

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І.І.МЕЧНИКОВА

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютерних систем та технологій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Дипломна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка цифрового радіомодему з низьким споживанням на базі

(назва українською)

технології LoRa

(назва англійською)

Development of a low-power digital radio modem based on LoRa technology

Виконав: студент заочної форми навчання

спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дечев Денис Юрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник

ст.викл. Берков Ю. М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали, підпис)

Рецензент

к.ф.-м.н., доцент Якимчук В. І.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

№ від « » 2022 р.

Завідувач кафедри

Ю.О. Гунченко

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Захищено на засіданні ЕК №

протокол № від « »

2022р.

Оцінка /

(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Голова ЕК

(підпис)

Н.Ф. Казакова

(прізвище, ініціали)

Одеса – 2022

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі розглядається тема «Розробка цифрового радіомодему з низьким споживанням на базі технології LoRa».

Мета роботи – розробити пристрій для прийому та передавання повідомлень у частотному діапазоні дозволеному для без ліцензійного користування. Використовується модуляція з розширенням спектру LoRa для підвищення дальності дії передавача. Вивчена робота модему у різних режимах та проведен іспит дальності передачі даних.

Для розробки програмного забезпечення використана мова програмування C++, бібліотека Arduino та операційна система реального часу FreeRTOS.

Ключові слова: модем, LoRa, Arduino, FreeRTOS.

ABSTRACT

This diploma project covers the topic "Development of a low-power digital radio modem based on LoRa technology".

The purpose of the work is to develop a device for receiving and transmitting messages in the frequency range allowed for unlicensed use. LoRa spectrum modulation is used to increase the range of the transmission. The operation of the modem in different modes has been studied and the transmission range has been tested.

C++ programming language, Arduino library and FreeRTOS real-time operating system were used for software development.

Keywords: modem, LoRa, Arduino, FreeRTOS.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ	7
1.1 Принципи та основні положення систем радіозв'язку	7
1.3 Огляд існуючих цифрових систем радіозв'язку	15
1.4 Огляд технології цифрового радіозв'язку LoRa	26
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ	33
2.1 Постановка задачі	33
2.2 Вибір робочого діапазону	33
2.3 Вибір радіомодуля	35
2.4 Вибір мікроконтролера	37
2.5 Вибір програмних бібліотек та засобів розробки ПЗ	42
3 ОПИС ХОДУ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ	45
3.1 Опис апаратної частини	45
3.2 Розробка програмної частини мікроконтролера	55
3.3 Розробка програмної частини клієнтської програми	66
4 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ	70
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83
ДОДАТОК А	87
ДОДАТОК Б	88
ДОДАТОК В	114

ВСТУП

В останні десятиліття у світі відбувався стрімкий розвиток портативних систем персонального радіозв'язку. Це насамперед мобільні телефони, рації, модеми, а також системи пейджингового та транкінгового зв'язку. Системи персонального радіозв'язку швидко увійшли в наше життя, стали доступними та поширеними.

Більшість сучасних систем використовують цифровий сигнал передачі даних. Такий вибір не випадковий, тому що цифровий зв'язок дозволяє здійснювати передачу та прийом не лише голосу, а й даних будь-якої природи. Крім того, використання цифрового сигналу дозволяє повністю виключити спотворення інформації на виході, дозволяє ефективно використовувати радіочастотний ресурс, а також може забезпечувати конфіденційність сеансу зв'язку за допомогою шифрування.

Цифрові канали менш схильні до спотворення та інтерференції ніж аналогові. Наявність всього двох станів полегшує відновлення сигналу і запобігає накопиченню в процесі шумів або інших помилок. Аналогові сигнали є сигналами з більш ніж двома станами – вони можуть набувати безліч форм. У аналогових каналах навіть невеликий шум може невпізнанно спотворити сигнал. Спотворений аналоговий сигнал не можна відновити шляхом посилення. Оскільки накопичення шуму нерозривно пов'язані з аналоговими сигналами, як наслідок, вони не можуть відтворюватися ідеально. При використанні цифрових технологій також можливо застосування процедур виявлення та корекції помилок що збільшує точність передачі сигналу. Залишається лише відзначити, що з аналоговими технологіями подібні процедури недоступні.

На даний момент існує безліч протоколів і стандартів цифрового радіозв'язку для різних цілей. Усі вони відрізняються швидкістю доступу, можливою топологією побудови мережі та дальністю здійснення радіозв'язку. Докладніший огляд існуючих систем радіозв'язку наведено в розділі 1.

У нашій країні ще існують віддалені регіони, в яких немає покриття якісним мобільним зв'язком. Такі регіони будуть завжди, тому що там немає достатньої кількості абонентів, щоб великому оператору було рентабельно будувати інфраструктуру. У таких місцях часто немає електрики і побудова власної мережевої інфраструктури неможлива для малого бізнесу. Крім того, робота мережевої інфраструктури мобільного оператора може бути порушена внаслідок бойових дій чи стихійного лиха.

Портативна та автономна радіостанція – це єдиний і найдоступніший спосіб забезпечити канал зв'язку у такій ситуації. Крім жителів віддалених районів такий спосіб зв'язку актуальний для туристів, фермерів, археологів, мисливців та рибалок. Крім того, об'єкти промислової та критичної інфраструктури вимагають наявності автономних каналів зв'язку. Прикладами таких об'єктів є: банкомати, ліфти, охоронні та пожежні сигналізації, вузли газо-/водо-/електропостачання тощо.

Метою даної роботи є розробка малопотужного цифрового радіомодему, що працює в дозволеному для цивільного використання діапазоні без ліцензії на використання радіочастотного ресурсу.

Завданням роботи є огляд предметної області, формування функціональних вимог до пристрою та створення працюючого прототипу. Для цього необхідно вибрати технології які доцільно використовувати у проекті та розробити необхідне програмне забезпечення. Важливою частиною роботи має бути випробування отриманого пристрою у різних режимах роботи та тестування у реальному середовищі.

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної роботи була розглянута предметна область, сформовані функціональні вимоги до пристрою, здійснений підбір технологій та компонентів.

В результаті був розроблений пристрій з радіомодулем що здатний передавати та приймати радіосигнали з використанням технології радіозв'язку LoRa. Було створено програмне забезпечення що контролює роботу радіомодему, а також забезпечує інтерфейси користувача для зручного керування пристроєм. Було проведено тестування модему в різних режимах та була доведена придатність пристрою для обміну повідомленнями на відстані 1 км в умовах міста, досягнуто максимальної швидкості передачі даних 32 кбіт/с.

Розроблено власний веб-інтерфейс, що полегшує роботу з пристроєм. Крім графічного інтерфейсу користувачеві доступне управління модемом за допомогою АТ-команд, таким чином отриманий пристрій може бути використаний з будь-яким існуючим програмним забезпеченням для роботи з модемами.

Цей проект має практичну цінність, оскільки може забезпечити автономний радіозв'язок у частинах країни де немає обслуговування мобільними операторами зв'язку. Такий радіомодем підключений до ноутбука, планшета або смартфона дозволить бути на зв'язку з іншими такими радіо модемами на відстані не менше 1 км. Істотною перевагою цього рішення є його низька вартість близько 15-20 USD. Можливість вибору параметрів модуляції дозволяє вибрати оптимальний режим роботи для поточних умов зв'язку.

Проект має гарний потенціал для розвитку. Нижче наведено напрямки які можна покращувати:

- оптимізація енергоспоживання;
- розробка мобільного додатка з підключенням до модему за допомогою BLE;

- передача мови за допомогою низькошвидкісних кодеків з відкритим кодом (Codec2, Luga);
- шифрування;
- протокол узгодження параметрів зв'язку;
- забезпечення роботи в режимах ЧС (FSK) та АМ (OOK);
- сканування радіочастотного діапазону.

Таким чином, поставлене завдання можна вважати виконаним успішно, а отриманий пристрій можна використовувати як прототип-демонстратор ідеї. Завдяки використанню FreeRTOS та ООП при написанні коду для мікроконтролера, легко здійснювати підтримку та модифікацію отриманого програмного забезпечення. Обрана апаратна платформа містить достатньо ресурсів, які послужать доробком на майбутнє при розвитку проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.
2. Системы радиосвязи / А.А. Зеленский, В.Ф. Солодовник. – Учеб. пособие. Ч. 1. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2002. – 93 с.
3. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн / З.Беньковский, Э. Липинский. – М.: Массовая радиобиблиотека, 1983. – 483 с.
4. Электронные средства связи: практическое пособие / В. П. Дьяконов, А. А. Образцов, В. Ю. Смердов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 430 с.
5. Рішення Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації №844 “Про затвердження Переліку радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, на експлуатацію яких потрібен дозвіл на експлуатацію радіоелектронного засобу або випромінювального пристрою”. – Київ, 2014.
6. BaoFeng BF-888S User Manual. [Електронне видання] – 7 с. – Режим доступу:
<http://s3.image.ro.s3.amazonaws.com/download/BaoFeng-BF888s-Manual.pdf>
7. Рішення Національної комісії, з питань регулювання зв'язку України №475 “Про затвердження Регламенту аматорського радіозв'язку України”. – Київ, 2010.
8. Ortiz E.C. An Introduction to Near-Field Communication and the Contactless Communication API, 2008. [Електронне видання] – Режим доступу:
<https://www.oracle.com/technical-resources/articles/javame/nfc.html>
9. Gomez A. Beyond 100-Gb/s Indoor Wide Field-of-View Optical Wireless Communications / A. Gomez, K. Shi, C. Quintana и др. // IEEE Photonics Technology Letters. – Piscataway, 2015. – №4. – pp. 367–370.

10. Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP) ETSI EN 300 444 V2.5.1, 2017. [Электронное издание] – Режим доступа:
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300444/02.05.01_60/en_300444v020501p.pdf
11. Nohl K. Cryptanalysis of the DECT Standard Cipher. / K. Nohl, E. Tews, R.Weinmann // Conference: Fast Software Encryption, 17th International Workshop. – Seoul, 2010
12. Bluetooth Core Specification v5.3, 2021 [Электронное издание] – Режим доступа:
<https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-5-3/>
13. Gomez C. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. / C. Gomez, J. Oller, J. Paradells // Sensors. – Basel, 2012. – №12(9). – pp. 11734-11753.
14. Tjensvold J. Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1, 802.15.4 and 802.15.6 wireless standards, 2007. [Электронное издание] – Режим доступа:
<https://idoc.pub/documents/comparison-ieee-802-standards-reljx9xggdn1>
15. Ergen S. ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary, 2004. [Электронное издание] – Режим доступа:
<http://users.eecs.northwestern.edu/~peters/references/ZigbeeIEEE802.pdf>
16. Sunitha C. Overview of Fifth Generation Networking. / C.Sunitha, G.Krishnan, V.A.Dhanya // International Journal of Computer Trends and Technology. – Thennur, 2017. – №43(1). – pp. 49-54.
17. Rysavy P. EDGE, HSPA and LTE – Broadband Innovation, 2008. [Электронное издание] – Режим доступа:
https://rysavyresearch.files.wordpress.com/2017/08/2008_09_broadband_innovation.pdf
18. Pasolini G. Selected Topics in WiMAX / Rijeka: InTech, 2013. – 155 p.

19. Mekkia K. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment / K. Mekkia, E. Bajica, F. Chaxela, F. Meyer // ICT Express. – Seoul, 2019. – №5(1). – pp. 1-7.
20. Wingo D. NXDN versus DMR: a comparison of protocols / JVCKENWOOD. [Электронное издание] – Режим доступа:
<https://mra-raycom.com/wp-content/uploads/simple-file-list/White-Papers/NXDN-vs-DMR-White-Paper.pdf>
21. nRF905 Single Chip 433/868/915 MHz Radio Transceiver / Nordic Semiconductor, 2004. [Электронное издание] – 36 с. – Режим доступа:
https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/nRF905_rev1_1.pdf
22. SX1276/77/78/79 – 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver / Semtech, 2020. [Электронное издание] – 132 с. – Режим доступа:
https://cdn.sparkfun.com/assets/7/7/3/2/2/SX1276_Datasheet.pdf
23. Si4463/61/60-C – High-Performance, Low-Current Transceiver / Silicon Labs, 2014. [Электронное издание] – 53 с. – Режим доступа:
<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si4463-61-60-C.pdf>
24. Patent №: US 9,647,718 B2 / 2017. [Электронное издание] – 9 с. – Режим доступа:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/0e/fc/cc/97cb83a76edf25/US9647718.pdf>
25. Новиков А.К. Обзор микроконтроллеров общего назначения / А.К.Новиков, Н.В. Горячев, И.И. Кочегаров и др. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – Пенза, 2018. – Т. 2. – С. 319-324.
26. Басс А. В. Особенности работы с микроконтроллером stm32 / Известия Тульского государственного университета. – Тула, 2019. – Вып 3. – С. 35–41.
27. LTC4054-4.2/LTC4054X-4.2 – Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in ThinSOT / Linear Technology, 2003.

[Электронное издание] – 16 с. – Режим доступа:

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/405442xf.pdf>

28. WiFi LoRa 32 v2 Schematic Diagram / Heltec, 2020. [Электронное издание] – 1 с. – Режим доступа:
https://resource.heltec.cn/download/WiFi_LoRa_32/V2
29. Product Specification PE4259 / Peregrine Semiconductor, 2016. [Электронное издание] – 10 с. – Режим доступа:
<https://www.psemi.com/pdf/datasheets/pe4259ds.pdf>
30. Тарасов А. С++ для встраиваемых систем / Ridero, 2018. – 294 с.