

УДК 621.311

На правах рукописи

Карманов Артём Александрович

Разработка цифровых средств радиотелеметрии для IoT устройств

7М07110 «Робототехнические, интеллектуальные системы и приборостроение»

Автореферат

магистерского проекта на соискание академической степени
магистра техники и технологий по образовательной программе
7М07110 «Робототехнические, интеллектуальные системы и
приборостроение»



Подпись магистранта

Петропавловск
2023

Магистерский проект выполнен в Северо-Казахстанском университете им. М. Козыбаева, факультет инженерии и цифровых технологий (ФИЦТ), кафедра энергетики и радиоэлектроники (ЭиР)

Научный руководитель:

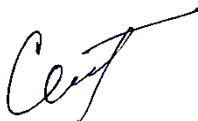
Кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент)
Савостин Алексей Александрович

Рецензент:

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент)
Риттер Дмитрий Викторович

Защита состоится 30.01.2024 в 9:00 по адресу: г. Петропавловск, ул. Пушкина 86, учебный корпус №4, факультет инженерии и цифровых технологий (ФИЦТ), кафедра энергетики и радиоэлектроники (ЭиР)

Технический секретарь ГАК:



Семенюк В.В.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1 Обзор концепции IoT (интернет вещей)..... | 6 |
| 1.1 Общие сведения об IoT | 6 |
| 1.2 Области использования IoT | 7 |
| 2 Обзор современных беспроводных технологий | 9 |
| 2.1 Типы беспроводных сетей | 9 |
| 2.2 LPWAN технологии беспроводной связи..... | 12 |
| 2.2.1 Общие сведения о LPWAN сетях | 12 |
| 2.2.2 SIGFOX технология..... | 14 |
| 2.2.3 LoRa технология | 17 |
| 2.2.4 Сравнительный анализ SIGFOX и LoRa..... | 19 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 21 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 22 |
| СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ | |
| ПРОЕКТА..... | 24 |
| РЕЗЮМЕ..... | 25 |

ВВЕДЕНИЕ

Термин IoT (Интернет вещей), подразумевает коллективную сеть, которая обеспечивает связь устройств с Интернетом, а также устройств друг с другом. Благодаря разнообразию современных цифровых микросхем, датчиков и исполнительных устройств, существуют миллиарды IoT устройств, подключенных к сети Интернет.

Количество таких устройств и требования к их качественным показателям продолжают расти по мере цифровизации и развития технологий. Взаимодействие этих устройств друг с другом и с сетью Интернет было бы невозможным без цифровых средств радиотелеметрии, которым посвящён магистерский проект.

Цель проекта – разработка аппаратно-программного решения для цифровых средств радиотелеметрии, которое обеспечит энергоэффективный, помехоустойчивый обмен данными между портативными IoT устройствами с батарейным питанием.

Задача проекта – выполнить анализ концепции IoT и технических возможностей современных технологий беспроводной связи, на основе результатов которого выбрать технологию для разработки аппаратно-программного решения по критериям оптимального баланса между энергопотреблением, скоростью обмена, используемым спектром частот, бюджетом канала связи и доступностью элементной базы, реализующей аппаратную часть.

В процессе разработки используются методы анализа научной литературы, моделирования и экспериментальные исследования на базе созданных прототипов цифровых средств радиотелеметрии.

Научная новизна проекта заключается в разработке нового аппаратно-программного решения для беспроводного обмена цифровым трафиком, на базе современных технологий формирования и обработки сигнально-кодовых конструкций радиоизлучения.

Теоретическая значимость проекта заключается в расширении и систематизации теоретической базы, посвящённой возможностям современных технологий беспроводной связи.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанных цифровых средств радиотелеметрии для реализации IoT устройств широкого спектра применения (промышленность, коммунальная инфраструктура, сельское хозяйство и другие).

Достоверность результатов, полученных в ходе разработки проекта, подтверждается эмпирическими показателями, демонстрируемыми с помощью натуральных образцов разработанных устройств.

Ключевые слова: IoT; радиотелеметрия; LoRa; интернет; частота; чувствительность; CSS; FEC; синхронизация.

1 Обзор концепции IoT (интернет вещей)

1.1 Общие сведения об IoT

Интернет вещей (далее – IoT, сокращение от английского *internet of things*) – парадигма построения сети передачи/приёма информации между вещами, имеющими соответствующее аппаратное обеспечение, позволяющее, преимущественно беспроводным способом, обмениваться трафиком между однотипными устройствами или с внешней средой [1]. Концептуальную основу IoT составляет обеспечение возможности автоматизировать повседневные процессы, минимизировав вовлечение в них человеческих ресурсов [2].

Впервые IoT концепция была сформулирована в 1999 г. в форме анализа потенциальных возможностей использования ресурсов беспроводной идентификации для обмена данными между устройствами.

В период с 2000 по 2010 годы, по мере распространения беспроводных технологий, развития межмашинного обмена данными и применения протоколов IPv6 [3], концепция IoT обрела разнообразным технологическим наполнением и всё чаще применялась для решения практических задач.

Одной из первых обширных работ, посвящённых IoT [4], считается статья, опубликованная в журнале *Scientific American* в 2004 году. Основной акцент той публикации был направлен на объединение «вещей» (физических устройств) в сеть, которая обслуживается IP протоколами [2]. Также в статье была приведена наглядная иллюстрация того, как различные бытовые приборы (кондиционер, система освещения, система полива, охранная сигнализация и прочее) взаимодействуют друг с другом посредством беспроводной связи.

Национальный разведывательный совет США в своём докладе 2008 года характеризует «интернет вещей» как одна из опасных технологий, которая способна увеличить риски в области государственной кибербезопасности [5].

По оценкам аналитиков компании Cisco в 2009 году число вещей, подключенных к интернету, превысило число жителей Земли. По этой причине принято считать, что именно в этот период интернет людей превратился в интернет вещей.

Востребованность использования идентификации интернет вещей связана с тем, что в IoT присутствуют физические объекты, не имеющие возможности включения в сети обмена данными. Для таких объектов уникальность идентификационных номеров обеспечивается преимущественно с помощью технологии RFID (бесконтактная радиочастотная идентификация).

Для уникальной идентификации вещей, имеющих подключение к сети интернет, традиционно используются сетевые MAC адреса.

Пространство MAC адресов, поддерживаемое протоколом IPv6, позволяет обеспечить каждого жителя Земли почти 300 000 000 уникальных идентификаторов.

1.2 Области использования IoT

Подавляющее большинство современных интернет вещей находит своё применение в потребительских решениях, используемых в быту для удалённого управления и мониторинга [6]: системы освещения, климат контроля, видеонаблюдения, устройства воспроизведения медиа контента и многие другие устройства, реализующие концепцию умного дома.

В качестве наиболее распространённых брендов, предлагающих современные решения для экосистем умного дома, можно отметить Google, Amazon, Apple, Samsung [7].

Кроме коммерческих, проприетарных решений, существует немало свободно распространяемых экосистем, использующих открытый исходный код: OpenHAB, Home Assistant, Domoticz [8].

IoT устройства находят активное применение в сфере здравоохранения для дистанционного мониторинга показателей

здоровья и формирования сигналов оповещения в случае критического ухудшения анализируемых метрик (артериальное давление, пульс, температура, уровень сахара и другое).

В сельском хозяйстве IoT преобразует традиционные методы, делая их более эффективными, устойчивыми и экономически выгодными. Внедрение технологий IoT в этот сектор обещает улучшить уровень жизни фермеров, обеспечивая стабильное и продуктивное развитие сельского хозяйства [8].

IoT становится неотъемлемой частью продовольственной промышленности, реформируя ее подход к управлению цепочкой поставок. Применение технологий IoT приводит к более эффективному, безопасному и ответственному производству продуктов, что приносит пользу как производителям, так и потребителям [9].

Использование IoT в инфраструктурных приложениях является ключевым элементом создания умных городов, способствующих эффективному управлению, снижению воздействия на окружающую среду и повышению качества жизни горожан [10].

Интеграция технологий IoT в энергетическую отрасль приводит к революции в управлении и мониторинге энергосистем, обеспечивая эффективность, устойчивость и экологическую устойчивость [11].

Внедрение технологий IoT в оборонной отрасли приводит к преобразованию военной стратегии, обеспечивая современные решения для обеспечения безопасности и эффективности в оборонных операциях [12].

2 Обзор современных беспроводных технологий

2.1 Типы беспроводных сетей

Современные беспроводные сети можно условно разделить перечисленные ниже типы:

а) WPAN (Wireless Personal Area Network) беспроводные персональные сети:

WPAN представляет собой сеть, охватывающую небольшие личные области, обычно в пределах нескольких метров.

Основные технологии WPAN включают Bluetooth и Zigbee.

Bluetooth обеспечивает краткодистанционную передачу данных между устройствами, такими как смартфоны, наушники и клавиатуры.

Zigbee широко применяется в системах умного дома и умных городов, обеспечивая связь для устройств IoT;

б) WLAN (Wireless Local Area Network) беспроводные локальные сети:

WLAN предоставляет беспроводной доступ в локальных сетях с более широким охватом, часто до нескольких сотен метров.

Стандарт Wi-Fi (802.11) является ключевой технологией WLAN. Сети Wi-Fi широко распространены в домах, офисах, общественных местах и предоставляют высокоскоростной доступ в интернет.

Стандарт Wi-Fi 6 (802.11ax) предоставляет улучшенную производительность в условиях высокой загрузки сети.;

в) WWAN (Wireless Neighborhood Area Network) беспроводные сети районов:

WNAN представляет собой беспроводные сети, ориентированные на определенные жилые районы или районы города.

В качестве примеров WNAN сетей можно привести Wi-SUN и ZigBee-NAN, которые обеспечивают долгосрочную связь на значительные расстояния с умеренным энергопотреблением. Применяется в системах умных городов, сельском хозяйстве и других областях, где требуется связь с большим охватом;

2) WWAN (Wireless Wide Area Network) беспроводные глобальные сети:

WWAN предоставляет беспроводной доступ в широких географических областях, охватывая национальные и мировые масштабы.

Мобильные сети, такие как 4G LTE и 5G, являются ключевыми технологиями WWAN, предоставляя мобильную связь и интернет в движении. 5G внедряет более высокие скорости передачи данных, низкую задержку и увеличенную емкость сети.

В рамках WWAN выделяется подкатегория LPWAN (Low Power Wide Area Network). Эти технологии обеспечивают долгосрочную связь для интернета вещей (IoT) с минимальным энергопотреблением. Применение LPWAN распространено в системах мониторинга и управления, где требуется связь на больших расстояниях с длительным сроком службы батарей.

К наиболее распространённым представителям LPWAN сетей можно отнести LoRa и SIGFOX, сравнительному анализу которых посвящены следующие подразделы проекта.

Ниже показаны распространённые технологии, реализующие стандарты перечисленных выше беспроводных сетей, а также достижимые ими дальности связи (Рисунок 1).

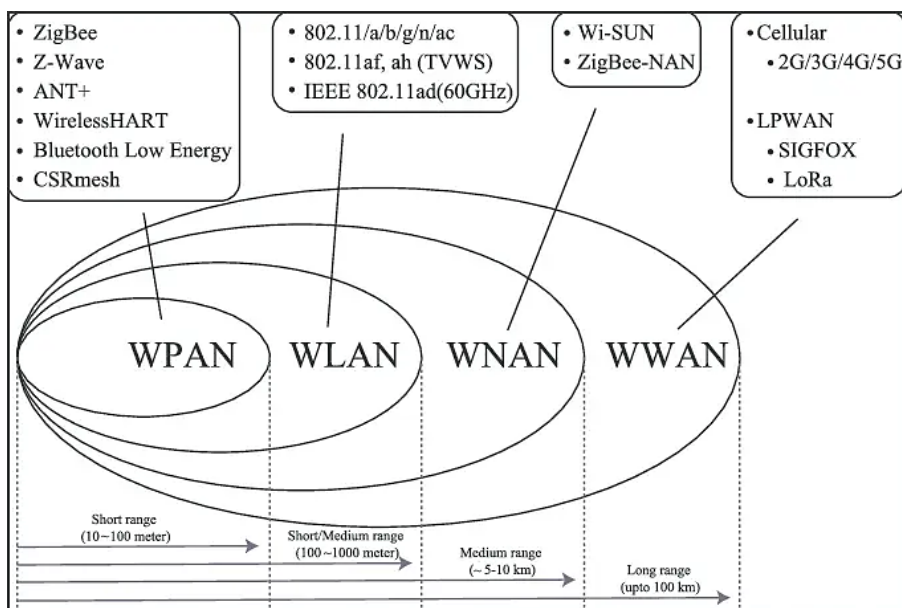


Рисунок 1 – Технологии беспроводных сетей

2.2 LPWAN технологии беспроводной связи

2.2.1 Общие сведения о LPWAN сетях

LPWAN (*Low-power Wide-area Network* – энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия) – представляет собой эволюцию беспроводных технологий, ориентированных на обеспечение связности для интернета вещей (IoT) в условиях, требующих дальней передачи данных при минимальном энергопотреблении устройств. Данный доклад рассмотрит ключевые аспекты LPWAN, его технологии, применение и влияние на различные отрасли.

Основной принцип передачи данных в технологии LPWAN на физическом уровне опирается на характеристику радиосистем, а именно возрастание энергетических показателей, что приводит к увеличению дальности связи при снижении скорости передачи данных. Чем менее высока битовая скорость, тем более энергоэффективна каждая передаваемая единица информации, что обеспечивает более легкое выделение её на фоне шумов в приемной части системы. Таким образом, низкая скорость передачи данных способствует расширению дальности их приема.

LPWAN сегодня привлекает внимание различных отраслей благодаря своей способности обеспечивать эффективную связь для интернета вещей (IoT) с низким энергопотреблением и дальним охватом.

Сферы применения LPWAN охватывают широкий спектр отраслей, привлекая инновации в мир технологий и бизнеса. Эффективное использование низкоэнергетичных сетей LPWAN в этих областях открывает новые перспективы для умных решений, оптимизации процессов и повышения общей эффективности.

Перечисленные ниже ключевые особенности технологий LPWAN делают их привлекательными для различных сценариев использования, таких как сельское хозяйство, умные города, промышленность и здравоохранение:

- LPWAN оптимизирована для минимального расхода энергии на передачу и прием данных, что позволяет устройствам работать на батарейках или других источниках питания в течение длительного времени;

- технология LPWAN обеспечивает значительный радиус действия, даже в условиях, где сигнал должен преодолевать преграды или проникать в глубокие внутренние помещения;

- развитие стандартов с открытыми лицензиями (например, LoRaWAN) и использование недорогих компонентов делают LPWAN более доступной с точки зрения затрат;

- технология LPWAN идеально подходит для связи устройств Интернета Вещей, где необходима надежная и долгосрочная связь для сенсоров, устройств мониторинга и других IoT-устройств;

- некоторые варианты LPWAN, такие как LoRaWAN, основаны на открытых стандартах, что способствует их распространению и совместимости между различными поставщиками оборудования;

- LPWAN использует эффективные методы доступа к радиоканалу, что позволяет обеспечивать связь для большого числа устройств с минимальными помехами и коллизиями.

Ниже продемонстрировано сравнение LPWAN с другими беспроводными технологиями (Рисунок 2).

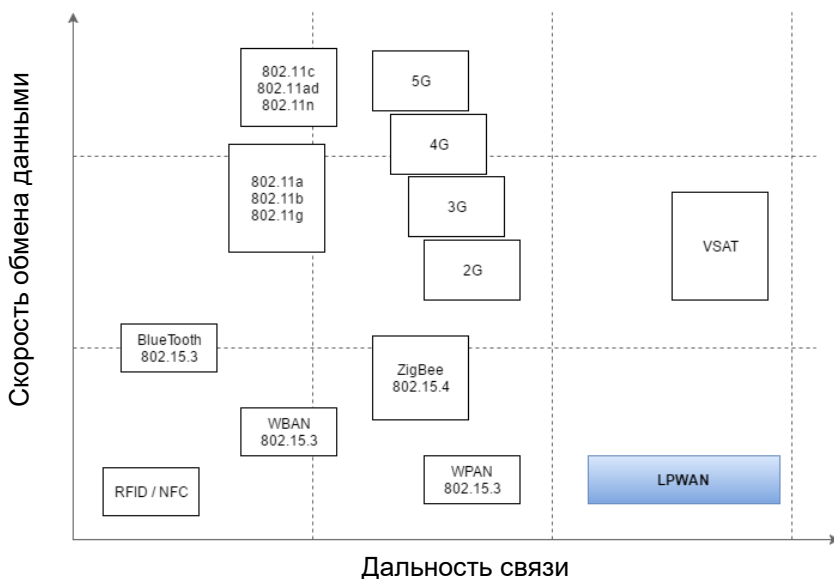


Рисунок 2 – Сравнение LPWAN с другими беспроводными технологиями

2.2.2 SIGFOX технология

SIGFOX представляет собой беспроводную технологию передачи данных, специально разработанную для интернета вещей (IoT). Эта технология обеспечивает низкоскоростную, но эффективную передачу данных на большие расстояния, при этом потребляя минимальное количество энергии.

Архитектура SIGFOX включает узлы, называемые базовыми станциями, которые принимают данные от устройств и передают их в облако SIGFOX. Облако SIGFOX затем обрабатывает и направляет данные в конечные пункты назначения.

SIGFOX работает в рамках своего собственного стандарта, который определяет протокол передачи данных и обеспечивает совместимость между устройствами и сетью.

SIGFOX использует уникальный метод модуляции, известный как "UNB" (Ultra Narrow Band), который позволяет

использовать очень узкие полосы частот для передачи данных. Это обеспечивает низкое энергопотребление и дальность передачи.

Радиус действия SIGFOX может достигать нескольких десятков километров, что делает эту технологию идеальной для создания обширных сетей IoT.

Благодаря низкому энергопотреблению и эффективной передаче данных, устройства, использующие SIGFOX, могут работать на одной батарее в течение нескольких лет.

SIGFOX использует лицензированные частоты в диапазоне 868 МГц в Европе и 902 МГц в Северной Америке.

Сеть SIGFOX имеет звездообразную топологию, где базовые станции соединены с облаком SIGFOX.

Ограничение на количество сообщений от конечного устройства в день в сети SIGFOX составляет 140 сообщений.

SIGFOX находит применение в различных отраслях, таких как мониторинг окружающей среды, умные города, умные сельские поселения, медицинская техника, логистика и многое другое.

Преимущества SIGFOX:

- экономия энергии и долгий срок службы устройств;
- широкий радиус действия и возможность создания обширных сетей;
- низкая стоимость реализации и обслуживания.

Недостатки SIGFOX:

- низкая скорость передачи данных, что делает ее неудовлетворительной для определенных приложений;
- ограниченные по количеству сообщений возможности передачи данных.

Более подробные характеристики SIGFOX в табличной форме изложены ниже (Таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики технологии SIGFOX

| Характеристика | Описание |
|--|---|
| Частотный диапазон | 868 МГц в Европе, 902 МГц в США |
| Ширина полосы | 100 Гц |
| Тип модуляции | UNB (Ultra Narrow Band) |
| Максимальная скорость передачи | 100 бит/сек |
| Разрешение в передаче данных | 12 битов (может варьироваться в зависимости от сообщения) |
| Дальность связи | В зависимости от условий окружающей среды: от 10 до 50 км |
| Энергопотребление | Низкое (благодаря ограниченной скорости передачи данных) |
| Спектральная эффективность | Высокая |
| Тип сети | Сеть с низкой пропускной способностью, предназначенная для долгоживущих устройств с низким энергопотреблением |
| Архитектура | Звездообразная |
| Стандарт | Собственный SIGFOX |
| Срок службы устройств без замены батареи | Несколько лет |
| Максимальное количество сообщений от устройства в день | 140 сообщений |
| Топология сети | Звездообразная |
| Сфера применения | IoT: мониторинг окружающей среды, умные города, медицинская техника, логистика и другие |
| Преимущества | Низкое энергопотребление, долгий срок службы, широкий радиус действия, низкая стоимость |
| Недостатки | Низкая скорость передачи данных, ограниченные возможности передачи данных |

SIGFOX, несмотря на свои ограничения, представляет собой мощный инструмент для конкретных сценариев использования в области интернета вещей, обеспечивая эффективную и энергоэффективную связь на большие расстояния.

2.2.3 LoRa технология

LoRa (Long Range) представляет собой беспроводную технологию связи, разработанную для передачи данных на длинные расстояния с низким энергопотреблением. Эта технология предназначена для интернета вещей (IoT) и обеспечивает эффективное соединение для устройств, работающих в удаленных или труднодоступных местах.

Архитектура LoRa включает в себя узлы, базовые станции и сетевой сервер. Узлы – это конечные устройства, которые передают данные, базовые станции – устройства, ответственные за прием и передачу данных, а сетевой сервер управляет сетью и обеспечивает связь с облачными службами.

LoRa работает в рамках стандарта LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), который устанавливает протоколы и интерфейсы для беспроводной коммуникации.

LoRa использует спектральное расширение для модуляции сигнала. Технология основана на Хиршмановском расширении частоты (CSS) и позволяет обеспечивать высокую проникающую способность сигнала и долгий радиус действия.

Радиус действия LoRa может достигать нескольких километров в городских условиях и до нескольких десятков километров в сельской местности.

Благодаря низкому энергопотреблению LoRa устройства могут работать на одной батарее в течение нескольких лет, обеспечивая стабильную передачу данных.

LoRa использует лицензируемые и нелицензируемые частотные диапазоны в разных странах. Диапазон частот варьируется от 868 МГц до 915 МГц.

LoRaWAN поддерживает звездообразную, деревянную и ячеистую топологии сети, что обеспечивает гибкость в развертывании.

Стандарт LoRaWAN не ограничивает количество сообщений, которые конечное устройство может передавать в сеть в течение определенного периода времени.

LoRa применяется в различных областях, таких как умный город, сельское хозяйство, медицина, промышленность и др.

Преимущества LoRa технологии;

- большой радиус действия;
- низкое энергопотребление;
- гибкость в развертывании сети;
- поддержка различных топологий.

Недостатки LoRa технологии:

- ограниченная пропускная способность;
- задержки в передаче данных;
- ограниченная поддержка высокоскоростных приложений.

Alliance LoRa заключил соглашения с представителями радиочастотных регуляторов в разных странах об использовании частотного диапазона. Разрешённые параметры LoRa устройств в зависимости от региона использования изложены ниже (Таблица 2).

Таблица 2 – Частотные диапазоны LoRa

| Параметр | Регион | | |
|---|-----------|------------------|-------------------------------|
| | Европа | Северная Америка | Россия |
| Частотный диапазон, МГц | 863 – 870 | 902 – 928 | 864 – 865,5; 868,7 – 869,2 |
| Максимальное количество каналов | 35 | 80 | 8 |
| Ширина спектра радиосигнала, кГц | 125/250 | 125/500 | 125 |
| Мощность передачи, дБм | 14 | 27 | 14 |
| Фактор расширения спектра SF (Spreading Factor) | 7-12 | 7-10 | 7-12 |

Более подробные характеристики LoRa в табличной форме изложены ниже (Таблица 3).

Таблица 3 – Характеристики технологии LoRa

| Характеристика | Описание |
|--------------------------|---|
| Диапазон частот | 868 МГц (в Европе), 915 МГц (в Северной Америке), 433 МГц (в некоторых странах) |
| Ширина полосы | 125 кГц, 250 кГц или 500 кГц |
| Режим модуляции | LoRa |
| Дальность связи | До 15 км в открытом пространстве, в зависимости от условий и используемой конфигурации |
| Скорость передачи данных | От нескольких бит в секунду до нескольких килобит в секунду |
| Энергопотребление | Очень низкое, что делает LoRa подходящей для устройств с ограниченным источником питания |
| Режимы работы | Передача данных, прием данных, ожидание |
| Тип сети | Структура сети с узлами, в которой узлы могут отправлять данные друг другу или через шлюз |
| Стек протоколов | Обычно используется в сочетании с протоколами верхнего уровня, такими как MQTT или CoAP |

LoRa технология представляет собой мощный инструмент для построения эффективных и долгосрочных беспроводных сетей в Интернете вещей. Ее уникальные характеристики делают ее привлекательным решением для различных приложений, несмотря на некоторые ограничения.

2.2.4 Сравнительный анализ SIGFOX и LoRa

SIGFOX и LoRa (Long Range) представляют собой два похожих по назначению протокола передачи данных, разработанных для интернета вещей. Оба они предоставляют возможность долгосрочной беспроводной связи, но существуют заметные различия между ними.

Сравнительная характеристика между протоколами SIGFOX и LoRa, представлена ниже (Таблица 4).

Таблица 4 – Сравнение SIGFOX с LoRa

| Характеристика | SIGFOX | LoRa |
|--|------------------------------------|---|
| Диапазон частот | 868 МГц в Европе, 902 МГц в США | Нелицензионные частоты (433 МГц, 868 МГц, 915 МГц) |
| Технология модуляции | Узкополосная модуляция (UNB) | Широкополосная частотная модуляция LoRa |
| Пропускная способность | Ограничена до 100 бит/с | До 38 кбит/с |
| Чувствительность | -142 дБм | -148 дБм (при 125 кГц) -137 дБм (при 250 кГц) |
| Потребление энергии | Низкое | Низкое |
| Размер сообщений | Ограничен до 12 байт | До 512 кбайт |
| Максимальное количество сообщений в день | 140 | Не ограничено |
| Сложность сетевой архитектуры | Централизованная | Децентрализованная (сеть LoRaWAN) |
| Способность к маршрутизации | Отсутствует | Поддерживается (в сети LoRaWAN) |
| Гибкость в настройке | Ограниченная | Высокая |
| Дальность связи | До нескольких десятков километров | |

Оба протокола имеют свои преимущества и ограничения, и выбор между ними зависит от конкретных требований проекта IoT. SIGFOX подходит для простых сценариев с низкой пропускной способностью, в то время как LoRa может быть более гибким для более сложных приложений, требующих высокой пропускной способности и гибкости в выборе частоты.

Учитывая наличие преимуществ LoRa по показателям чувствительности, размеру и количеству сообщений, а также её большую, в сравнении с SIGFOX, распространённость в странах СНГ, именно LoRa выбрана в качестве технологии беспроводной связи, на базе которой в ходе практической части магистерского проекта разработан радиомодем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный в ходе разработки анализ технических возможностей современных технологий беспроводной связи позволяет сделать вывод о том, что с точки зрения оптимального баланса между энергопотреблением, скоростью обмена, используемым спектром частот, бюджетом канала связи и доступностью аппаратных решений, наиболее предпочтительным средством радиотелеметрии для IoT устройств является технология LoRa.

Технология и способ модуляции LoRa характеризуется рядом преимуществ: высокой чувствительностью приёмного устройства, низкой восприимчивостью к эфирному шуму и толерантностью к дрейфу опорных частот, формируемых кварцем или осциллятором. Последнее преимущество позволяет применять бюджетные формирователи опорной частоты.

На сегодняшний день LoRa является одной из самых универсальных технологий, принадлежащей к категории несотовых стандартов. Технология поддерживается консорциумом LoRa Alliance, состоящим более чем из 500 компаний, включая Cisco, IBM, SK Telecom и др., что способствует её непрерывному развитию и совершенствованию.

Результаты эмпирических прогонов тестового массива данных через натуральные образцы разработанных устройств радиотелеметрии свидетельствуют о возможности корректной обработки сигнала, принимаемого на 21 дБ ниже уровня шума (уровень полезного сигнала более чем в 100 ниже уровня шума).

Подобным результатом не может похвастаться ни одна из других, существующих на сегодняшний день технологий беспроводной передачи данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Internet Of Things (англ.). Gartner IT glossary. Gartner (5 мая 2012). – «The Internet of Things is the network of physical objects that contain embedded technology to communicate and sense or interact with their internal states or the external environment.».

2 Kevin Ashton. That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. (англ.). RFID Journal (22 июня 2009). Дата обращения: 30 ноября 2012. Архивировано 24 января 2013 года.

3 Леонид Черняк. Платформа Интернета вещей. Открытые системы. СУБД, №7, 2012. Открытые системы (26 сентября 2012). Дата обращения: 30 ноября 2012. Архивировано 24 января 2013 года.

4 Neil Gershenfeld, Raffi Krikorian, Danny Cohen. The Internet of Things (англ.). Scientific American, Oct, 2004 (1 октября 2004). Дата обращения: 30 ноября 2012. Архивировано 24 января 2013 года.

5 NIC, 2008, «Individuals, businesses, and governments are unprepared for a possible future when Internet nodes reside in such everyday things as food packages, furniture, paper documents, and more... But to the extent that everyday objects become information-security risks, the IoT could distribute those risks far more widely than the Internet has to date».

6 Makhmoor Bashir, Anish Yousaf, Rajesh Verma. Disruptive Business Model Innovation: How a Tech Firm is Changing the Traditional Taxi Service Industry // Indian Journal of Marketing. – 2016-04-01. – Т. 46, вып. 4. – С. 49. – ISSN 0973-8703 0973-8703, 0973-8703. – doi:10.17010/ijom/2016/v46/i4/90530.

7 An Interview With Anton Krueger September 19, 2018 // Best "New" African Poets 2018 Anthology. – Mwanaka Media and Publishing, 2018-12-29. – С. 430–433.

8 Precision agriculture technology for crop farming. – Boca Raton, FL, 2015. – 1 online resource c. – ISBN 1-4822-5107-8, 978-1-4822-5107-4, 978-1-4822-5108-1, 978-0-429-15968-8, 1-4822-5108-6, 0-429-15968-4, 978-1-000-21898-5, 1-000-21898-8.

9 S. Jagtap, S. Rahimifard. The digitisation of food manufacturing to reduce waste – Case study of a ready meal factory // Waste Management. – 2019-03. – Т. 87. – С. 387–397. – ISSN 0956-053X. – doi:10.1016/j.wasman.2019.02.017.

10 Mona Mourshed, Chinezi Chijioke, Michael Barber. How the worlds most improved school systems keep getting better // Voprosy Obrazovaniya/ Educational Studies. Moscow. – 2011. – Вып. 2. – С. 5–122. – ISSN 2412-4354 1814-9545, 2412-4354. – doi:10.17323/1814-9545-2011-2-5-122.

11 J. Parello, B. Claise, B. Schoening, J. Quittek. Energy Management Framework. – RFC Editor, 2014-09.

12 Котт Александр, Свами Анантрам, Вест Брюс. Интернет боевых вещей // Открытые Системы. Субд. – 2017. – Вып. 1. – ISSN 1028-7493.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ПРОЕКТА

Краткий обзор результатов теоретического и практического исследования, предшествующих разработке, изложен в научной статье «ТЕХНОЛОГИЯ LoRa КАК СРЕДСТВО ЦИФРОВОЙ РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ IoT УСТРОЙСТВ», опубликованной автором проекта в журнале «Вестник СКУ имени М. Козыбаева» №1(57) 2023 стр.100-106.

ТҮЙІН

Жоба LoRa технологиясына, оның артықшылықтары мен мүмкіндіктеріне шолу, сондай-ақ LoRa радиобайланысты жүзеге асыру үшін қолжетімді аппараттық шешімдердің салыстырмалы талдауы болып табылады.

Жалпы, жобада ұсынылған материал LoRa технологиясына қызығушылық танытатын және оны жүзеге асыру үшін ең қолайлы аппараттық шешімді таңдағысы келетіндер үшін пайдалы ресурс болып табылады.

РЕЗЮМЕ

Проект представляет собой обзор технологии LoRa, ее преимуществ и возможностей, а также сравнительный анализ доступных аппаратных решений для реализации LoRa радиолинии.

В целом, изложенный в проекте материал, является полезным ресурсом для тех, кто интересуется технологией LoRa и хочет выбрать наиболее подходящее аппаратное решение для ее реализации.

RESUME

The project is an overview of LoRa technology, its advantages and capabilities, as well as a comparative analysis of available hardware solutions for LoRa radio line realization.

In general, the material presented in the project is a useful resource for those who are interested in LoRa technology and want to choose the most suitable hardware solution for its realization.