

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ПРОГРАМНОЇ  
ІНЖЕНЕРІЇ

**БУЦІЙ РОМАН АНДРІЙОВИЧ**

УДК 004.7

**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ  
LoRa-Mesh-ТЕХНОЛОГІЙ**

123 «Комп'ютерна інженерія»

**Автореферат**  
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль 2019

Роботу виконано на кафедрі комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики  
**Крамар Олександр Іванович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри приладів і контрольних-вимірювальних систем  
**Чайковський Андрій Вікторович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 23 грудня 2019 р. о 9<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії № 37 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №1, ауд.1-603

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність дослідження.** В наш час інформаційні технології інтенсивно інтегруються у наше повсякденне життя. На сьогоднішній день у багатьох будинках вже можна зустріти так звані "розумні" системи, до яких висувається ряд вимог, зокрема: стабільність, зручність у користуванні, надійність, та низька ціна. Найважливішою проблемою при функціонуванні таких систем є низька завадостійкість та невеликий радіус дії.

Існуючі системи розумних будинків проектують з використанням стандарту IEEE 802.11a/b/g/n (Wi-Fi). Пристрої, які створені з використанням цього стандарту, мають ряд недоліків, зокрема, високу споживчу потужність та необхідність великих обчислювальних ресурсів для функціонування стеку протоколів 802.11.

У зв'язку з необхідністю усунення подібних проблем все більшого попиту починають набирати Mesh-технології. У Mesh-мережі всі вузли рівноправні, що дозволяє відмовитися від центрального вузла, і при відмові будь-якого кінцевого пристрою мережа може самостійно переконфігуруватися. Саме тому застосування Mesh-топології у системах розумного будинку дозволить відмовитися від маршрутизаторів, а технологія LoRa дасть змогу зменшити енергоспоживання та підвищити відмовостійкість таких системи загалом.

Принципи Mesh-технологій запропоновано і досліджено у працях значної кількості зарубіжних вчених, серед яких Yu Liu, Wang X., Kin-Fai Tong та багато інших.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розробка апаратно- програмної системи контролю розумним будинком з використанням LoRa Mesh-технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- провести огляд публікацій авторів, які займались дослідженням проблематики систем контролю розумним будинком та проаналізувати їх;
- сформулювати базові вимоги до системи контролю розумним будинком з використанням LoRa Mesh-технологій;
- обґрунтувати методи використання LoRa Mesh-технологій в системі контролю розумним будинком;
- розробити архітектуру та алгоритмічне забезпечення системи контролю розумним будинком з використанням запропонованих методів.
- розробити макет системи контролю розумним будинком з використанням LoRa радіомодуля;
- розробити програмне забезпечення для контролера та WI-FI модуля запропонованої системи контролю розумним будинком.
- протестувати та оцінити завадостійкість модуля безпроводного зв'язку для системи контролю розумним будинком.

**Об'єкт дослідження** – процес контролю розумним будинком.

**Предметом дослідження** – система контролю розумним будинком з використанням LoRa Mesh – технологій.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- Запропоновано модифікований спосіб поєднання технологій LoRa і Mesh для підвищення відмовостійкості та завадостійкості бездротової мережі;

- Розроблено архітектуру та власний прототип системи контролю розумним будинком на основі поєднання цих технологій.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати дозволять розробити систему контролю розумним будинком, яку буде легко розгорнути, масштабувати і, яка не буде втрачати своєї працездатності при відмові окремих вузлів системи.

**Апробація результатів дипломної роботи.** Результати роботи апробовано на II Міжнародній студентській науково-технічній конференція “Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання”, м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 року, VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, м. Тернопіль, 27-28 листопада 2019 року та VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя “Інформаційні моделі, системи та технології”, м. Тернопіль, 11-12 грудня 2019 року.

**Публікації.** 1) Буцій Р., Цапко А. Розробка багатофункціонального цифрового частотоміра. Міжнародний науково-практичний семінар молодих вчених та студентів “Програмовані логічні інтегральні схеми та мікропроцесорна техніка в освіті і виробництві”, 20-21 квітня 2018 р.: тези доп. – Луцьк, 2018.– С. 11.

2) Буцій Р. Впровадження Mesh-технологій в системи розумного будинку. II Міжнародна студентська науково-технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”, 25-26 квітня 2019 р.: тези доп. – Тернопіль, 2019.– С. 22-24.

3) Буцій Р. Впровадження бездротових LoRa Mesh-мереж на базі платформи Arduino UNO в системи IoT. VIII Міжнародна науково-технічної конференція молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” 27-28 листопада 2019 р.: тези доп. – Тернопіль, 2019. – Т. 2.– С. 10.

4) Буцій Р. Система збору та візуалізації даних мікроклімату розумного будинку з використанням LoRa Mesh-технологій. VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя “Інформаційні моделі, системи та технології” 11-12 грудня 2019 р.: тези доп. – Тернопіль, 2019.– С. 25.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 6 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 143 арк. формату А4, графічна частина – 10 аркушів формату А1

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, мету роботи, задачі, об’єкт, предмет, наукову новизну, практичне значення та публікації дипломних досліджень.

**У першому розділі роботи “Основні відомості та принципи побудови LoRa Mesh-мереж”** проаналізовано переваги та недоліки технологій та протоколів безпроводної передачі даних, які використовуються в сучасних системах контролю розумним будинком.

У другому розділі “Реалізація апаратної частини LoRa Mesh-мережі” обґрунтовано вибір компонентної бази та енергоефективність радіомодуля, розробленої системи для системами контролю розумним будинком.

У третьому розділі “Реалізація програмної частини LoRa Mesh-мережі” проаналізовано пакет бібліотек, які дозволяють реалізувати безпроводну Mesh-мережу на платформі Arduino Nano. Реалізовано програмний код для мережевих вузлів та шлюзу запропонованої системи контролю розумним будинком. Проведено розробку “front end” та “back end” частин сервера.

У четвертому розділі “Обґрунтування економічної ефективності” обчислено показники економічної ефективності від застосування методу вибору оптимального рішення при реалізації програмних проєктів, що дало можливість сформулювати висновок про доцільність проведення НДР.

У п'ятому розділі роботи “Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях” проведено аналіз вимог з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерної техніки, охарактеризовано заходи по підвищенню стійкості об'єктів, оснащених системою контролю розумним будинком при надзвичайних ситуаціях. Проаналізовано методи захисту персоналу об'єктів та членів їх сімей. Оцінено дію електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на елементи системи контролю розумним будинком і розглянуто методи захисту.

У шостому розділі роботи “Екологія” розглянуто ефективність застосування енергозберігаючих технологій та проблему електромагнітного забруднення і шляхи його зменшення.

## **ВИСНОВКИ**

У даній дипломній роботі магістра проведено розробку системи контролю розумним будинком. При виконанні роботи та проведення теоретичних і експериментальних досліджень було отримано наступні результати:

- проведено огляд публікацій авторів, які досліджували проблематику систем контролю розумним будинком, та на основі їх аналізу встановлено переваги та недоліки таких систем;
- знайдено спосіб об'єднати технології Mesh та LoRa для підвищення відмовостійкості системи загалом;
- сформульовано вимоги до системи контролю розумним будинком з використанням LoRa Mesh-технологій;
- обґрунтовано методи використання LoRa Mesh-технологій в системі контролю розумним будинком;
- розроблено архітектуру та алгоритмічне забезпечення системи контролю розумним будинком з використанням запропонованих методів.
- розроблено макет системи контролю розумним будинком з використанням LoRa радіомодуля RFM95 на базі трансивера RF96;
- розроблено програмне забезпечення для мережевих вузлів та шлюзу на базі платформи Arduino Nano та WI-FI модуля ESP8266 відповідно;
- протестовано та оцінено завадостійкість модулів безпроводного зв'язку для системи контролю розумним будинком;
- розроблено простий та інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс для мережевого шлюзу.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Буцій Р. [Електронний ресурс] / Буцій Роман // Впровадження Mesh-технологій в системи розумного будинку. II Міжнародна студентська науково – технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання” - 2019р — <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28412>
2. Буцій Р. [Електронний ресурс] / Буцій Роман // Впровадження бездротових LoRa Mesh-мереж на базі платформи Arduino UNO в системи IoT. VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” - 2019р — <http://m.tntu.edu.ua/storage/news/00003921/Book%202019.pdf>
3. Буцій Р. [Електронний ресурс] / Буцій Роман // Система збору та візуалізації даних мікроклімату розумного будинку з використанням LoRa Mesh-технологій. VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя “Інформаційні моделі, системи та технології” - 2019р

## АНОТАЦІЯ

### **Буцій Р.А. Система контролю розумним будинком з використанням LoRa–Mesh– технологій**

Метою роботи є розробка апаратно-програмної системи контролю розумним будинком з використанням LoRa Mesh-технологій.

У дипломній роботі магістра проаналізовано сучасні системи контролю розумним будинком. Проведено аналіз протоколів маршрутизації для бездротового зв'язку. Для підвищення завадостійкості та масштабованості системи, запропоновано спосіб поєднання Mesh і LoRa технологій.

Проведено аналіз представлених технологій та розроблено архітектуру системи контролю розумним будинком з їх використанням. На її базі створено та протестовано програмне забезпечення для функціонування системи. Представлено спосіб візуалізації формування таблиць маршрутизації безпроводної LoRa Mesh-мережі з використанням протоколу MQTT.

Розроблено “back end” та “front end” для мережевого шлюзу з інтуїтивно зрозумілим веб-інтерфейсом.

**Ключові слова:** РОЗУМНИЙ БУДИНОК, БЕЗДРОВОТА MESH-ТЕХНОЛОГІЯ.

## ANNOTATION

### **Butsiy R.A. Smart house control system using LoRa-Mesh technologies**

The purpose of the work is to develop a hardware and software control system for a smart home using LoRa Mesh technologies.

In the master's thesis the modern control systems of the smart house are analyzed. The analysis of routing protocols for wireless communication is conducted. To improve system resilience and scalability, a combination of Mesh and LoRa technologies is proposed.

The presented technologies were analyzed and the architecture of the smart home control system was developed with their use. The software required by the aforementioned system to function is written and tested on its basis. A method of visualizing the formation of routing tables of a wireless LoRa Mesh network using the MQTT protocol is presented.

Back-end and front-end for network gateway with intuitive web interface is developed.

**Keywords:** SMART HOME, WIRELESS MESH TECHNOLOGY.