

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.М. МАШЕРОВА»

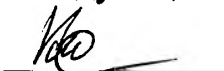
Факультет математики и информационных технологий

Кафедра инженерной физики

Допущена к защите

« 02 » 06 2020 г.

Заведующий кафедрой

 И.Ф. Кашевич

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

СИСТЕМА ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORA

Специальность: 1-40 80 04 «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

Дмитрий Александрович Довгулевич,
2 курс

Научный руководитель:

Кашевич Ирина Фёдоровна,
кандидат физико-математических наук,
доцент Кафедры Инженерной Физики

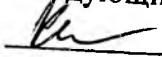
№ 10
Решено
24.06.2020

Витебск, 2020

ВГУ имени П.М. Машерова
Кафедра инженерной физики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой инженерной физики

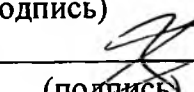
 Кашевич И.Ф.

« 05 » 09 2019 г.

Задание на магистерскую диссертационную работу
магистранту Довгулевичу Дмитрию Александровичу.

1. Тема диссертационной работы: «СИСТЕМА ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORA» утверждена приказом ректора ВГУ имени П.М. Машерова №176 от 01.07.2019 г. Внесены изменения в тему приказом ректора ВГУ имени П.М. Машерова 461-с от 05.09. 2019 г.
2. Исходные данные к диссертационной работе: среда разработки - технологии LoRaWAN, NB-IoT и др. технологии построения сетей, офисный пакет Microsoft Office, электронная документация к аппаратным компонентам.
3. Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание расчетно-пояснительной записки:
 - Изучение особенностей систем телемеханики, основанных на беспроводных энергоэффективных технологиях связи дальнего радиуса действия.
 - Разработка схемотехнического решения модуля и его программного обеспечения.
 - Реализация и проведение тестирования разработанного модуля на эксплуатационные характеристики.
4. Перечень графического материала: иллюстрации и схемы, представляющие последовательный процесс разработки.
 - Трансиверы LoRa SX1276/77/78/79, Микроконтроллеры STM32.
5. Примерный календарный график выполнения диссертационной работы:
 - сентябрь – ноябрь 2019 г. – изучение систем телемеханики, основанных на беспроводных энергоэффективных технологиях связи дальнего радиуса действия;
 - декабрь 2019 – март 2020 г. – разработка схемотехнического решения модуля и его программного обеспечения.;
 - апрель 2020 г. – Реализация и проведение тестирования разработанного модуля на эксплуатационные характеристики.
 - май 2020 г. – подготовка и оформление диссертационной работы.
6. Дата выдачи задания: 05.09.2019 г.
7. Срок сдачи законченной диссертационной работы: 10.06.2020 г.

Руководитель  И.Ф. Кашевич
(подпись)

Подпись обучающегося  Д.А. Довгулевич
(подпись)

05.09.2019 г.

Реферат

Магистерская диссертация 83 с., 25 рис., 5 таб. 10 источников, 5 прил.

LORA, ТЕЛЕМЕХАНИКА, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, LPWAN, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, STM32, SX127X, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СЕТИ, WIDE-AREA NETWORK, ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ, БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ.

Объект исследования – системы телемеханики основанные на беспроводных энергоэффективных технологиях связи дальнего радиуса действия

Предмет исследования – Система телемеханики, базирующихся на технологии LoRa.

Цель работы – проектирование и разработка аппаратно-программного комплекса на базе беспроводной технологии передачи данных LoRa, для построения быстро разворачиваемых, низкобюджетных сетей для локального внедрения.

Методы исследования: общелогические и общепризнанные методы научного познания, логические методы анализа и синтеза принципиальных схем, линейный итерационный метод разработки программного обеспечения.

Теоретическая и практическая значимость: данная работа позволит снизить затраты на построение и эксплуатацию энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия, за счет отказа от услуг сторонних провайдеров и простоты разворачивания сети. Результаты данного исследования могут применяться при производстве оборудования, которое можно в дальнейшем использовать для разворачивания систем телемеханики без существующей инфраструктуры. Базируясь на полученных результатах, можно разрабатывать другие устройства, использующие беспроводные технологии для коммуникации.

Оглавление

Введение	5
1 Теоретический обзор применяемых технологий.....	7
1.1 Энергоэффективные сети дальнего радиуса действия	7
1.2 Особенности технологии LoRa	9
2 Разработка модуля передачи данных.....	16
2.1 Технические характеристики трансиверов LoRa SX127х.....	16
2.2 Применение микроконтроллеров STM32	20
2.3 Разработка аппаратного обеспечения	26
2.3.1 Разработка цепи обвязки микроконтроллера и радиомодуля.....	27
2.3.2 Разработка цепи питания и интерфейсов сбора данных	29
2.4 Разработка программного обеспечения	34
2.4.1 Настройка микроконтроллера, инициализация периферии	34
2.4.2 Создание драйвера для работы с трансивером SX127х.....	37
2.4.3 Организация передачи данных.....	44
3 Реализация и тестирование системы телемеханики.....	47
3.1 Сборка тестового образца.....	47
3.3 Тестирование дальности и качества связи.....	49
3.4 Тестирование времени автономной работы	51
Заключение.....	53
Список использованных источников	55
Приложение А.....	57
Приложение В	60
Приложение С	66

Приложение D.....	67
Приложение E.....	76

Введение

В настоящее время всё чаще на слуху такое понятие как Интернет Вещей (Internet of Things) или сокращенно IoT. Это концепция, суть которой заключается в объединении предметов в единую сеть для взаимодействия между собой и внешним миром. Эта концепция активно развивается и внедряется как в быту, для автоматизации рутинной работы, такой как уборка, так и в промышленности.

Для взаимодействия вещей друг с другом традиционные интернет сети, такие как Wi-Fi, GSM, Ethernet, оказались плохо пригодны из-за высокого потребления электроэнергии конечных модемов и небольшой емкости сети. Поэтому для IoT были разработаны свои стандарты сетей передачи данных, такие как BLE, ZigBee, NB-IoT, LoRa, LTE-M и ряд других. Среди всех стандартов, разработанных для IoT, можно выделить отдельную группу – Low-power Wide-area Network (энергоэффективные сети дальнего радиуса действия) или сокращенно LPWAN. Одним из представителей таких стандартов является LoRa.

Их основное отличие — это низкая скорость передачи, но при этом большая дальность и пробивная способность сигнала, в совокупности с длительным сроком автономной работы. Среди этих технологий хорошими характеристиками связи и возможностью самостоятельного разворачивания сети выделяется технология LoRa.

Подход, используемый для построения LPWAN-сети, схож с принципом работы сетей мобильной связи. LPWAN-сеть использует топологию «звезда», где каждое устройство взаимодействует с базовой станцией напрямую. Сети городского или регионального масштаба строятся с использованием конфигурации «звезда из звезд»

Преимущества сетей дальнего радиуса действия на базе технологии LoRa (по сравнению с наиболее распространенными сейчас 2G и 3G) это большая пробивная мощность сигнала, большее время автономной работы и отсутствие в

необходимости услуг операторов связи. Эти отличия открывают широкий спектр применений как в комплексе с уже существующими сетями, так и вместо них.

Цель работы – проектирование и разработка аппаратно-программного комплекса на базе беспроводной технологии передачи данных LoRa, для построения быстро разворачиваемых, низкобюджетных сетей для локального внедрения

Задачами для достижения цели являются:

1. Изучение материалов по энергоэффективным сетям дальнего радиуса действия, существующим решениям в данной отрасли;
2. Изучение существующих радиомодулей и трансиверов, работающих по технологии LoRa, и выбор для использования в дальнейшей разработке;
3. Разработка аппаратной части устройства для организации сети телемеханики.
4. Разработка программного обеспечения устройства для организации сети телемеханики.
5. Тестирование полученного устройства на работоспособность и качество связи.

При написании данной работы были использованы: документация на используемые компоненты; статьи различных зарубежных интернет-изданий и информация с официальных сайтов производителей.

Основными источниками, раскрывающими особенности использования технологии LoRa, послужила документация с официального сайта, описывающая принципы работы технологии, возможности трансиверов SX127x, принципы управления им, и способы передачи данных.

Описание и особенности arm микроконтроллеров, в частности STM32f1xx и STM32L0xx, были получены из официальной документации на соответствующие микроконтроллеры предоставляемая производителем чипов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Интернет вещей — основа новой экономики* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.itweek.ru/iot/article/detail.php?ID=182807> – Дата доступа: 28.04.2020.
2. *LPWAN* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN> – Дата доступа: 28.04.2020.
3. *В Беларуси разрешили запустить первую сеть для «интернета вещей»* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bybanner.com/article/24063.html> – Дата доступа: 28.04.2020.
4. *Основы LoRa и LoRaWAN* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://lorawan.lace.io/faq/> – Дата доступа: 28.04.2020.
5. AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics [Электронный ресурс] // Revision 2, May 2015 Semtech Corporation // Режим доступа: <https://www.mouser.com/datasheet/2/761/sx1276-1278113.pdf> – Дата доступа: 28.04.2020.
6. *Powering Narrowband Wireless Modules for IoT-Related Applications with LiMnO₂ Cells Reference Design* [Электронный ресурс]. / Texas Instruments Incorporated // Design Guide: TIDA-010053 [PDF]. [2020]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2019/09/ishodnik.pdf> – Дата доступа: 28.04.2020.
7. *SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver* [Электронный ресурс] // Rev. 5 - August 2016 ©2016 Semtech Corporation // Режим доступа: <https://www.mouser.com/datasheet/2/761/sx1276-1278113.pdf> – Дата доступа: 28.04.2020.
8. *Application Note: MCU Requirements for LoRaWAN* [Электронный ресурс] // AN1200.28 Rev 3 December 2017 // Режим доступа: <https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R000000HSRS/> – Дата доступа: 28.04.2020.

9. Application Note: MCU Requirements for LoRaWAN [Электронный ресурс] // AN1200.28 Rev 3 December 2017 // Режим доступа: <https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R000000HSRS/> – Дата доступа: 28.04.2020.

10. STM32F103x8 STM32F103xB [Электронный ресурс] // August 2015 DocID13587 Rev 17// Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf> – Дата доступа: 28.04.2020.

11. STM32L011x3 STM32L011x4 [Электронный ресурс] // June 2016 DocID027973 Rev 4 // Режим доступа: <https://www.infinite-electronic.ru/datasheet/54-STM32L011K4U3.pdf> – Дата доступа: 28.04.2020.