

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Канатулы Жанибек

Внедрение технологии LoRaWan в городе Астана

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

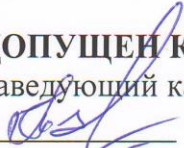
Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматике и информационных технологии

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологии»

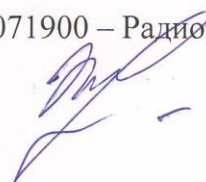
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
 Таштай Е.Т.
«20» 05 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА


На тему: «Внедрение технологии LoraWan в городе Астана»


по специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил



Канатулы Ж.

Рецензент
Канд.техн.наук, ст.преподаватель
КазНУ им.Аль-Фараби
 Абдуллаев М.А.
«20» 05 2022 г.

Научный руководитель
лектор каф.ЭТиКТ
КазНУ им.К.И.Сатпаева
 Джунусов Н.А.
«27» 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

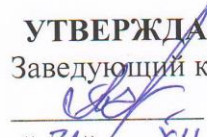
Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

5B071900– Радиотехника,электроника и телекоммуникации

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

 Таштай Е.Т.
« 21 » XII 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Канатулы Жанибек

Тема: Внедрение технологии LoraWan в городе Астана

*Утверждена приказом Ректора Университета №489-П/Ө от «24»
декабря 2022 года.*

Срок сдачи законченной работы «20» мая 2022г.

Исходные данные к дипломной работе: скорость обмена данными технологии LoRaWAN от 300 бит/с до 100 Кбит/с; расстояние передачи более 100 км; протокол LoRaWAN способен получить около 1,5 млн. пакетов в день; антенна диапазона 868 МГц; полоса частот в диапазоне от 7,8 до 500 кГц; максимальная длина пакета составляет 256 байт.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Анализ технологии LoraWan;
- б) Краткий обзор существующих проектов LPWAN;
- в) Выбор оборудования для внедрения технологии LoraWAN
- г) Расчет основных параметров системы LoRaWAN

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Структура сети LoRaWAN;
2. Скорость в сетях LoRaWAN;
3. Внедрение технологии LoraWan;
4. Структурная схема шлюза на базе SX1301
5. Услуги сети LoRaWAN
6. Соотношении сигнал/шум на входе радиоприемного тракта

Рекомендуемая основная литература:

- 1). LoRaWAN: широкие возможности сети дальнего радиуса.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.iot.ru (27.01.20)
- 2). Кучерявый А. Е., Кучерявый Е. А., Прокопьев А. В. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич. 2011. 312 с.
- 3). Рошан Педжман, Лиэри Джонатан. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.15.4.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. - 304 с.
- 4). Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Учебник для вузов / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержевский. Под. Ред. Г. А. Ерохина. 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004.
- 5). “All about LoRa modulation” <https://www.postscapes.com/long-rangewireless-iot-protocol-lora/> (дата обращения: 09.03.2017).

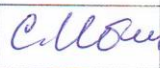
ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Анализ технологии LoraWan	1.02.2022	выполнено
Проектирование сети LoraWan	1.03.2022	выполнено
Выбор оборудования для внедрения технологии LoraWan	25.03.2022	выполнено
Расчет основных параметров системы LoRaWAN	15.04.2022	выполнено

Подписи

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

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Магистр технических наук, лектор С.Ибекеев	20.05.2022	

Научный руководитель  Джунусов Н.А.

Задание принял к исполнению студент  Канатулы Ж.

Дата «20» « 05 » 2022 г.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена вопросам, связанным с понятием технология Lo-RaWAN и его внедрении в городе Астана».

Отличительные черты работы заключаются в анализе самой технологии и проектировании сети .

Решены вопросы в выборе оборудования для внедрения технологию.

Применение таких технологий значительно облегчает ряд процессов по управлению муниципальным хозяйством, а также в разы дешевле традиционной GSM-телеметрии за счет отсутствия избыточности (очень малые объемы передаваемой информации) и энергоэффективности.

АННОТАЦИЯ

Жұмыс LoRaWAN технологиясы ұғымына және оны Астана қаласында енгізуге байланысты мәселелерге арналған".

Жұмыстың ерекшелігі-технологияның өзін талдау және желіні жобалау .

Технологияны енгізу үшін жабдықты таңдау мәселелері шешілді.

Мұндай технологияларды қолдану муниципалдық шаруашылықты басқару бойынша бірқатар процестерді айтарлықтай жеңілдетеді, сондай-ақ артықтықтың (берілетін ақпараттың өте аз көлемі) және энергия тиімділігінің болмауы есебінен дәстүрлі GSM-телеметрияға қарағанда бірнеше есе арзан.

ANNOTATION

The work is devoted to issues related to the concept of LoRaWAN technology and its implementation in the city of Astana."

The distinctive features of the work are the analysis of the technology itself and the design of the network .

Issues in the selection of equipment for the introduction of technology have been resolved.

The use of such technologies greatly facilitates a number of municipal management processes, and is also several times cheaper than traditional GSM telemetry due to the lack of redundancy (very small amounts of transmitted information) and energy efficiency.

СОДЕРЖАНИЕ

Кіріспе	9
1 Технология LoRaWAN	10
1.1 Требования к системам интеллектуального учета	10
1.2 Краткий обзор существующих проектов LPWAN	13
1.3 Архитектура и классы устройств LoRaWAN	14
1.4 Модуляция LoRaWAN	16
2 Адаптивная скорость передачи данных	23
2.1 Эксплуатация радиовещательных сетей в сетях M2M	27
3 Расчетная часть	37
3.1 Расчет потребляемой мощности устройств LoRaWan	37
3.2 LoRaWAN шаблон свободного пространства	37
3.3 Двухлучевая модель LoRaWAN	39
3.4 Определение уровня затухания и отношения сигнал-шум при передаче данных в системе LoRaWan	43
3.5 Выводы по расчетной части	45
Заключение	47
Список использованной литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные энергетические системы основаны на принципах, сложившихся в начале прошлого века. Однако за последнее десятилетие за счет быстрого развития техники во всем мире значительно возросли объемы энергопотребления. Это связано с тем, что поставщики электроэнергии теперь вынуждены максимально загружать электрические сети и генерирующие источники, а также искать новые способы решения возникающих проблем. Внедрение совершенно новых методик, основанных на инновационных технологиях, способно вывести мировую энергетику на принципиально новый уровень развития.

Сегодня технология LoRaWAN широко распространена в западных странах. Данная концепция предусматривает активное применение новых цифровых технологий, "умных" многотарифных счетчиков и приборов распределения электроэнергии для обеспечения надежности и прозрачности различных процессов производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

LoRaWAN (LongRangeWideAreaNetwork) - энергоэффективная сетевая технология, которая помогает справиться со сложностью анализа и сбора данных, поступающих с пользовательских устройств и необходимых для принятия управленческих решений. Ранее такие решения были недоступны из-за ограниченного срока службы аккумуляторов, особенностей передачи информации на короткие расстояния, высоких затрат и отсутствия необходимых стандартов. Теперь можно смело говорить о таких преимуществах LoRaWAN, как высокая дальность, низкое энергопотребление, открытый стандарт.

Датчики LoRaWAN могут передавать небольшой объем информации на расстоянии более 100 км в подходящей среде и до 5 км в плотном городском и промышленном строительстве, обеспечивая скорость обмена данными от 300 бит/с до 100 Кбит/с.

Цель проекта – определение зоны покрытия базовой станции (БС) сети LoRaWAN в условиях сельского и промышленного строительства.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Успешное применение технологии LoRaWan;
- Изучение характеристик технологии LoRa;
- создание системы сбора данных;
- проведение мониторинга состояния построенных сетей и объектов

1 ТЕХНОЛОГИЯ LoRaWAN

1.1 Требования к системам интеллектуального учета

Одним из главных выигрышей для потребителей, а также одним из главных нормативных стимулов интеллектуального учета электроэнергии является возможность получения своевременных, точных, актуальных показателей энергопотребления. Далее не будет необходимости вручную заполнять счета-квитанции и сверять показатели потребления, прогнозируемые системным оператором на основе предыдущих показателей, которые практически всегда не совпадают. Промежуточные отчеты о потребленной энергии с помощью интеллектуальных приборов учета основаны на конкретных критериях, которые передаются оператору систем передачи по цифровой сети.

Умный учет электроэнергии приносит потребителям и обществу дополнительный выигрыш в виде информации о потребляемой энергии в режиме реального времени. Это, в свою очередь, влияет на высокую осведомленность людей и потенциальную экономию энергии. Значительно повысить эффективность этих процессов можно, подключив умные счетчики к системе домашней автоматизации.

Основная выгода от внедрения интеллектуального отчета в основном отдается системному оператору. Автоматизация снятия показаний счетчиков освобождает персонал от трудоемкого процесса ручного измерения и упрощает администрирование, в частности, снижает количество споров по регулированию. Кроме того, он открывает оператору системы расширенный вид распределительной сети в режиме, близком к реальному времени, что позволяет быстро определить проблему и решить ее или даже предупредить [1].

Ключом к достижению технических и коммерческих достижений интеллектуальных систем учета электроэнергии является создание надежной и масштабируемой сети при минимальных экономических затратах. Это связано с тем, что многие системные операторы начали экспериментировать с различными технологиями или даже развивать себя, пытаясь найти оптимальное соотношение указанных выше параметров.

Протокол LoRaWAN оптимизирован для конечных устройств, работающих от батарей, и включает в себя различные классы узлов, обеспечивая компромисс между скоростью передачи информации и временем работы устройств при использовании питания от батарей (аккумуляторов). Протокол обеспечивает полную двустороннюю связь, а архитектура обеспечивает общую надежность и безопасность всей системы с помощью специальных методов шифрования. Архитектура LoRaWAN разработана с учетом возможности активной работы с мобильными периферийными устройствами (end-node), что является одним из самых быстрорастущих направлений интернета вещей (IoT, англ. InternetofThings).

Сильные стороны Lora делают технологию прочной для работы со многими периферийными устройствами. С внедрением интеллектуальных счетчи-

ков можно решить ряд сложных проблем современных электрических сетей, модернизировать их, например, наладить механизмы автоматизированного мониторинга и диагностики электросетей без участия человека или даже произвести автоматическую оплату коммунальных услуг с помощью специального приложения. Это, в свою очередь, откроет новые горизонты услуг, предоставляемых на телекоммуникационном рынке.

Чтобы оценить возможности применения технологии LoRa, необходимо разобраться в требованиях интеллектуального учета электроэнергии. Существует несколько типов данных, которые могут использовать интеллектуальные вычислители, но наиболее важными являются показатели инструмента, мгновенные значения и состояния.

Показаниями прибора или измерениями мы рассматриваем текущее значение величины суммарного потребления, и это значение должно иметь место, которое дает максимальную величину, равную $(2^{32} - 1)$ или 4 294 967 295 в 32 – битной общей сумме. Этого достаточно, так как точность приборов учета жилья не превышает 8 знаков[2].

Эти величины должны быть описаны 16 - битным целым числом, которое принимает значения $(\pm 2^{15}-1)$ или от 32 768 до 32 768. Действительные числа могут быть умножены, чтобы добавить добавленную точность к целому числу, а также большие значения могут быть сокращены. Самые актуальные замеры, произведенные в жилых домах, не должны подвергаться каким-либо сокращениям.

Понятие состояния было введено для обозначения "да" и "нет". Для описания состояния выделен один бит.

Также необходимо определить направления обмена сигналами. Сигнал "вверх" означает сообщение, направленное от счетчика к сети. Сигнал "вниз" - это сообщение, которое сеть передает счетчику.

В таблице 1.1 приведены основные функции интеллектуальных систем учета.

Таблица 1.1 – Пропускная способность и время ожидания в зависимости от функций интеллектуальных вычислительных систем

Функции	Максимальная пропускная способность	Минимальная пропускная способность	Время ожидания
Автоматическое снятие показаний счетчика	32 бит/час	4 бит/день	1 кун
Изменение тарифов	4 бит/час	4 бит/день	15 мин

Продолжение таблицы 1.1

Функции	Максимальная пропускная способность	Минимальная пропускная способность	Время ожидания
Мониторинг аварийных ситуаций	1 бит/час	1 бит/день	1 мин
Квази – мониторинг в реальном масштабе времени	200 бит/мин	2,4 Кбит/день	5 мин

Автоматическое снятие показаний – главная функция, которую обязан выполнять умный счетчик. Счетчик должен составлять и отправлять системному оператору не менее одного показателя в день, а также, при необходимости, один замер каждые 15 минут. Таким образом, системный оператор может получить доступ к информации о потребляемой энергии в день и, при необходимости, к стандартному профилю нагрузки потребителя энергии (например, данные о потреблении по часам). Автоматическое снятие показаний может потребовать максимальной пропускной способности 32 бит / час. Жестких требований к времени ожидания (задержка между получением и приемом измерений, произведенных системным оператором) нет.

Изменение тарифа. Дифференцированные тарифы на электроэнергию дифференцируются в зависимости от времени суток (две или три зоны суток) или объема ее потребления (три уровня: первый уровень – до 90 киловатт-часов, второй – до 160 и третий – свыше 160 киловатт-часов). В случае тарифа, дифференцированного по трем зонам суток, счетчик должен иметь возможность принимать четыре разных случая в день в направлении "вниз". На западе сутки даже делятся на 4 зоны, поэтому в некоторых источниках пишут, что прибор учета должен принимать как минимум четыре сообщения о состоянии "ниже". Размещая полученную информацию, счетчик может самостоятельно переключаться между тарифными периодами. Для изменения тарифа требуется 4 бита в час. Время ожидания не имеет значения.

Мониторинг аварийных ситуаций представляет собой отправку информации о состоянии сети системному оператору. Как правило, системный оператор узнает об отключении электроэнергии непосредственно после телефонного звонка от потребителя. Интеллектуальный счетчик может сам сообщать о неполадках в автоматическом режиме. Для этого не требуется много данных - единственное сообщение об одном состоянии. Время ожидания не имеет значения.

Квази – мониторинг в реальном масштабе времени представляет собой своевременный отчет о измерениях энергии. Необходимо передавать не только показания счетчика, но и мгновенные значения параметров электроэнергии с минимальным интервалом в пять минут. Максимальная частота-один размер в минуту. При этом пропускная способность полезной нагрузки, необходимой для трехфазных счетчиков, может достигать 2,4 Кбайт/час.

1.2 Краткий обзор существующих проектов LPWAN

За последние несколько лет вышел в свет ряд LPWAN-технологий, использующих новейшие виды радиочастотной модуляции и получающих части радиочастотного спектра, которые только недавно предназначались для передачи данных. Рассмотрим технологии, которые находятся на стадии коммерческого использования. Конечно, это далеко не полный список всех технологий LPWAN.

Ingenu – это запатентованная LPWAN-технология, разработанная одноименной компанией, как и в прошлом, On-Ramp Wireless и основана на множественном доступе от даты к случайной фазе RPMA (Random Phase Multiple Access) – широкополосная модуляция необходимо расширить прямой спектр и поставлять большинство. В технологии используется нелицензируемый спектр частот 2,4 ГГц, известный как еще один известный пользователь – полоса Wi-Fi. Благодаря высокой частоте Ingenu может обеспечить очень высокую скорость передачи данных до 624 Кбит/с, но радиус покрытия очень ограничен, а потребление энергии несколько выше. Технология обеспечивает передачу сообщений "вверх" и "вниз". Он популярен в США и в разных частях Европы. Владельцем и оператором сети является Ingenu.

Аналогичная бизнес – стратегия была принята компанией SigFox и ее аналогичной технологией LPWAN. Sigfox основан на использовании запатентованного ультра-узкополосного решения с распределением по случайной частоте и времени и множественным доступом, работающим в нелицензируемой полосе частот. Поскольку ширина полосы пропускания ограничена 100 Гц, скорость передачи данных может достигать только 100 бит / с, а конечные устройства могут отправлять только 140 сообщений в день "вверх", по 12 байт каждый и принимать 4 сообщения "вниз" по 8 байт. Технология применяется в основном в европейских странах.

Semtech использует другой подход к технологии LoRaWAN. LoRaWAN – сетевой протокол, настройка метода модуляции LoRa. Эта модуляция использует расширение спектра методом линейной частотной модуляции (ЖЖМ, англ. chirp spread spectrum или CSS), благодаря чему достигается устойчивость к интерференции, многолучевому распространению и доплеровскому воздействию. Как и Sigfox, Semtech работает в нелицензируемом частотном спектре и выделяет не менее 3 каналов с минимальной шириной полосы пропускания 125 КГц каждый. Благодаря этому скорость передачи достигает 27 Кбит/с и максимальной длины 222 байта как в направлении "вверх", так и в направлении "вниз". В отличие от первых компаний, Semtech предоставляет только радиочастотное оборудование и предоставляет клиентам возможность устанавливать и эксплуатировать собственную сеть LPWAN[3].

Согласно описанию, Ingenu и LoRaWAN способны обеспечить выполнение всех функций, предусмотренных в предыдущем параграфе (табл.1.1). SigFox не может обеспечить мониторинг в квази – реальном масштабе времени и поддерживает функцию изменения тарифа только частично. Давайте подроб-

но рассмотрим работу технологии на основе спецификации и полуоткрытого характера LoRaWAN.

1.3 Архитектура и классы устройств LoRaWAN

Кроме того, спецификация LoRaWAN описывает только доступ к среде (уровни 2 и 3 модели OSI), общая схема топологии сети представлена на рисунке 1.1. Как правило, сеть представляет собой "звездную" топологию "star-of-stars", где шлюзы принимают сообщения, передаваемые конечными устройствами, и отправляют их на сервер по IP-сети. Сетевой сервер – это приложение, которое работает на одном или более физических серверах, которые имеют список конечных устройств и их владельцев. Он отправляет сообщение владельцу. Полезная нагрузка шифруется конечным устройством только ключом, известным владельцу устройства. Получив сообщение от сетевого сервера, владелец может справиться с полезной нагрузкой.

Эта уникальная топология имеет некоторые интересные преимущества. В достаточно плотной сети LoRaWAN сообщение, переданное устройством, может быть принято несколькими шлюзами и перенаправлено на сетевой сервер. Сетевой сервер отправляет владельцу только первое принятое сообщение, а также рассчитывает силу сигнала последнего устройства для каждого шлюза, принявшего это сообщение. Это действие позволяет серверу выбрать лучший шлюз в зоне доступа для отправки "низкого" сообщения на устройство.

Если полученное сообщение поступает от устройства, не зарегистрированного на сетевом сервере, то оно обычно удаляется. Однако такие сообщения могут быть отправлены на сервер другого оператора сети LoRaWAN по условиям роумингового соглашения. Это означает, что сторонний оператор может проверить устройство, независимо от его собственного реестра. Используя роуминговое соглашение, можно значительно расширить плотность покрытия сети LoRaWAN, поскольку сети различных операторов и их шлюзы объединены. Целостности сообщений ничто не угрожает, так как решить проблему может только ее владелец.

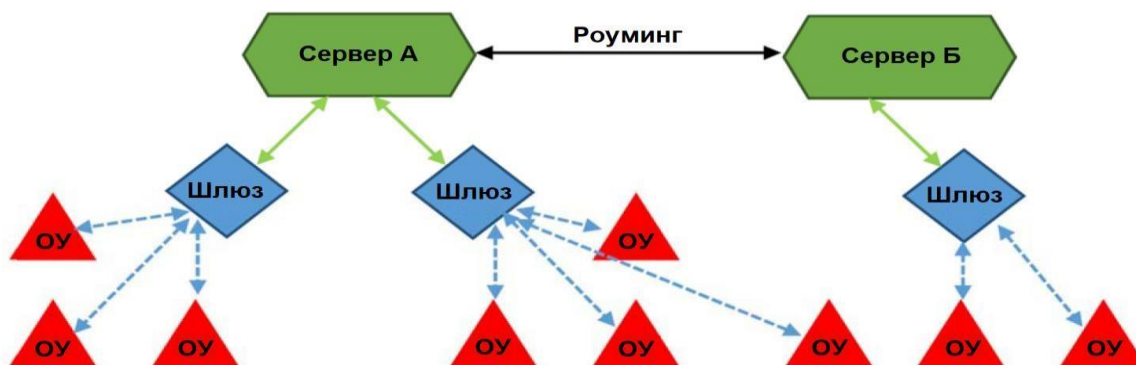


Рисунок 1.1-топология LoRaWAN

В случае интеллектуальных вычислительных систем эта гибкость дает больше преимуществ. Системный оператор может развернуть коммерческие LoRaWAN-сети, если они есть, а свои сети в местах, где нет надежного покрытия. В условиях принятых роуминговых соглашений с коммерческими операторами уведомления будут направлены владельцу или оператору устройства. Сетевой сервер может быть передан на аутсорсинг, например, коммерческому оператору связи, тем самым снижая технические и административные расходы для системного оператора. Системному оператору необходимо вести реестр конечных устройств и связанных с ними компаний.

Особенность LoRaWAN описывает новейшие устройства трех классов. Таким образом, сеть поддерживает: класс А (обязательный), класс В и класс С (оба необязательные).

Конечное устройство класса А осуществляет отправку сообщений "вверх" в соответствии со своим графиком, а после передачи сообщений в ожидании "вниз" открывает два временных окна для приема. В остальное время счетчик может находиться в спящем режиме. Таким образом, передача данных с сервера возможна только после выхода на связь последнего устройства.

Устройства класса В дополнительно к заданному интервалу времени открывают приемные окна. Устройства, работающие в классе В, требуют особого согласования времени с сетью и, как следствие, систематически синхронизируются с сетью посредством синхронизирующих сообщений или маяков, передаваемых шлюзами (beacons).

Наконец, устройства класса С всегда имеют открытые окна приема, за исключением интервалов, когда они сами отправляют сообщения. Этот класс устройств обеспечивает минимальное время ожидания в направлении "вниз", но при этом потребляет наибольшее количество энергии.

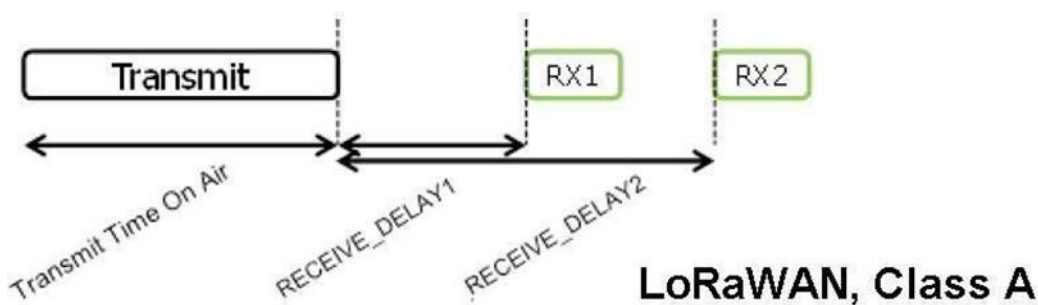


Рисунок 1.2 – Клас А

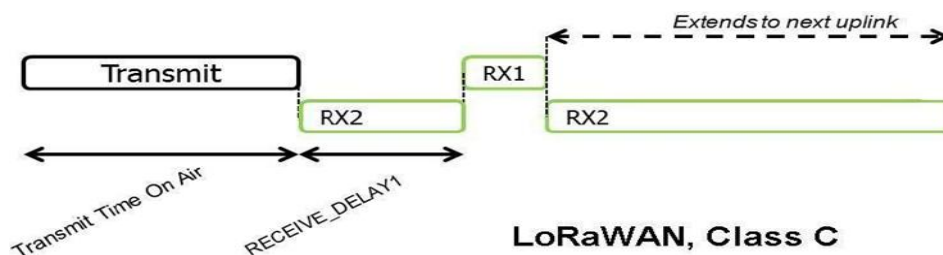


Рисунок 1.3 – Класс В

В случае интеллектуальных вычислительных систем все три класса открывают хорошие возможности. Все классы подходят для автоматического получения показателей. Класс С лучше подходит для изменения тарифа, так как меньше времени ожидания сообщений "ниже". Класс а-отличное решение для мониторинга аварийных ситуаций из-за низкого энергопотребления, поэтому даже в случае отключения электроэнергии периферийное устройство может работать, в частности, благодаря небольшому интегрированному суперконденсатору. Теоретически, функция LoRaWAN позволяет конечным устройствам переключаться между классами. Это дает дополнительную гибкость сети, например, счетчик может работать в режиме класса С, а в случае отключения электричества переходит в энергосберегающий класс а[5].

1.4 Модуляция LoRaWAN

LoRaWAN работает в радиочастотном диапазоне 863-870 МГц. Спецификация LoRaWAN определяет три обязательных радиочастотных диапазона или каналов (868,1, 868,3 и 868,5), а также возможность организации дополнительных каналов между сетью и конечным устройством в зависимости от емкости шлюза. Современные шлюзы поддерживают не менее 8 каналов, а периферийные устройства используют псевдокезсионную перестройку рабочей частоты для предотвращения коллизий и помех.

Сообщения по этим каналам передаются в соответствии с коэффициентом расширения спектра SF (Spread Factor).

SF определяется следующим образом:

$$SF = \log \frac{RC}{2 R_S}, \quad (1.1)$$

где RC-скорость передачи данных,

RS-скорость изменения радиимпульса при линейном увеличении частоты (линейная частотная модуляция).

Модуляция LoRaWAN основана на радиосигнале с линейной частотной модуляцией (ЖЖМ). Таким образом, концепция модуляции с линейным расширением спектра представляет собой метод демодуляции и декодирования сигналов ЖЖМ, эффективный с точки зрения вычислительного объема. Этот метод основан на дискретном преобразовании Фурье (ДПФ).

Беспроводная технология LoRa основана на системе модуляции с расширением спектра методом ЖЖМ. Сигнал квадратного ЖЖМ определяется следующим образом:

$$s(t) = e^{j(2\pi f_c t + 2\pi \frac{\beta}{2} t^2)}, \quad (1.2)$$

где f_c - несущая частота,

ширина спектра β -BW (bandwidth) равна длине сигнала T_{symb} (time symbol).

$$\beta = \frac{BW}{T_{\text{symb}}} \quad (1.3)$$

Продолжительность сигнала T_{symb} определяется следующим образом:

$$T_{\text{symb}} = \frac{SF}{BW} CR, \quad (1.4)$$

где SF (spreading factor) - это коэффициент расширения спектра (варьируется в диапазоне от 7 до 12), который определяет разрядность битового символа при T_{symb} , т. е. количество бит для закодированного символа,

CR (code rate) - скорость кодирования.

На рисунке 1.4 показаны сигналы ЖЖМ, нормализованные T_{symb} :

а) сигнал, соответствующий линейному закону изменения частоты ($\beta > 0$);

б) сигнал, соответствующий закону линейного уменьшения изменения частоты ($\beta < 0$). Поскольку $BW = f_1 - f_0$, мы получим положительный наклон для $f_1 > f_0$, а отрицательный наклон для $f_1 < f_0$.

Частотные колебания сигнала показаны на рис. 1.5. Данная диаграмма позволяет определить длительность заданного спектра BW сигнала T_{symb} . Также можно сделать вывод о наклоне вибрирующего сигнала.

Согласно спецификации LoRa, параметры BW, SF и CR могут принимать только значения, указанные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры BW, SF и CR

Показатель	Величины
Ширина спектра (BW)	125 КГц - 500 КГц
Коэффициент расширения спектра (SF)	7 - 12
Скорость кодирования (CR)	1 - 4

Пакет LoRa, представленный на рис. 1.6, состоит из введения и поля данных. Введение состоит из шести ЛЧМ-сигналов с положительным уклоном и двух ЛЧМ-сигналов с отрицательным уклоном, настроенных на известные значения SF и BW. Поле данных содержит дополнительную полезную тему данных и циклический избыточный код (cyclic redundancy check, CRC).

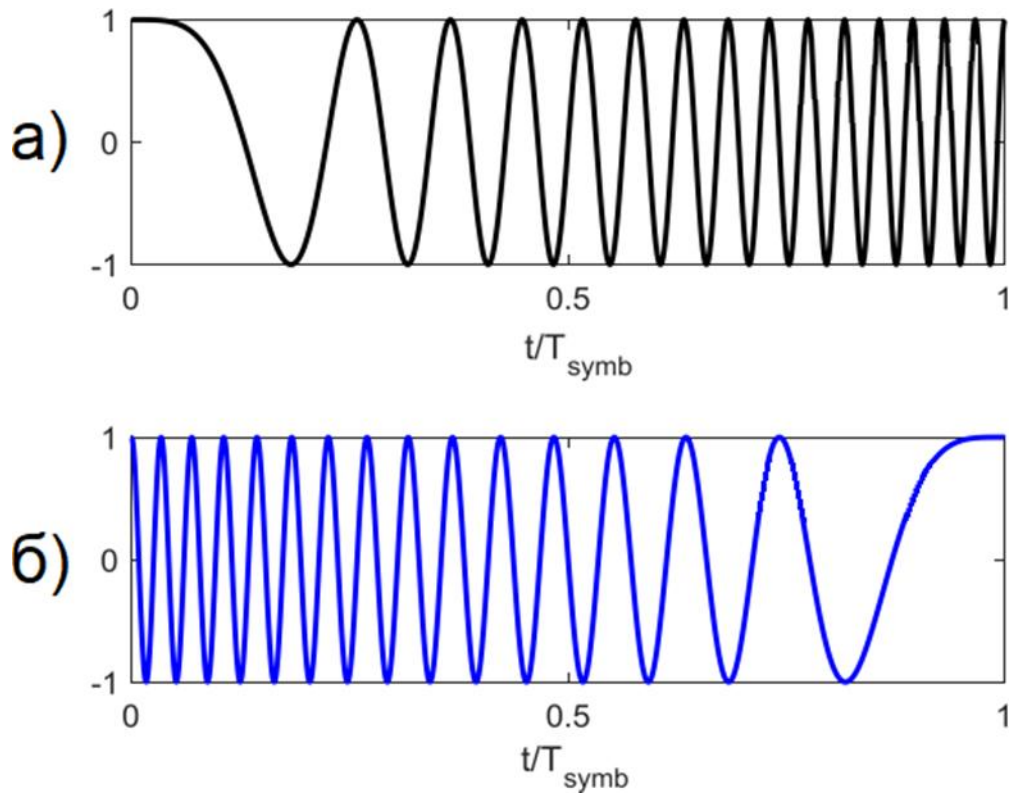


Рисунок 1.4 – ВЧМ-сигналы и законы их изменения частоты

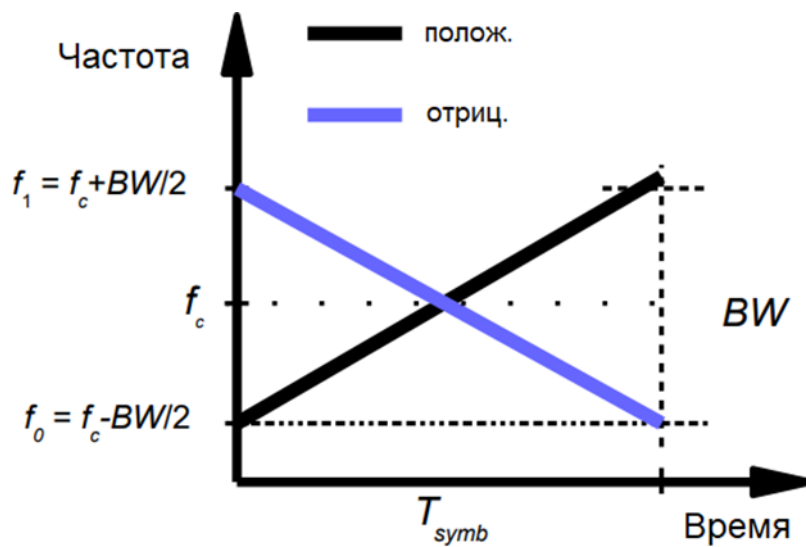


Рисунок 1.5 – Спектральное представление: положительный и отрицательный наклон



Рисунок 1.6 – Пакет LoRa, состоящий из поля ввода и данных

Линейная частотная модуляция Lora или CSS (Chirp spread Spectrum) позволяет создавать символы в зависимости от значения SF в зависимости от заданной ширины спектра BW. Кодирование и модуляция символов в CSS основана на значениях SF[6].

Как и в случае с манипуляциями, SF соответствует количеству битов в символе. Таким образом, при (4) $SF = 7$ можно закодировать 128 символов в пределах спектра BW за время T_{symb} . Для отличия символов друг от друга сигналом LCM используется циклическое смещение cs (cyclic shift):

$$cs = \frac{sv}{2^{SF}} T_{\text{symb}}, \quad (1.5)$$

где sv (symbol value) соответствует значению символа (от 0 до $2^{sf}-1$).

Исходным символом является положительный наклонный ВЧМ-сигнал при $sv=0$. Это кодирование увеличивает количество символов в 2^{sf} раз. Отклонение от исходного сигнала ЖЖМ при $Sv=16$ составляет $16/128$ от T_{symb} .

На рис.1.7 показаны спектрограммы для двух значений SV: 16 и 112 при $SF=7$.

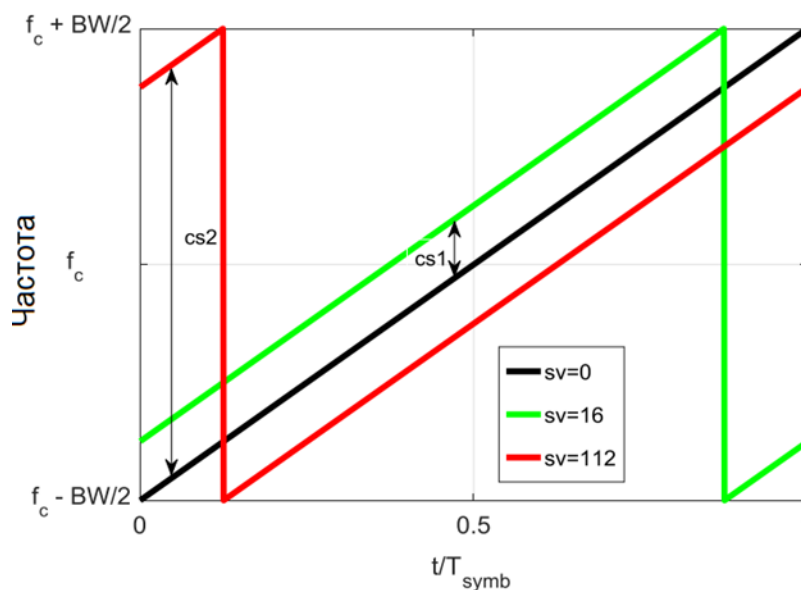


Рисунок 1.7 – Циклическое смещение сигнала ЖЖМ при $SF=7$

Таким образом, sv соответствует времени, привязанному к T_{symb} . Эта характеристика позволяет определять и декодировать символы 2^{sf} эффективным методом в вычислительном плане.

Процесс демодуляции LORA CSS основан на простой идее когерентной демодуляции,

На рис. 1.8 приведена блок-схема обработки сигнала по предложенному методу, где $d[n]$:

$$d[n] = r[n] \cdot s^*[n], \quad (1.6)$$

где $r[n]$ - принятый ГЧМ-сигнал,

$s^* [n]$ -S [N] комплексно-сопряженный, например, ЛЧМ-сигнал с отрицательным наклоном m при $sv=0$.

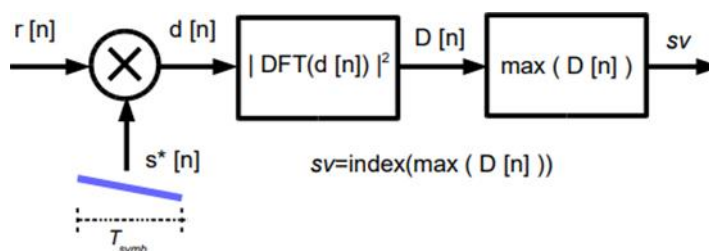


Рисунок 1.8 – Концепция определения LORA CSS

$D[n]$ – квадрат модуля комплексного числа $d[n]$ в ДПФ. Значение символа SV соответствует порядковому номеру максимального значения $D [N]$.

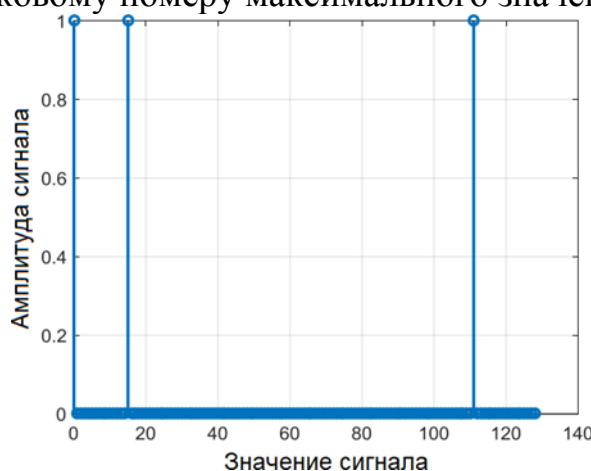


Рисунок 1.9 – Декодированные сигналы Lora: 0, 16 и 112

Поскольку SF равен 7, $r[n]$ состоит из 128 возможных значений (от 0 до 127). Таким образом, циклическое смещение cs , введенное в процессе кодирования, задает правильное декодирование символов.

На рис.1.10 показана блок-схема ВЧМ. Этот метод не только взаимосвязан.

Зависит от коэффициента расширения спектра SF , частоты f_c и ширины спектра BW . Модель канала основана на аддитивном белом Гауссовом шуме (АБГШ) с регулируемым соотношением сигнал/шум.

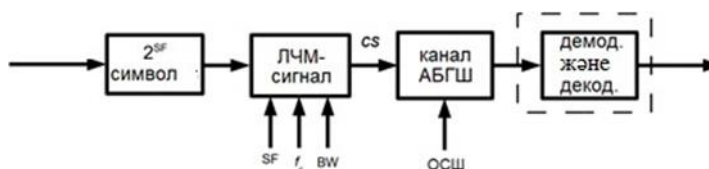


Рисунок 1.10 – Блок-схема ЖЖМ

Рисунок 1.10 – блок, состоящий из DWDM и DWDM-модуляции, работает с точечной линией.

Спектрограмма три ВЧМ-сигналов с положительным наклоном, ширина спектра 125 КГц, отношение сигнал / шум 10 дБ-показано в таблице 2.11. значение SF для каждого ЖЖМ - сигнала при CR=1 равно 7, 8 и 9. В этих версиях конфигурации $T_{\text{сymb}}$ было 1 мс, 2 мс и 4 мс соответственно.

Таким образом, увеличение SF на единицу приводит к увеличению длительности сигнала $T_{\text{сymb}}$ в два раза, как показано в Формуле (1.3) [7].

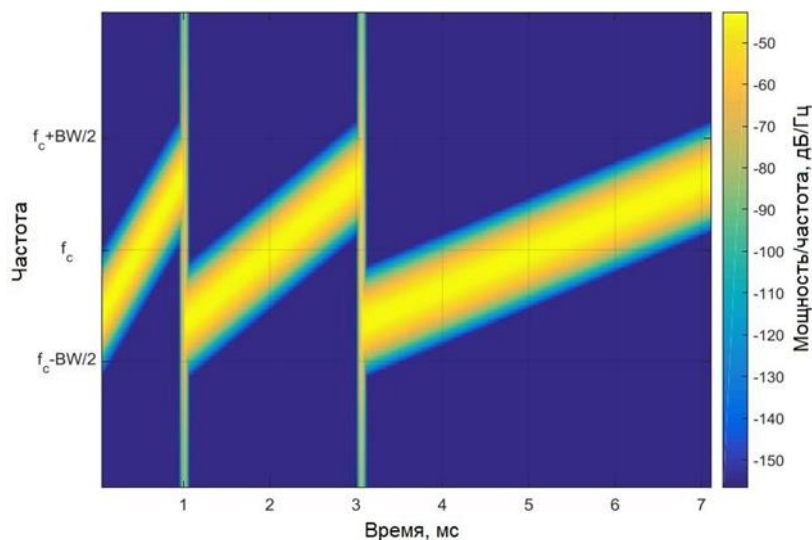


Рисунок 1.11 – Сигналы, равные 7, 8 и 9 при ЛЧМ-SF

На рисунке 1.12 показана спектрограмма преамбулы при SF=7, состоящая из 6 ЛЧМ-сигналов с положительным уклоном и двух ЛЧМ-сигналов с отрицательным уклоном.

По алгоритму, представленному на рис.2.8, каждый принятый сигнал ЛЧМ- $r[n]$ демодулируется и декодируется. На рисунке 2.13 показаны сигналы $D[n]$ для символов 0, 16 и 112 после сброса преамбулы. Таким образом, порядковый номер максимального значения $d[N]$ соответствует заданному символу sv.

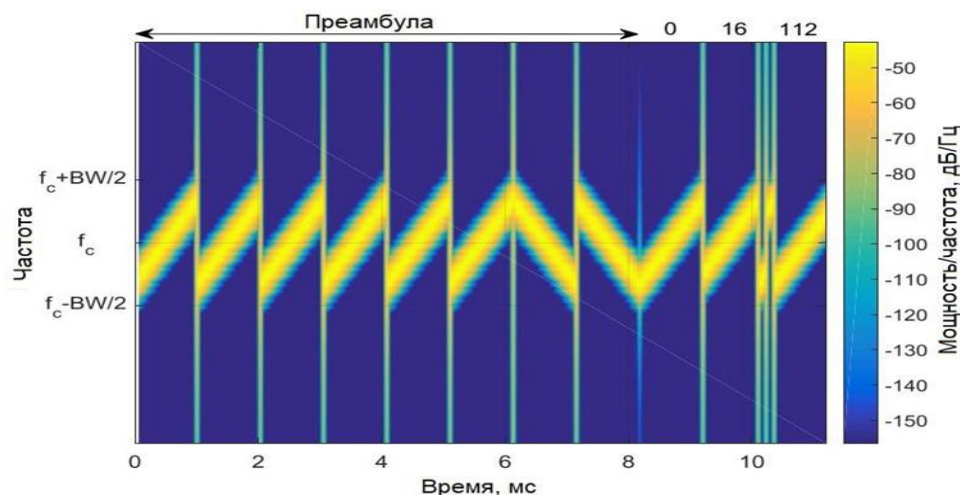


Рисунок 1.12 – Спектрограмма пакета SF=7 с символами 0, 16 и 112

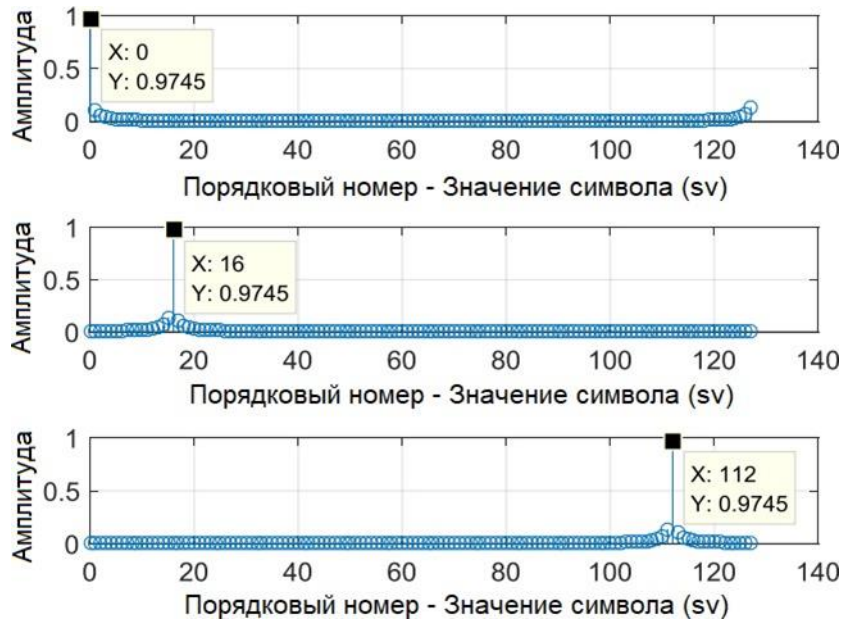


Рисунок 1.13-сигналы ЛЧМ ДФТ для символов 0, 16 и 112

На рис.1.14 показан пакет LoRa с $\text{OSШ}=-10$ дБ. Из-за аддитивного белого гауссового шума спектральная плотность мощности ВЧМ недостаточна. Однако можно рассматривать лчм-положительные и отрицательные наклонные сигналы.

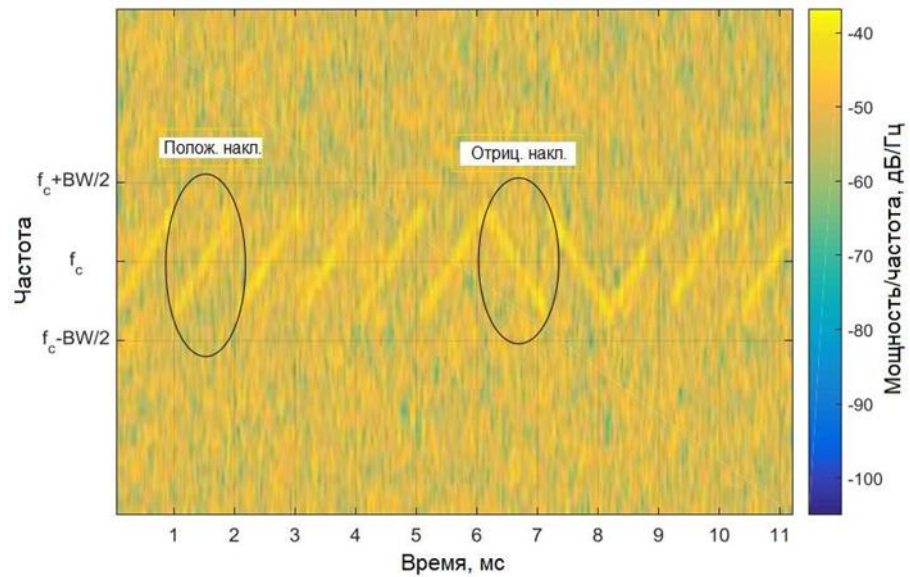


Рисунок 1.14 – Спектрограмма пакета ЛЧМ LoRa при $\text{SF}=7$, $\text{OSШ}=-10$ дБ

2 АДАПТИВНАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Коэффициент расширения спектра SF определяет соотношение между скоростью передачи данных и шириной полосы. Сообщения, переданные при максимальном значении коэффициента, менее чувствительны к негативным воздействиям, таким как затухание, но их перенос занимает больше времени. При низких значениях SF скорость передачи увеличивается, но сигнал подвергается интерференции, ширина используемого спектра уменьшается. Кодирование ортогональных символов, позволяющих передавать сигналы с различными значениями коэффициента расширения спектра в одном канале одновременно. Особенность LoRaWAN определяет шесть значений SF (от 7 до 12). Вместе с двумя возможными каналами шириной 125 КГц и 250 КГц можно достичь скорости передачи данных от DR0 до DR6 и синхронной скорости передачи данных на физическом уровне от 250 бит/с до 11 Кбит/с.

В канале Gmsk модем LoRa может создавать помехи до 19,5 дБ благодаря гауссовой фильтрации. Другими словами, такой модем обладает способностью принимать и демодулировать сигналы, уровень которых на 19,5 дБ ниже уровня помех (или шума), несмотря на то, что для правильной демодуляции для большей части систем с частотной манипуляцией FSK (Frequency Shift Keying) требуется мощность сигнала не менее 8-10 дБ выше уровня IU.

Иммунитет к такому сопротивлению позволяет использовать простую и относительно недорогую систему на базе LoRa в местах с тяжелым спектральным состоянием, например, в современных мегаполисах или в гибридных сетях связи. В таких случаях, используя технологию LoRa, можно расширить радиус охвата в сетях связи.

Конечные устройства LoRaWAN могут изменять адаптивную скорость передачи данных Adr (Adaptive Data rate), коэффициент SF и ширину полосы пропускания между сообщениями. В частности, это представляет особый интерес для системы переписи населения, так как многие приборы учета коммунальных служб часто устанавливаются в подвалах или других местах с плохой радиосвязью. Конечное устройство LoRaWAN может выбрать соответствующую скорость передачи данных без вмешательства системного оператора.

Сетевой сервер технологии LoRa индивидуально регулирует скорость передачи данных в зависимости от расстояния между шлюзом и этими устройствами и мощность радиочастотного выхода всех периферийных устройств, тем самым продлевая срок службы батареи конечного узла и оптимизируя общую пропускную способность сети. Эти манипуляции проводятся с помощью алгоритма ADR. Благодаря этой адаптивной скорости обеспечиваются высокие показатели производительности сети и имеется возможность необходимого масштабирования.

Адаптивная скорость передачи данных ADR может быть описана как метод, в котором фактическая скорость передачи данных корректируется таким образом, что обеспечивается надежная доставка пакетов, поддерживаются

оптимальные линии производительности и необходимый диапазон для загрузки в сеть. Например, узлы, расположенные вблизи LoRa-шлюза, будут работать с высокой скоростью передачи данных. Поэтому такие узлы будут иметь меньшее время активной передачи по радиоканалу и выходную мощность. Низкая скорость передачи и высокая выходная мощность передатчика позволяют иметь только самые удаленные сетевые устройства. Алгоритмы адаптивной скорости передачи данных ADR могут вводить необходимые инфраструктурные сети, тем самым компенсируя различные потери на трассе сигнализации.

Сеть LoRaWAN может быть открыта с минимальными инвестициями в инфраструктуру с реальной необходимой емкостью для этого кейса применения. Если в сети имеется большое количество шлюзов, то технология адаптивной скорости передачи данных смещается в сторону увеличения скорости и тем самым обеспечивает масштабирование емкости этой сети в шесть-восемь раз.

В протоколе LoRaWAN определяется конкретная группа скорость передачи данных, однако физический слой, называемый конечным чипом, другими словами, сама интегральная схема, для выполнения примененных функций сетевой модели физического уровня OSI, способный использовать больше вариантов. Например, Semtech SX1272 поддерживает скорость передачи данных от 0,3 до 37,5 Кбит/с, а SX1276-от 0,018 до 37,5 Кбит/с.

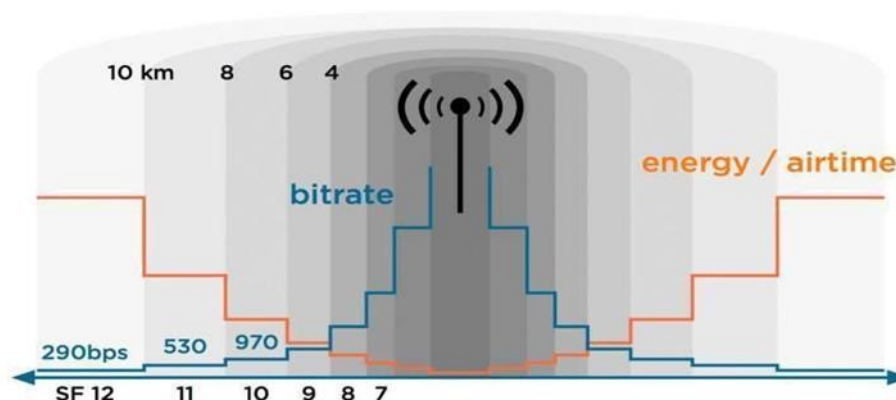


Рисунок 2.1 – Скорость в сетях LoRaWAN

Поскольку диапазон радиочастот 863-870 МГц не лицензирован, пользователи должны следовать циклу 1%. Это означает, что любой пользователь не может владеть определенным частотным каналом более 1% от общего времени. Чтобы избежать столкновения, например, в случае, когда два терминальных устройства пытаются передать данные в один канал с одинаковыми значениями SF, ни одно терминальное устройство не должно занимать канал в течение длительного времени. Описание LoRaWAN ограничивает максимальную загрузку сообщения. При скорости передачи данных DR6 нагрузка может составлять 242 байта, при DR0 эта нагрузка ограничена 51 байтом. Результат представлен в таблице 1.3.

Для умных приложений измерения снижение нагрузки до 51 байта является хорошей практикой для предотвращения проблем с передачей на низких скоростях. Как уже упоминалось в главе 3, этого достаточно для всех функций.

Ограничение рабочего цикла предотвращает чрезмерное масштабирование сети LoRaWAN одним шлюзом, которое включает в себя территорию, обслуживаемую одним шлюзом, и терминал. По данным источника, максимальная производительность на одно устройство (пакет / ч) резко снижается с ростом числа этих устройств, а именно, если сетевая ячейка состоит из 5000 терминалов и используется исключительно, то это составляет 7,3 50 байт пакета в час. стандартные три канала. Это приемлемо, когда речь идет о считывании автоматических измерительных приборов, изменении трафика и отслеживании аварийной ситуации, но когда речь идет о отслеживании в режиме реального времени. В случае интеллектуальных измерительных систем размер ячейки должен поддерживаться в разумных пределах. Для этого выберите подходящее место для оборудования. Установка шлюзов на большой высоте не имеет большого смысла, обычно это делается в вещании, так как количество терминалов, закрытых одним шлюзом, слишком велико. Хорошим вариантом является размещение большего количества локальных шлюзов, которые могут охватывать только часть территории, где требуется зона покрытия.

Протокол LoRaWAN регламентирует скорость радиообмена от 300 бит/с до 50 килобит в секунду, при этом скорость уменьшается пропорционально расстоянию между приемником и передатчиком. Фактически, в существующих устройствах скорость может быть не более 11 килобит в секунду, что вполне достаточно для задач телеметрии, решаемых данной технологией

Таблица 2.1 – допустимая скорость передачи данных и размеры нагрузки LoRaWAN

Скорость передачи данных	Коэффициент расширения SF	Ширина полосы пропускания	Битрейт	Самая полезная нагрузка
0	SF12	125 КГц	250 бит/с	51 байт
1	SF11	125 КГц	440 бит/с	51 байт
2	SF10	125 КГц	980 бит/с	51 байт
3	SF9	125 КГц	1,76 Кбит/с	115 байт
4	SF8	125 КГц	3,13 Кбит/с	242 байт
5	SF7	125 КГц	5,47 Кбит/с	242 байт
6	SF6	250 КГц	11 Кбит/с	242 байт

Предпринимались попытки решить проблемы ЖКХ и проверить на практике результативность применения новых технологий. Это первый город в Казахстане, который оцифровал всех потребителей коммунальных услуг. 42 теперь наблюдателям не нужно ходить по дому и собирать данные вручную. Система считывает все сама. Установлены счетчики на бесплатное жилье и многоквартирные дома и частный сектор. Используемая платформа имеет аналитику на основе искусственного интеллекта и определяет взаимосвязь и взаимозависимость между различными отраслями. Благодаря цифровизации процессов снизили тарифы на электроэнергию. Общее снижение составило 8,4%.



Рисунок 2.2 – Архитектура установки сети в

2.1 Эксплуатация радиовещательных сетей в сетях M2M

В задачи сетей M2M, используемых совместно с "умными" электрическими сетями Smart Grid, входит обеспечение информационного и сетевого взаимодействия устройств M2M, входящих в электрические сети различного уровня. Такие электрические сети имеют свою функциональную направленность, вид подключенных устройств и используемых сетей и средств связи как сети доступа. При построении этих сетей M2M могут использоваться сети мобильного и фиксированного доступа. Принимая во внимание тот факт, что в сетях M2M объединяются миллионы территориально разбросанных M2M устройств, сейчас, с экономической точки зрения, все больше и больше отдают предпочтение сетям беспроводного доступа. Кроме того, технология беспроводного доступа выбирается в зависимости от требуемой скорости передачи данных, расстояния связи, длительности использования и автономной работы периферийных устройств от аккумулятора.

В таблице 2.2 представлен ряд сравнений технологии беспроводного доступа.

Электрические сети потребителей, к которым подключаются домашние сети, промышленные сети, сети бизнес-компаний, используют различные интеллектуальные электрические устройства, в которых встроены модули беспроводной связи. Особенностью линий связи между такими модулями является трафик передачи данных, малая подвижность и энергопотребление.

Технология беспроводной связи с меньшим радиусом действия, такая как Z-Wave, Ultra Wideband (UWB) и Bluetooth, может быть использована для организации связи между датчиками электрических сетей и шлюзами M2M в домашних хозяйствах.

Таблица 2.2 - Сравнение технологий беспроводного доступа

Технология беспроводного доступа	Скорость передачи данных	Зона действия	Время работы конечных устройств от аккумулятора (дней)	Требуется/не требуется лицензирования
UWB	До 480 Мбит/с	До 100 м	Более 1000	не требует
Bluetooth	721 Кбит/с	До 100 м	1-7	не требует
Z-Wave	40-250 Кбит/с	До 100 м	До 1000	не требует
IEEE 802.15.4 (ZigBee/6LoWPAN)	До 250 Кбит/с	До 200 м	До 1000	не требует
IEEE802.11 (Wi-Fi)	До 600 Мбит/с	До 250 м	1-5	не требует
DECT	до 552 Кбит/с	До 300 м	20 дней	не требует
GSM	14,4 Кбит/с	До 1-10 км	1-7	Требуется
GPRS	До 170 Кбит/с	До 1-10 км	1-7	Требуется
UMTS	До 2 Мбит/с	До 1-10 км	1-4	Требуется
LTE	До 302 Мбит/с	До 100 км	1-2	Требуется
WiMAX	До 75 Мбит/с	До 50 км	1-2	Требуется
CDMA2000 (EV-DO)	До 73,5 Мбит/с	До 45 км	1-3	Требуется

Пример локальных беспроводных сетей M2M приведен на рис. 1.17. В этой сети будут объединены все домашние электроприборы и системы на базе сети Wi-Fi радиопреуправления. С помощью приложения M2M, осуществляющего мониторинг и управление домашней электрической сетью, обеспечивается взаимодействие всех элементов. Для домашних электроприборов выход на связь с внешними приложениями M2M можно организовать через Wi-Fi роутер, который в данном случае будет аналогом шлюза M2M.

Преимущество использования сетей радиовещания Wi-Fi с точки зрения координации домашних электроприборов заключается в том, что, в отличие от сетей радиовещания сотовых операторов, широко используется технология, ее простое и быстрое развертывание и использование на бесплатной основе без необходимости лицензирования.

В распределительных электрических сетях для сбора данных с умных счетчиков и передачи полученной информации в специализированный центр обработки данных необходимы устройства M2M, которые при необходимости могут отправить команду управления ответом на этот смарт-отчет.

Сформированный обмен данными в распределенных электрических сетях открывает множество новых возможностей для измерения энергопотребления, контроля нагрузки и измерения энергетических характеристик в реальном времени, таких как напряжение, ток, мощность и частота, тем самым контролируя качество и непрерывность электроснабжения. Для организации взаимодействия устройств и приложений M2M в распределительной сети можно использовать сети сотовой связи, не являющиеся 3GPP и 3GPP.

Например, сбор необходимой информации можно осуществить с помощью M2M-устройства, которое запрограммировано на передачу данных своих измерений на сервер M2M с интервалом, заданным сетью Smart Grid на основе сети GSM доступа. Сделанные замеры можно отправлять через SMS-сообщения или через GPRS-канал по протоколу TCP/IP. Выбор канала отчетности чаще всего производится исходя из требований поставщика приложений M2M, а также исходя из ограничений, связанных с сетью радиовещания, развернутой в зоне действия сети Smart Grid.

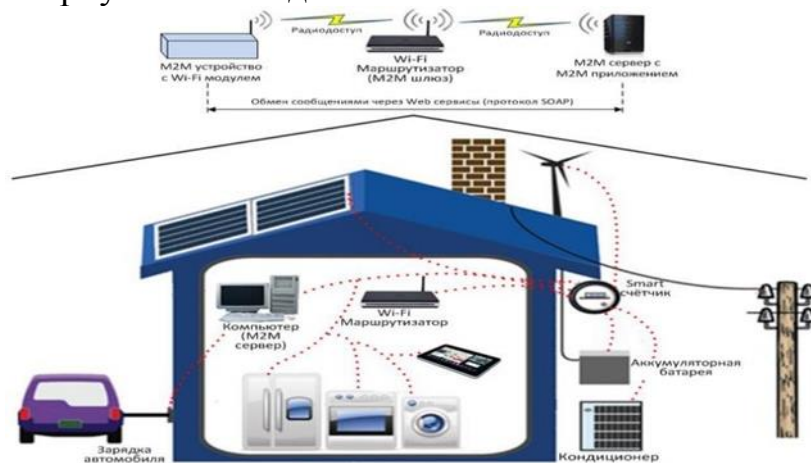


Рисунок 2.3 – Управление наземными сетевыми устройствами M2M

В системах производства и передачи электроэнергии на приборы M2M возложено управление и контроль рядом электрических устройств и систем: дистанционно управляемые переключатели, индикаторы неисправностей, защитные реле, автоматика электрических подстанций, возобновляемые источники энергии и др.

В случае обрыва в электрической сети можно привести пример того, как питание автоматически отключается от распределенных источников, показанных на рис. 1.17. Если произошел перерыв, устройство управления электрической подстанцией, использующее технологию коммутации цепей (CSD), передает сигнал отключения через сотовую сеть 3GPP на устройство управления ветряной турбиной M2M. После получения этого сигнала устройство управления ветряной турбиной отключает питание, а затем передает сигнал подтверждения обратно в устройство управления электростанции.

Главным преимуществом приложения для передачи управляющих команд канала CSD по сравнению с GPRS-каналом является приоритетное распределение сетевых ресурсов. Кроме того, канал CSD имеет гарантированный стандарт и пропускную способность оператора 9,6 Кбит / с (в случае HSCSD - 57,6 Кбит / с) и характеризуется стабильностью и стабильностью, канал заменяется по номеру телефона. Учитывая низкую скорость передачи данных и высокие затраты при передаче данных по каналам GPRS / EDGE / HSPA, целесообразно использовать CSD-каналы в тех случаях, когда взаимодействие устройств M2M является редким, а количество передаваемых данных невелико.

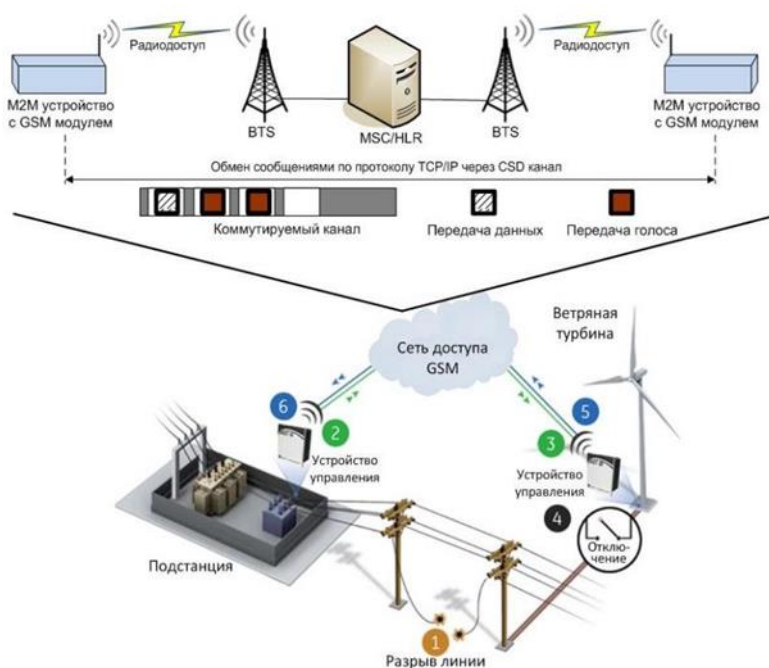


Рисунок 2.4 – Управление электрическими передачами

В будущих электрических сетях будет использоваться множество цифровых технологий с целью обеспечения безопасности, эффективности и

надежности сети. В интеллектуальных электрических сетях будет интегрировано большое количество выделенных источников энергии и систем ее хранения, благодаря чему повысится надежность такой электрической сети, сократятся затраты при транспортировке и уменьшится негативное воздействие на окружающую среду за счет использования возобновляемых источников. Электрические сети будут оснащены "интеллектуальными" системами управления и мониторинга сети, доступ к которым будет предоставляться не только эксплуатационным службам для выявления и ликвидации аварий, но и потребителям для возможности управления собственной нагрузкой и получения аналитического отчета. Благодаря расширенным возможностям тарификации энергетические компании смогут управлять спросом на энергию, а пользователи получают возможность сократить расходы на энергопотребление. В случае появления новых потребителей энергии, например, электромобилей, необходимо будет разработать системы зарядки, в том числе удобные системы оплаты и подключения, а также системы повышенной безопасности.

Функциональная схема LoRa, представленная на рис.1.19, показывает большое количество различных источников и получателей информации, являющихся составной частью будущих "умных" электрических сетей. Схема также отражает сложность задач, решаемых такой сетью. Для реализации концепции LoRa необходимы совместные усилия энергетических и телекоммуникационных компаний, интегрированное инновационное развитие инфраструктуры электроснабжения и связи и разработка обновленных стандартов для электрических сетей LoRa.

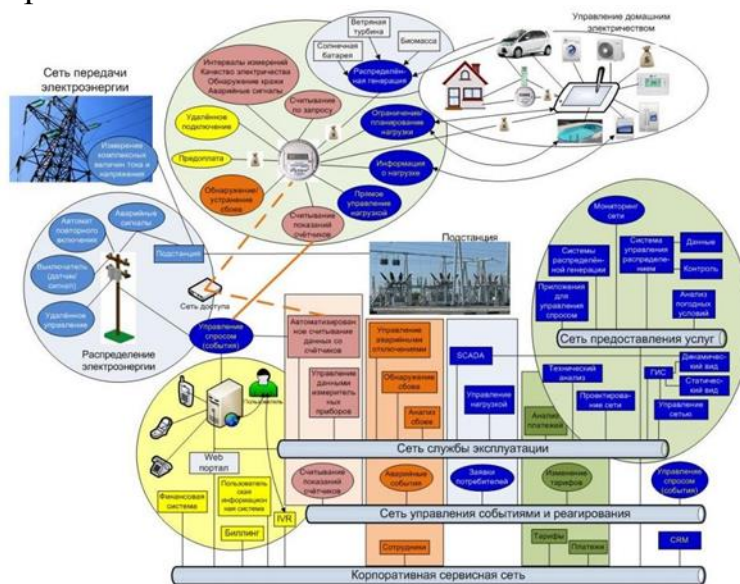


Рисунок 2.5 – Управление передачей электроэнергии

Топология сети. Топология сети – "звезда". Сама сеть состоит из базовых станций, к которым через радиointерфейс подключаются периферийные устройства (endnode/Mote). Базовые станции, в свою очередь, подключены к обслуживающей их инфраструктуре по IP. 30 подключение к инфраструктуре в качестве физического интерфейса используется соединение Ethernet или 3G.

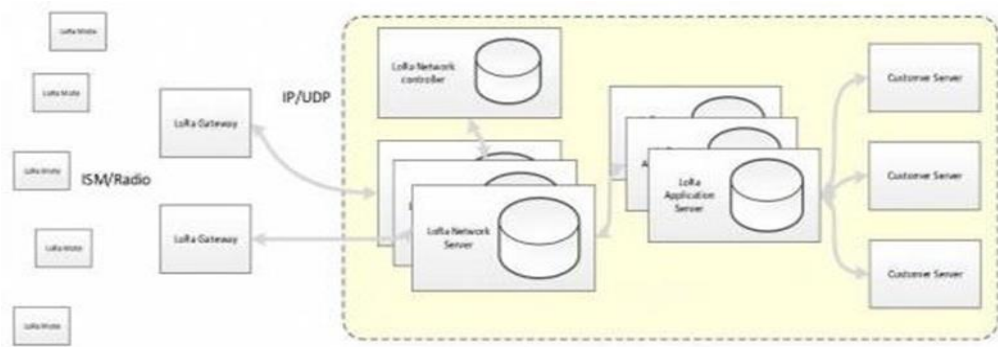


Рисунок 2.6 – Структура сети LoRaWan

- LoRamote-конечное устройство, взаимодействующее с сетью через базовую станцию (loragateway));
- Loragateway-базовая станция, обеспечивающая взаимодействие между окончившими сооружениями и центральной инфраструктурой;
- LoraNetworkServer (NS) - часть центральной инфраструктуры, отвечающая за аутентификацию пакетов, полученных с конечных устройств, и целостность транспорта (отслеживание фреймов).

Сохраняет сервер для каждого устройства, зарегистрированного в сети; - идентификатор устройства;

- Идентификатор приложения;
- Сетевой адрес, присвоенный устройству;
- Последовательный номер кадра, который следует ожидать от устройства;
- Последовательный номер кадра, ожидаемого следующего за прибором;
- Ключ аутентификации сессии.

- Loraapplicationserver (AS) - часть центральной инфраструктуры, отвечающая за кодирование/кодирование информации ча, а также за активацию устройств Over - The-Air. AS получает пакеты от NS и далее отправляет их в соответствующие CustomerServers, которые реализуют логику приложения, которое использует LoraWAN.

- LoraNetworkController (NC) - часть центральной инфраструктуры, отвечающая за автоматическое построение радиоканала между базовой станцией и конечными устройствами, в зависимости от ее параметров (adaptivedatarate);

- LoraCustomerServer (CS) - часть центральной инфраструктуры, реализующая серверные функции приложения, созданного на базе 31 LoraWAN. Этот сервер отвечает за обработку данных, полученных и отправляемых на конечное устройство.

Протокол управления скоростью LoRaWAN регулирует скорость радио от 300 ударов в секунду до 50 килобит, а скорость уменьшается на расстояние между приемником и передатчиком. На практике в существующих устройствах скорость не должна превышать 11 килобит в секунду, чего вполне достаточно для задач телеметрии, решаемых по данной технологии. Для продления срока

службы батареи (батареи) в терминале и оптимизации общей пропускной способности сети сетевой сервер LoRaWAN (контроллер сетевого контроля) индивидуально контролирует скорость передачи данных в зависимости от расстояния от устройства до ближайшего шлюза и выходную мощность РД каждого терминального устройства. Управление осуществляется с помощью алгоритма скорости передачи данных ADR (AdaptiveDataRate). Скорость адаптации ADR

- это метод, при котором фактическая скорость передачи данных корректирует надежную доставку пакета, оптимальную работу сети и шкалу, необходимую для ее оптимальной загрузки. Например, устройства, расположенные вблизи шлюза, увеличивают скорость передачи данных (и, следовательно, используют меньше времени для передачи) и уменьшают мощность трансивера. Связь между шлюзами и терминальными устройствами двусторонняя, но предполагается, что основная часть данных передается от терминальных устройств к шлюзам. Технология LoRa обеспечивает скорость беспроводной связи от 0,3 до 50 кбит / с. Для разделения каналов используется набор частотных каналов, а также скорость передачи данных. Для оптимизации системы используется адаптивное изменение скорости передачи-ADR (адаптиватарат).

Сетевой сервер оценивает качество сигнала, принимаемого с конечного устройства, и может контролировать как скорость передачи, так и мощность передатчика этого устройства. Конечное устройство может передавать данные по любому доступному каналу и при любой скорости передачи:

- при каждой передаче сообщения частотный канал выбирается случайным образом из списка доступных каналов;

- перед началом передачи конечное устройство должно убедиться, что канал свободен (listenbeforetalk, LBT). Канал считается бесплатным, если измеренное мгновенное значение RSSI меньше, чем RSSI_FREE_TH. Если канал пуст, устройство переходит в другой канал и повторяет процедуру LBT;

32

- конечное устройство должно учитывать ограничения местных регулирующих органов относительно процента времени получения частотного канала.

Сети LoRaWAN:

- совместим с существующими сетями / беспроводными технологиями передачи данных;

- обладает высокой стойкостью к помехам;

- может обслуживать десятки и сотни тысяч устройств;

- обеспечивает большую площадь покрытия и низкое энергопотребление периферийных устройств. Варианты использования беспроводных сетей LoRaWAN. Возможно применение:

- считывание показаний счетчиков газа, воды, электроэнергии;

- SmartGrid (мониторинг электрических сетей нового поколения);

- мониторинг автотранспорта и грузов на определенной территории (определение местоположения, информация о состоянии транспортных средств и грузов);
- контроль за состоянием контейнеров/емкостей на производстве (нефтехимические производства, контейнеры для отходов производства, контейнеры с опасными веществами) ;
- мониторинг производственного оборудования (снижение простоев, контроль параметров, обеспечение безопасности персонала) ;
- умная парковка (мониторинг доступности парковочных мест);
- мониторинг мусорных баков (оптимизация процессов утилизации мусора));
- интеллектуальное уличное и т.д. освещение (дистанционное управление, контроль ситуации) ;
- погода, мониторинга состояния;
- контроль состояния люков (предотвращение несанкционированного проникновения));
- Контроль содержания вредных веществ в атмосфере;
- сбор данных о состоянии окружающей среды (загрязнение, шум, дождь, ветер и т.д.);
- пожарная, охранная сигнализация;
- Автоматизация зданий (контроль температуры, влажности, управление воротами, жалюзи).

Сетевой протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) был впервые представлен на рынке беспроводных технологий в 2015 году. Корпорация Semtech и IBM Research представили новый протокол открытой сети, высоко оценив его конкурентоспособность по Wi-Fi и сотовым сетям. Отмечен ряд преимуществ LoRaWAN - это, в первую очередь, возможность использования межмашинных (M2M) связей и, конечно же, максимальная энергоэффективность новой технологии.

Появление технологии LoRaWAN вызвало большой резонанс на беспроводном рынке, вызвав необходимость принятия единого стандарта для маломощных глобальных сетей – LPWAN (от английской сети малой мощности). Аббревиатура LoRa объединяет метод модуляции LoRa и открытый протокол LoRaWAN в беспроводном LPWAN, разработанном Semtech [2].

Для поддержки, развития и стандартизации новых технологий была создана некоммерческая организация LoRa Alliance, основателями которой стали крупнейшие производители электроники (IBM, Semtech, Cisco, Kerlink, IMST и др.) и ведущие операторы связи (Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Швейцария). Внедрение стандарта решает задачу интеграции миллионов устройств в интернет в простые и простые вещи, а также решает проблему предоставления Интернет-услуг через операторов связи организациям Интернет-связи и частным лицам.

Разработчики Lora Alliance позиционируют LoRa как гораздо более высокую технологию, чем мобильные сети и WiFi, благодаря возможности использования машинных (M2M) коммуникаций на расстоянии до 20 [км]. И

скорость до 50 [Кбит/с]. Кроме того, расход энергии минимален, что позволяет добиться максимального срока службы батареи (несколько лет) на одну батарею АА.

Особенности новой технологии позволяют выбирать круг устройств LoRa практически без ограничений: предметы домашней автоматизации и Интернета вещей (Интернет вещей, IoT), промышленные и умные города, энергетика и здравоохранение и многое другое.

Как целостный дизайн, сеть LoRaWAN представляет собой звездную топологию, которая имеет конечные узлы, которые создают прозрачные мосты через шлюзы и соединяются с центральным сетевым сервером. Эта архитектура заключается в том, что центральный сервер и шлюзы находятся под контролем и владением оператора сети, а конечные узлы предназначены для абонентов. По этой схеме абоненты получают открытый, безопасный, двунаправленный способ обмена информацией.

Поскольку LoRaWAN создал глобальную сеть, главной заботой разработчиков является безопасность и конфиденциальность передаваемых данных. Для выполнения этой задачи шифрование AES обеспечивается на нескольких уровнях:

- Использование уникального сетевого ключа (EUI64) - на уровне сети
- Использование уникального ключа приложения (EUI64) - безопасность на уровне программы
- Использование специального ключа устройства (специальный ключ устройства, EUI128).

LoRaWAN обычная беспроводная сеть-это набор шлюзов, которые перенаправляют сообщения между конечными устройствами и центральным сервером (Network Server, NS) и характеризуются топологией звезд.

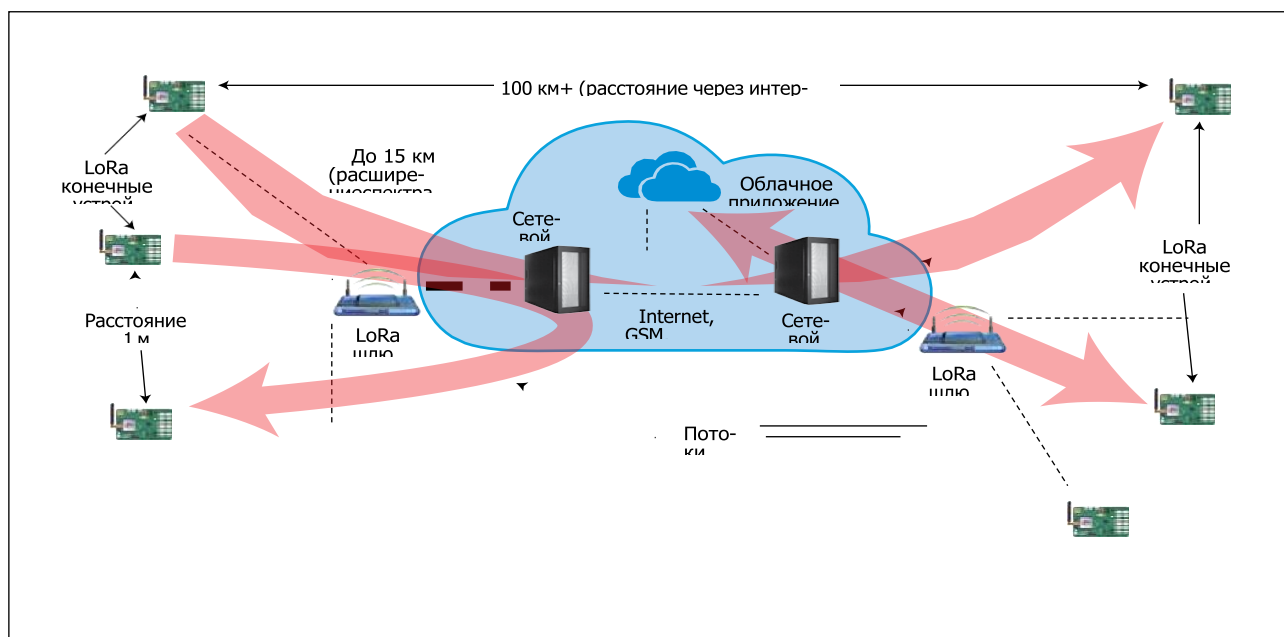


Рисунок 2.7 – Сетевая архитектура

Технология LoRa основывается на двух главных элементах:

- радиointерфейсе физического уровня, который определяет все аспекты передачи радиосигналов между шлюзами сети LoRa и оконечными устройствами. Радиointерфейс LoRa устанавливает рабочие частоты, виды модуляции, уровни мощности, сигнализацию и обмен сигналами между передающими и приемными устройствами в сети LoRa;

- сетевой архитектуре, которая включает абонентские устройства IoT/M2M, шлюзы LoRa (базовые станции), сетевые серверы, подключенные по транспортной сети к интернет, и серверы приложений (рисунок 2.7).

LoRaWAN (Long Range wide-area networks, глобальная сеть большого радиуса действия) – основной аппаратный протокол LoRa, который нужен для контроля статуса и управлением общением между LPWAN-шлюзами и конечными устройствами. Технология основывается на топологии по типу

«звезда». Наибольшее количество приборов передают данные через беспроводную связь не на один шлюз, а одновременно на несколько. Это удобно тем, что при передвижении устройства, за которым идет слежение, у него нет привязки к одному единственному шлюзу. Значит, если объект ушел из “поля зрения” одного шлюза, он автоматически отражается в зоне другого. Данный метод позволяет гарантировать целостную передачу информации [11] (рисунок 2.8).

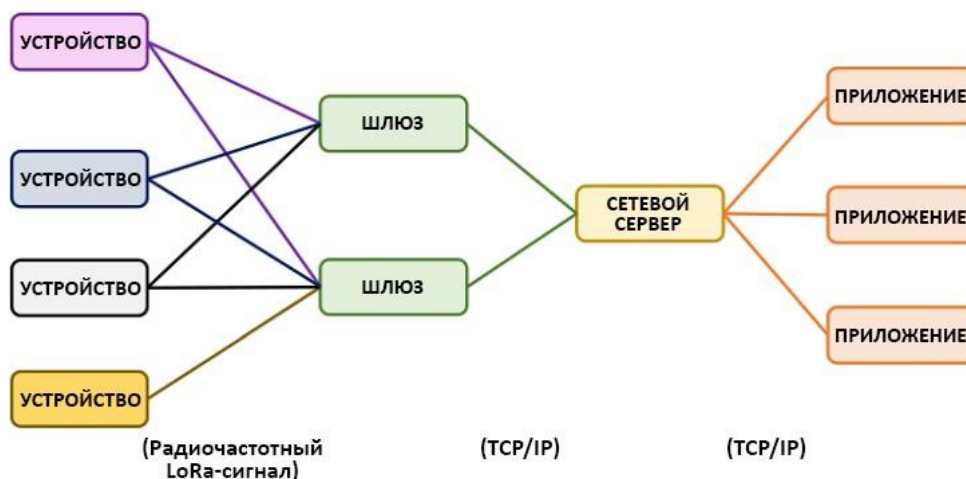


Рисунок 2.8 – Принцип работы сети LoRa

3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Расчет потребляемой мощности устройств LoRaWan

Мощность, потребляемая при передаче данных, напрямую связана с размером пакета данных. Ток потребления указан производителем и составляет 14,20 мА. При использовании в аккумуляторе 2 потребляемая мощность имеет следующее значение:

$$P = I \cdot U, \quad (3.1)$$

$$P = 14.2 \cdot 10 \cdot 2 = 2.840 \text{ мВт}$$

Ток потребления при приеме данных для MicrochipRN2483 указан производителем и составляет 2,8 мА. Значение потребляемой мощности при использовании батареи 2В при приемке в соответствии с формулой (3.1) :

$$P = 2.8 \cdot 10^{-3} = 0.560 \text{ мВт}$$

Ток потребления устройств LoRaWAN время режима "сон" составляет 1,8 мкА, при использовании 2 батареек значение потребляемой мощности при режиме "сон" будет следующим:

$$P = 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 2 = 36 \text{ мкВт}$$

Антенна используется Microchip RN2483 с коэффициентом усиления 2,2 дБ. Усиление антенны при передаче и приеме сигнала находим по формуле ниже:

$$G = 10 \frac{G_{id}}{13}, \quad (2.2)$$

$$G = 10 \frac{2.2}{13} = 1.66$$

3.2 LoRaWAN шаблон свободного пространства

Для работы в системах мониторинга на высоковольтной подстанции сеть LoRaWan часто используется внутри помещений. Модель свободного пространства является наиболее используемой (упрощенной) моделью распределения радиосигналов внутри помещений. В этом случае сигнал не имеет рассеяния, отражения, поглощения, рассеяния и дифракции радиоволн. Энергия сигнала уменьшается обратно пропорционально квадрату

расстояния между приемником и передатчиком с увеличением значения мощности сигнала передающей антенны и коэффициента усиления приемника и передающей антенны.

Значения параметров связи, необходимых для расчета, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Исходные параметры связи для расчета

Параметры	Значения
Дальность радиосвязи r, м	20 м; 30 м.
Эталонное расстояние d0, м	1
Показатель уровня потерь в тракте α	3
Средняя выходная мощность передатчика Pt, дБм	1мВт (0 дБм)
Средний уровень шума приемника Pn, дБм	-95,5
Среднее квадратическое отклонение ОСШ σ, дБ	3
Коэффициент усиления приемной и передающей антенны	1,66
Несущая длина волны	0,125 м

Для определения мощности принимаемого сигнала используется формула распределения потерь в тракте.

$$P = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot h^2 \cdot hr^2}{d^4 \cdot L} \quad (3.3)$$

где Pt-мощность сигнала передающей антенны, дБ;
Pr-мощность принимаемого сигнала, дБ;
λ-длина несущей антенны, м;
d – расстояние между двумя антеннами;
Gt, Gr-коэффициенты усиления передающей и принимающей антенн, дБ.

Значение ослабления в открытом помещении находим по формуле:

$$P_L = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg \frac{\varphi^2}{(4\pi)^2 d^2}, \quad (3.4)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.3. Расчеты показывают, что ослабление значения может достигать 65 дБ в открытом пространстве, при

мощности 95 дБ принимаемый сигнал приблизительно - (порог чувствительности используется при LoRaWAN). Из таблицы видно, что с увеличением расстояния, как показано на рис.2.4, уровень принимаемого сигнала резко падает, а чувствительность падает до предела в 30 метров.

Таблица 3.3 - Результат расчетов

Расстояние	Принятая мощность сигнала, Вт	Ослабление в открытом помещении, дБ
5	-79,62 дБ	59,63
10	-85,63 дБ	55,63
15	-89,17 дБ	59,17
20	-91,6 дБ	61,65
25	-93,5 дБ	63,5
30	-95 дБ	65,18
35	-96,5 дБ	66,52
40	-97,5 дБ	67,69
45	-98,6 дБ	68,65
50	-99,62 дБ	69,62

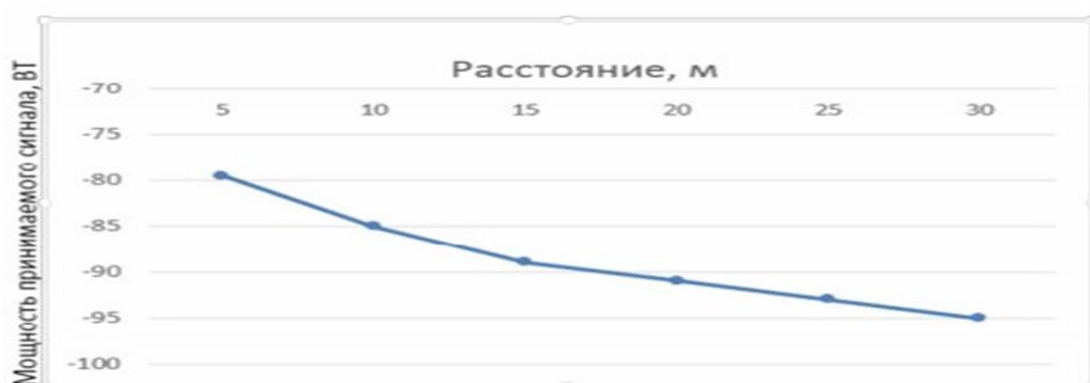


Рисунок 3.1 – Дистанционное изменение мощности принятого сигнала

Модель свободного пространства не учитывает видимость, замерзание и многолучевое распространение с поверхности земли. Большая точность при расчете дает двухлучевую модель и модель затенения.

3.3 Двухлучевая модель LoRaWAN

Данная модель предполагает, что прямая линия передачи сигнала от передающего к приемному устройству не является единственной, а имеет вид с поверхности земли. Электромагнитное поле можно представить как совокупность двух типов электромагнитных волн, расположенных вблизи

плоского предела помещения в двух разных средах – прямой волны и отраженных от границы раздела средних волн (рис. 2.2).

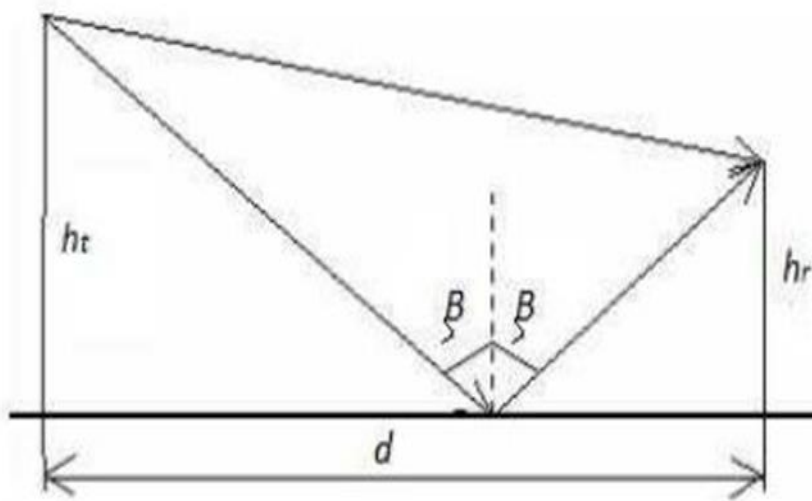


Рисунок 3.2 – Двухлучевая модель распределения

Известно, что эта модель дает лучшие результаты по сравнению с моделью свободного пространства. Полученная мощность сигнала с учетом высоты приемных и передающих устройств определяется по формуле:

$$P = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot h_t^2 \cdot h_r^2}{d^4 \cdot L} \quad (3.5)$$

где h_t – высота, на которой расположено распределительное устройство LoRaWan, получим, что оно равно 1,5 м;

h_r – высота, на которой расположено приемное устройство hr-LoRaWAN, равна 1,5 м;

G_t – коэффициент усиления приемной антенны, дБ;

G_r – коэффициент усиления передающей антенны, дБ.

В таблице 3.3 показано расчетное значение мощности принимаемого сигнала в зависимости от расстояния между приемником LoRa и передатчиком. Как видно из результатов расчетов, полученных для двухлучевой модели распределения, наличие разделения двух носителей приводит к уменьшению мощности, полученной с помощью скорости, расстояния по сравнению с моделью свободного пространства. Значение мощности, полученное на расстоянии 20 метров, снижается до -70 дБ.

В двухлучевой модели не учитывается отражение от различных препятствий, расположенных на пути распространения. На рис.2.4 приведен график зависимости получаемой приемником мощности от расстояния, построенного по расчетным данным (таблица 3.3), по модели двухлучевого распределения радиосигнала.

Таблица 3.3 - Полученная мощность сигнала

Расстояние между передатчиком и приемником сети LoRaWAN, d (м)	Мощность полученного сигнала, Вт (дБ)
5	-46,5 дБ
10	-58,5 дБ
15	-65,5 дБ
20	-70,6 дБ
25	-74,47 дБ
30	-77,63 дБ
35	-80,3 дБ
40	-82,6 дБ
45	-84,7 дБ
50	-86,5 дБ

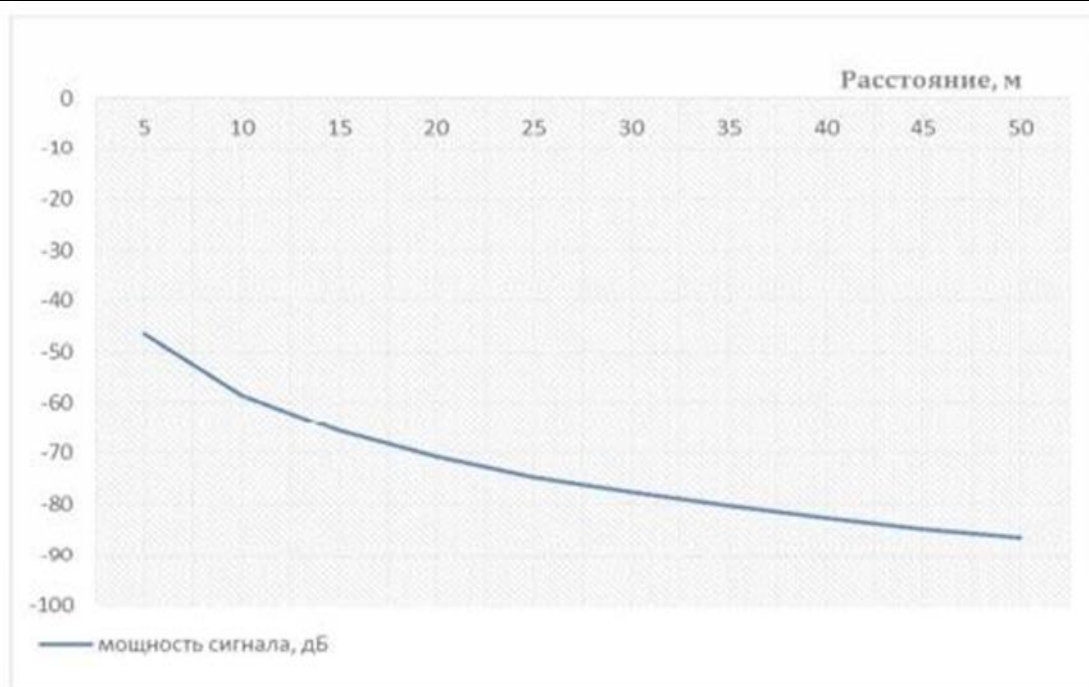


Рисунок 3.3 – Дистанционное изменение полученного уровня мощности

Также в открытом помещении находим значение ослабления ДБ по формуле:

$$P_L = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg \frac{\varphi^2}{(4\pi)^2 d^2}$$

При расчете ослабление в открытом помещении при передаче радиосигнала имеет значение ослабление, связанное с расстоянием между передачей и приемником системы LoRaWan (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Значение ослабления в открытом помещении

Расстояние между передатчиком и приемником сети LoRaWAN, d (м)	Значение ослабления в открытом помещении
5	16,51
10	28,55
15	35,60
20	40,60
25	44,47
30	47,6
35	50,31
40	52,63
45	54,68
50	56,53

С увеличением расстояния ослабления сигнала, как видно из таблицы, расстояние ослабления сигнала резко увеличивается, а при расстоянии между передающим и приемным устройством, равном 50 метрам, достигает значения 56 дБ.

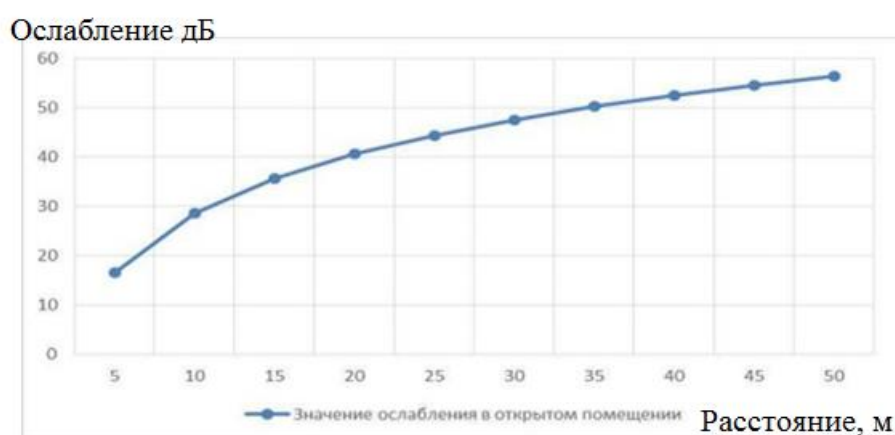


Рисунок 3.4 – Ослабление сигнала в открытом помещении

Модель лог-нормального распределения затрат на дороге определяет затраты на дороге в зависимости от частоты и расстояния, что является методом прогнозной оценки. Определяем значения потерь тракта на разных расстояниях по формуле:

$$P_L = 20\log_{10}(f_{MHz}) + 20\log_{10}(d) - 28 \quad (3.6)$$

В таблице 2.5 приведены значения дорожных затрат, полученных при расчете с использованием метода прогнозной оценки.

Таблица 3.5-значения потерь в тракте

Расстояние между передатчиком и приемником сети LoRaWAN, d (м)	Значение потерь в тракте, дБ
5	53,60
10	59,6
15	63,14
20	65,6
25	67,56
30	69,15
35	70,48
40	71,6
45	72,66
50	73,58

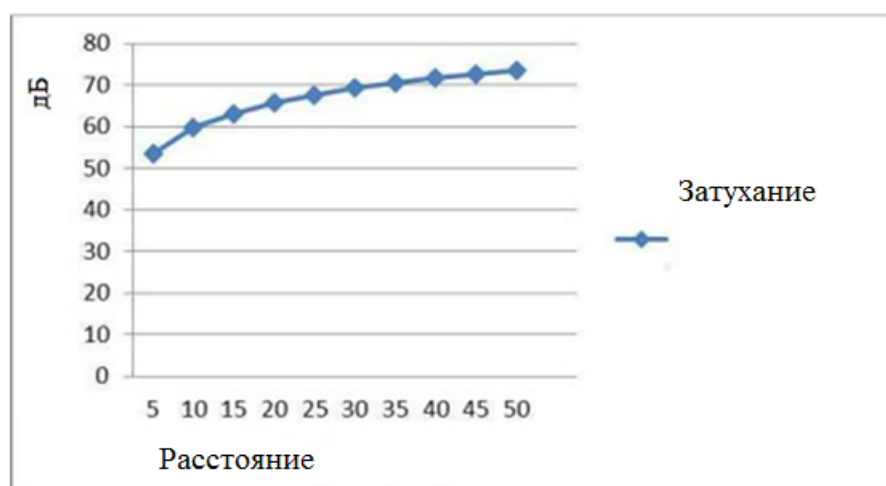


Рисунок 3.8 – Изменение потерь на дорогах с увеличением расстояния между устройствами

3.4 Определение уровня затухания и отношения сигнал-шум при передаче данных в системе LoRaWAN

Степень затухания при передаче от радиоприемника от передатчика к приемнику зависит от частоты передачи, расстояния между модулями, а также от значения гауссовой переменной. Значение затухания находим по формуле:

$$P_L = 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 20 \log_{10}(d) - 28 + N(0, \sigma^2 ch) \quad (3.7)$$

Получим значение нулевой Гауссовой переменной, равное 1 (Фабрика, область сложной видимости), $\beta = 2$, где затухание на эталонном расстоянии найдено в следующем выражении:

$$P_L = 20 \log_{10}(2405) + 10 \cdot 2 \cdot \log(1) - 28 + 1 = 40 \text{ дБ}$$

Уровень затухания при передаче от радиоприемника к приемнику от передатчика. Этот расчет дает незначительную величину потерь пути, так как не учитываются особенности пути распространения радиосигнала, а также тип материала, из которого сделаны помехи, и размеры. Поэтому при распределении данных необходимо учитывать полипластическое распределение. Из расчетов для определения сопротивления на пути передачи следует, что, учитывая нагрузку, возникающую от помех, сигнал, распространяющийся в зоне с ограниченным зрением, видит множество отражений и поглощений, в результате чего на расстоянии 30 м затухание сигнала достигает значения 70 дБ (табл.2.6).

Таблица 3.6 - Результаты расчетов

Расстояние между передающим и принимающим устройством, м	Затухание на тракте с учетом ослабления за счет помех, дБ
5	55
10	60
15	61,5
20	67
25	68,8
30	70,5
35	71,8
40	73,03
45	74,05

Значение затухания с учетом ослабления за счет помех на линии передачи достигает значения 75 дБ на расстоянии 45 метров. Уровень мощности, принимаемый при использовании системы передачи данных LoRaWan на электростанции, может иметь низкое значение даже на расстоянии 10-15 метров.

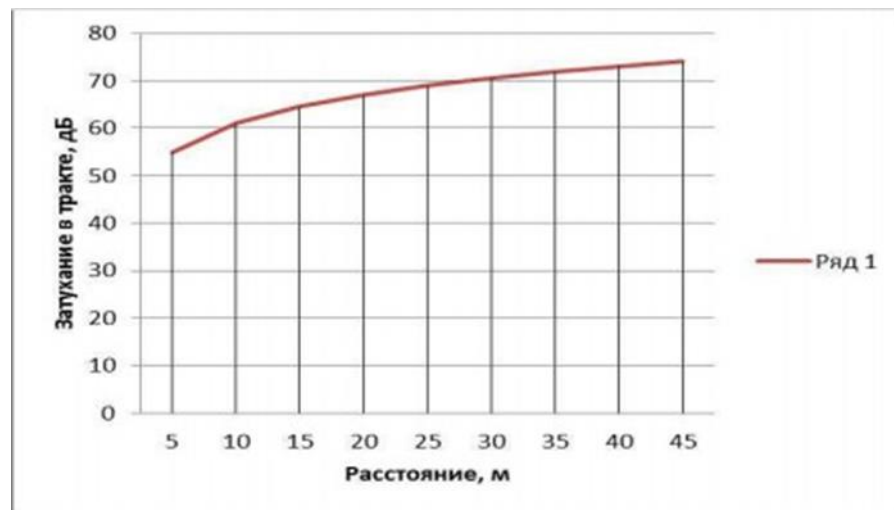


Рисунок 3.5 - Затухание на тракте с учетом ослабления за счет помех

3.5 Выводы по расчетной части

В расчетной части дипломной работы определены основные параметры связи при передаче радиосигнала системы LoRaWan. Напряженный зазор в пути передачи, распределение двух лучей и рассчитывали с помощью модели «затенения». Когда радиосигнал распространяется в плохо видимой области, он испытывает много отражений и поглощений, поэтому модель «пробел» предоставляет точные данные для расчета. Установлено, что даже на расстоянии 30 метров затухание сигнала достигает значения 70 дБ. В расчетной части отношение полученного оборудования к мощности на относительном расстоянии определяли по модели «Shading» для трех зон размещения оборудования.

Для области с плохим зрением этот показатель резко увеличивается с увеличением расстояния между приемником и передатчиком и составляет -95 дБм (достигает предела чувствительности) на расстоянии 45 метров. Он достигает 23 и 24 дБм соответственно для линии видимости препятствий на расстоянии. Определялся коэффициент сигнал-шум (SNR) на входе ресивера.

С увеличением расстояния это значение SNR резко уменьшается, и на 45 метрах оно составляет 22 дБ, что соответствует низкому уровню качества связи.

Значение мощности приемника рассчитывали по двухлучевой схеме передачи радиосигнала. Из полученных результатов расчета можно сделать вывод, что наличие разделения двух сред приводит к уменьшению скорости, удаленной мощности по сравнению с моделью свободного пространства. С увеличением расстояния уровень мощности на входе ресивера снижается и на расстоянии 35-50 метров приобретает более низкое значение, но его можно определить по требуемому уровню качества. Для оценки влияния электромагнитного излучения на ближней частоте интерференционное поведение сети Bluetooth рассматривалось совместно с сетью LoRaWan.

Распространение или распространение коротких пакетов уменьшает влияние помех, потому что меньший пакет пакетов имеет меньшую вероятность столкновения с мешающей системой. Фрагментация уменьшает вероятность потери пакета, создавая больше помех другим системам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе были рассмотрены технологии LoRaWAN. Изучая и анализируя теоретические источники сделаны выводы, что применение этих технологий предоставляет огромные возможности для улучшения условий жизни людей, оптимизации всех систем городской жизни. Исходя из цели дипломной работы: Анализ и выбор оборудования для внедрения технологии LoRaWAN, поставленные задачи были достигнуты. Подробно изучен протокол LoRaWAN, в Казахстане с 2017 года активно внедряется система энергоэффективной сети LPWAN на базе технологий "LoRa" с охватом всех частных и многоквартирных домов, зданий и городской территории в городах Нур-Султан, Алматы и Шымкент. Таким образом, для нашей страны это очень актуально. Архитектура сети обладает наилучшим соотношением между увеличением срока службы батарей IoT устройств, и обеспечением дальности связи. Протокол работает в нелицензируемом диапазоне и в этом его уникальность по стоимости и скорости внедрения. Подробно изучен опыт внедрения протокола в Астане, достоинства и проблемы внедрения. Оценена возможность внедрения технологии в больших городах. Также произведены расчеты эффективности LoRa: распространения радиоволн, чувствительности приемника, энергетического потенциала линии связи для технологии LoRa, емкости сети LoRa. Расчеты явились доказательством преимущества данной технологии в настоящее время и обосновало применение протокола LoRaWAN в нашей стране. Сделаны выводы: для быстрого внедрения новых технологий необходимо наращивание объема инвестиций. Экономическая эффективность должна оправдываться результативностью и быстротой внедрения. Также необходима подготовка высокоспециализированных кадров в сфере IoT технологий. Внедрение новых технологий вызывает сопротивление сотрудников на местах и недоверие населения. Нужно вести повсеместную разъяснительную работу и поселить твердую уверенность в неизбежности нововведений. Возможна организация разъяснительных курсов для населения и сотрудников предприятий, а также стажировке и переподготовки кадров. Для успешного развития и конкурентоспособности нашей страны нужно идти в ногу со временем. Благодаря внедрению IoT проектов, экономика страны будет успешно развиваться.

Изучая и анализируя теоретические источники сделаны выводы, что применение этих технологий предоставляет огромные возможности для улучшения условий жизни людей, оптимизации всех систем городской жизни города Нур-Султан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. «Интернет вещей».- Самара: ПГУТИ, АСТАРД 2014 г.
- 2 Роуз Д. «Будущее вещей: Как сказка и фантастика становятся реальностью.» Альпина нон-фикшн 2015 г
- 3 Международный Научный Журнал «Инновационная Наука» №12-2/2016 статья «Интернет вещей».
- 4 Мачей Кранц «Интернет вещей. Новая технологическая революция». ЭКСМО 2018 г.
- 5 Карачев О. «Интернет вещей : что это такое и с чем его едят?» 2014 г. <http://chezasite.com/news/chto-takoe-internet-veshei-82180.html>.
- 6 Карим Токтабаев «Интернет вещей в РК: реальность или несбыточная мечта?» 2017 г. kapital.kz/economic/64083/internet-vecshej-v-rk-realnost-ilinesbytochnaya-mechta.html
- 7 Линдзи О* Доннелл «Вендоры Интернета вещей: оборудование для IoT.2017 г. <https://www.crn.ru/numbers/specnumbers/detail.php?ID=11794>
- 8 Кабанова А. Б., Бодрова А. А., Логвин В. И. «Исследование интернета вещей и его применение в создании умного дома» Журнал «Символ науки» № 11 2016 г.
- 9 Пятницких А. «Технологии IoT на службе умного города.» СТА №4 2015 г.
- 10 Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. «Самоорганизующиеся сети» СПб... Любавич 2011г.
- 11 Спецификация LoRaWAN . Введение. Основные понятия и классы оконечных устройств. 2016 г. <https://habr.com/ru/post/316954/>
- 12 Плотников О. Сети LoRaWAN 2017 г
- 13 Верхулевский К. «Однокристалльные ISM трансиверы Simtech: уверенная связь в сложных условиях». Компоненты и технологии № 6 2013 г.
- 14 Электронный ресурс: <http://www.tadviser.ru/index.php/> Статья:Стандарт NB-IoT LowPower and WideArea, LPWAN
- 15 <https://smartiko.ru/products/radiomodemy-i-gotovye-ustroystva/>
- 16 <http://orion-m2m.kz/ru/news/lora-alliance/>
- 17 <https://telecom.kz/ru/news/view/28369>
- 18 Э.Таненбаум, Д. Уэзеролл. Компьютерные сети. 5-е изд.- СПб: Питер, 2012.- 960 с.
- 19 Технология LoRa: перспективы внедрения на сетях IoT. В.Тихвинский, д.э.н., заместитель генерального директора по инновационным технологиям ООО "АйКомИнвест" / vtniir@mail.ru, В.Коваль, генеральный директор ООО "Гейзер Телеком", Г.Бочечка, к.т.н., руководитель управления инновационного центра ООО "АйКомИнвест". Беспроводная связь. Первая миля, № 6. 2016.
- 20 Обзор и сравнительный анализ технологий lрwan сетей. Д. Л. Кумари-това, Р. В. Киричек. СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация.

Отзыв руководителя

Дипломной работы

Канатулы Жанибек

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тема Внедрение технологии LoRaWan в городе Астана

Работа посвящена вопросам, связанным с понятием технология LoRaWAN и его внедрении в городе Астана».

Отличительные черты работы заключаются в анализе самой технологии и проектировании сети .

Решены вопросы в выборе оборудования для внедрения технологию.

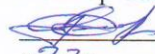
Применение таких технологий значительно облегчает ряд процессов по управлению муниципальным хозяйством, а также в разы дешевле традиционной GSM-телеметрии за счет отсутствия избыточности (очень малые объемы передаваемой информации) и энергоэффективности.

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

Дипломная работа выполнена на оценку 95/А/«отлично», а дипломант, Канатулы Жанибек достоин степени бакалавра по специальности 5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Научный руководитель

Лектор каф.ЭТиКТ

 Н.А.Джунусов

«27» 05 2022 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Канатулы Жанибек

5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Тема Внедрение технологии LoraWan в городе Астана

Сегодня технология LoRaWAN широко распространена в западных странах.

Данная концепция предусматривает активное применение новых цифровых технологий, "умных" многотарифных счетчиков и приборов распределения электроэнергии для обеспечения надежности и прозрачности различных процессов производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

В расчетном разделе были рассчитаны следующие параметры: потребляемой мощности устройств LoRaWan, двухлучевая модель LoRoWAN, дистанционное изменение полученного уровня мощности..

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

Дипломная работа выполнена на оценку 95/А/«отлично», а дипломант, Канатулы Жанибек достоин степени бакалавра специальности 5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Рецензент

Старший преподаватель КазНУ им.Аль-Фараби,

Канд.техн.наук

 М.А.Абдуллаев

« » 2022 ж.



заверено печатью
М.А. Абдуллаев

А.Т. Туркешова

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Канатулы Жанибек

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Внедрение технологии LoraWan в городе Астана

Научный руководитель: Нуридин Джунусов

Коэффициент Подобия 1: 7.5

Коэффициент Подобия 2: 3.8

Микропробелы: 10

Знаки из здругих алфавитов: 5

Интервалы: 4

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:

2022-05-26

Дата



Сұңғат Марксұлы

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: Канатулы Жанибек

Тақырыбы: Внедрение технологии LogaWan в городе Астана

Жетекшісі: Нуридин Джунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 7.5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.8

Дәйексөз (35): 1.2

Әріптерді ауыстыру: 5

Аралықтар: 4

Шағын кеңістіктер: 10

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:

2022-05-26

Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Канатулы Жанибек

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Внедрение технологии LogaWan в городе Астана

Научный руководитель: Нуридин Джунусов

Коэффициент Подобия 1: 7.5

Коэффициент Подобия 2: 3.8

Микропробелы: 10

Знаки из здругих алфавитов: 5

Интервалы: 4

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:

2022-05-26

Дата

Заведующий кафедрой

