12] J. Zeng, D. Kong, X. Su, L. Rong, and X. Xu, «On the performance of pattern division multiple access in 5G systems,» в материалах 8-й Международной конференции по беспроводной связи и обработке сигналов, WCSP 2016, стр. 1–5, Янчжоу, Китай, октябрь 2016 г.

[13] J. Huang, K. Peng, C. Pan, F. Yang, and H. Jin, «Scalable video broadcasting using bit division multiplexing,» Транзакции IEEE при вещании, том 60, Бюль. 4, стр. 701–706, 2014.

[14] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. I, and Z. Wang, «Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends,» Коммуникационный журнал IEEE, том 53, Бюль. 9, стр. 74–81, 2015.

[15] «Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,» Тех. Отчет МСЭ-R M.2083-0, 2015 г., // http://www.itu.int/ITU-R/.

[16] S. Hao, J. Zeng, X. Su, and L. Rong, «Application scenarios of novel multiple access (NMA) technologies for 5G,» в Достижениях в области интеллектуальных систем и вычислений, том. 570, стр. 1029–1033, Springer, Чам, Швейцария, 2017 г.

[17] «Overview of new radio interface,» Tech.Rep. 3GPP R1-162332, Фуджитсу, Бусан, Корея, Апрель 2016.

[18] «Multiple access for 5G new radio interface,» Тех. Отзыв 3GPP R1-162305, CATT, Бусан, Корея, Апрель 2016.

[19] «Candidate solution for new multiple access,» Тех. Отчет 3GPP R1-162306, CATT, Бусан, Корея, Апрель 2016.

[20] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, «Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access,» в материалах 77-й конференции IEEE по автомобильным технологиям (VTC ’13), стр. 1–5, Дрезден, Германия, июнь 2013 г.

[21] Z. Ding, Y. Liu, J. Choi et al., «Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks,» Журнал связи IEEE, том. 55, нет. 2, стр. 185–191, 2017.

[22] Z. Ding, X. Lei, G. K. Karagiannidis, R. Schober, J. Yuan, and V. K. Bhargava, «A Survey on Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Networks: Research Challenges and Future Trends,» Журнал IEEE по отдельным областям коммуникаций, том. 35, нет. 10, стр. 2181–2195, 2017.

[23] «Study on downlink multiuser superstition transmission (MUST) for LTE (Release 13),» Тех. Отв. TP 3GPP 36.859, 2015.

[24] «Evaluation methodologies for downlink multiuser superposition transmissions,» Тех. Отчет 3GPP R1-153332, NTT DOCOMO Inc.,Фукуока, Япония, май 2015 г.

[25] «Deployment scenarios for downlink multiuser superposition transmissions,» Тех. Отчет 3GPP R1-152062, NTT DOCOMO Inc., Белград, Сербия, апрель 2015 г.

[26] «Candidate non-orthogonal multiplexing access scheme,» Тех. Отчет 3GPP R1-153335, MediaTek Inc., Фукуока, Япония, май 2015 г.

[27] «System-level evaluation results for downlink multiuser superposition schemes,» Тех. Отчет 3GPP R1-154536, NTT DOCOMO Inc., Пекин, Китай, август 2015 г.

[28] «Link-level evaluation results for downlink multiuser superposition schemes,» Тех. Отчет 3GPP R1-154537, NTT DOCOMO Inc., Пекин, Китай, август 2015 г.

[29] «New work item proposal: Downlink multiuser superposition transmission for LTE,» Тех. Отчет 3GPP R1-160680, MediaTek Inc., Гетеборг, Швеция, март 2016 г.

[30] L. Zhang, W. Li, Y. Wu et al., «Layered-Division-Multiplexing: Theory and Practice,» Транзакции IEEE при вещании, том 62, Бюль. 1, стр. 216–232, 2016.

[31] «New study item proposal: study on non-orthogonal multiple access for NR,» Тех. Отчет 3GPP RP-170829, ZTE-CATT-Intel-Samsung, Дубровник, Хорватия, Март 2016 г.

[32] «Rethink Mobile Communications for 2020+,» FUTURE Mobile Commun. Форум 5G SIG, 2014 г., // http://www.future-forum.org/dl/141106/whitepaper.zip.

[33] «Web3», Статья в Wikipedia, 27 мая 2022г // https://en.wikipedia.org/wiki/Web3

[34] «Микросервисная архитектура», Статья в Wikipedia, 16 Ноября 2020г // https://ru.wikipedia.org/wiki/Микросервисная_архитектура

[35] «Manual for ICAO Aeronautical Mobile Satellite (ROUTE) service. Part 2-IRIDIUM», Тех. Отчет Международной Организации Гражданской Авиации ICAO, изд. 4, стр. 3-5, Март 2007г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу

Ильяс Дәулет Максатұлы

5В074600 – Космическая техника и технологии

Тема: «P.UB - Социальные сети на базе микросервисов»

Данная работа посвящена на ознакомление с технологией меш-сетей в целом и протоколом построения меш-сетей batman-adv в частности; использование микросервисной архитектуры для оптимизации работы сетевых ресурсов и приложении.

Первый раздел данной работы назначена на ознакомление с основными характеристиками Mesh-сетевых технологии, условиями из применения, закономерностями принципа работы, настоящие проблемы в построении Mesh-сетей, использование Mesh-сетевых технологии совместно со спутниковой связью, для оптимизации сервисов спутникового интернета.

Второй раздел поднимает вопрос о правильном подборе технологии мультиплексирования в контексте Mesh-сетей, принципамы их работы и их применение в Mesh-сетях.

Третий раздел просвящяет о принципах работы существующих протоколах маршрутизации в Mesh-сетевых технологиях, отмечает их различия, выделяет их сильные и слабые стороны.

Четвертый раздел посвящяет о перерассмотрении концепции использования сетевых ресурсов в рамках Mesh-сетей. Дается пояснение таких терминов, как Web3, микросервисы; представляется идея и реализация проекта P.UB.

Дипломную работу считаю успешно проделанной. Дипломант проявил высокие навыки работы с литературой, в том числе с интернет-ресурсами; анализа работы различных сетевых протоколов в канальной, сетевой и транспортной уровнях; программирования и разработки приложении на микросервисной архитектуре. Работа оценивается в 80 баллов. Ильяс Дәулет Максатұлы заслуживает звание бакалавра.

**Научный руководитель**
Кандидат физико-математических наук
Ассоциированный профессор
_____ К. Х. Жунусов

«27» _____05_____ 2022 г.

# РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу Ильяса Дәулет Максатұлына тему «P.UB - Социальные сети на базе микросервисов» представленную на соискание бакалавра техники и технологии по образовательные программы 5В074600 – Космическая Техника и Технологии

Данная работа посвящена на ознакомление с технологией Mesh-сетей в целом и протоколом построения Mesh-сетей batman-adv в частности; использование микросервисной архитектуры для оптимизации работы сетевых приложении. Целью данной работы является указание предлагаемых технологией Mesh-сетей возможностей для расширения и оптимизации линии связи, достижения анонимности и личной безопасности пользователя при использовании Mesh-сетей для связи; приведение причин перерассмотрения использования сетевых ресурсов и использование микросервиной архитектуры; а так же обсуждение актуальных проблем Mesh-сетей и предложение их решении.

Первый раздел данной работы назначена на ознакомление с основными характеристиками Mesh-сетевых технологии, условиями из применения, закономерностями принципа работы, настоящие проблемы в построении Mesh-сетей, использование Mesh-сетевых технологии совместно со спутниковой связью, для оптимизации сервисов спутникового интернета.

Второй раздел поднимает вопрос о правильном подборе технологии мультиплексирования в контексте Mesh-сетей. В этом разделе проводится ознакомление с историей развития современных технологии мультиплексирования, с принципами их работы и их применение в Mesh-сетях.

Третий раздел просвящяет о принципах работы существующих протоколах маршрутизации в Mesh-сетевых технологиях, отмечает их различия, выделяет их сильные и слабые стороны.

Четвертый раздел посвящяет о перерассмотрении концепции использования сетевых ресурсов в рамках Mesh-сетей. Дается пояснение таких терминов, как Web3, микросервисы; представляется идея и реализация проекта P.UB.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ

Дипломная работа выполнена на оценку /А/ «Отлично», а дипломант, Ильяс Дәулет Максатұлы достоен степени бакалавра техники и технологии по образовательные программы 5В074600 – Космическая техника и технологии.

**Рецензент**

Кандитат технических наук, ассоциированный профессор КазНАИУ

Токмолдаев Аманжол Бектурсынович

«27» 05 2022 г.

ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ АГРАРЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ
«IT - технологиялар, автоматтандыру және агронеркәсіптік кешенін механизациялау» факультеті

**Протокол**

**о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)**

**Автор:** Ильяс Дәулет Максатұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** P.UB - Социальные сети на базе микросервисов

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 9.9

**Коэффициент Подобия 2:** 4.7

**Микропробелы:** 1

**Знаки из здругих алфавитов:** 2

**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:

28.05.2022
*Дата*

Маркеева С.
*проверяющий эксперт*

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Ильяс Дәулет Максатұлы**

**Тақырыбы: P.UB - Социальные сети на базе микросервисов**

**Жетекшісі: Канат Жунусов**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 9.9**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.7**

**Дәйексөз (35): 1.2**

**Әріптерді ауыстыру: 2**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 1**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

☑ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

28.05.2022
*Күні*

*Кафедра меңгерушісі*

**Протокол**

**о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)**

**Автор:** Ильяс Дәулет Максатұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** P.UB - Социальные сети на базе микросервисов

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 9.9

**Коэффициент Подобия 2:** 4.7

**Микропробелы:** 1

**Знаки из здругих алфавитов:** 2

**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:

28.05.2022

*Дата*

*Заведующий кафедрой*