

АНАЛІЗ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ IoT ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ ОПАЛЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено аналіз радіоелектронних засобів, що застосовуються в системах Інтернету речей (IoT) для моніторингу енергоефективності мереж опалення побутових споживачів. Розглянуто архітектури IoT-систем, порівняно характеристики основних бездротових технологій зв'язку (LoRa, ZigBee, NB-IoT, Wi-Fi). Визначено оптимальні комбінації засобів зв'язку для забезпечення енергоефективності та надійності моніторингу. Отримані результати можуть бути використані для розробки інтелектуальних систем керування тепловими мережами.

Ключові слова: Інтернет речей, енергоефективність, теплові мережі, LoRaWAN, NB-IoT, моніторинг.

Вступ

Сучасні тенденції цифровізації житлово-комунального господарства визначають необхідність упровадження інтелектуальних систем моніторингу споживання енергоресурсів. Особливо актуальним є контроль параметрів теплових мереж побутових споживачів, де втрати теплової енергії та неефективне регулювання температурних режимів призводять до перевитрат енергії.

Системи Інтернету речей (IoT) дають змогу створювати комплексні рішення для віддаленого збору, обробки та аналізу даних у реальному часі [1]. Ефективність таких систем значною мірою залежить від вибору радіоелектронних засобів, що забезпечують передачу даних між сенсорними вузлами, контролерами та хмарними сервісами [2].

Метою дослідження є аналіз та порівняння радіоелектронних засобів IoT для підвищення енергоефективності систем моніторингу теплових мереж побутових споживачів.

Основні задачі дослідження:

1. Провести огляд типових архітектур IoT-систем для моніторингу теплових мереж.
2. Проаналізувати технічні характеристики основних радіомодулів і протоколів бездротової передачі даних (LoRa, ZigBee, NB-IoT, Wi-Fi).
3. Визначити критерії вибору оптимальних радіоелектронних засобів для систем енергоефективного моніторингу.

Результати дослідження

Для реалізації IoT-систем моніторингу енергоефективності мереж опалення застосовуються сенсорні вузли, що вимірюють температуру, тиск, витрату теплоносія, рівень вологості тощо. Ці вузли оснащуються мікроконтролерами (ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico) та радіомодулями для передачі даних до шлюзу або хмарної платформи [3].

Порівняльний аналіз основних технологій зв'язку показує, що:

- LoRaWAN забезпечує велику дальність зв'язку (до 10 км у міських умовах) та низьке енергоспоживання, що є важливим для автономних сенсорів.
- ZigBee підходить для локальних мереж з великою кількістю вузлів, але має обмежену дальність і потребує ретельного планування мережі.
- NB-IoT використовує мобільні мережі, що спрощує інтеграцію, проте вимагає більш енергоємних модемів і передбачає витрати на зв'язок.
- Wi-Fi забезпечує високу швидкість передачі, але характеризується значним

енергоспоживанням, тому доцільний лише для вузлів з постійним живленням.

На основі технічних характеристик і енергетичних показників доцільно застосовувати комбіновані архітектури, де локальні сенсорні вузли використовують LoRa/ZigBee, а шлюзи — NB-IoT або Wi-Fi для підключення до хмарного сервісу.

Також доцільним є впровадження алгоритмів обробки даних безпосередньо на рівні вузлів (edge computing), що дозволяє зменшити навантаження на канал передачі та підвищити швидкість реагування системи.

Висновки

Проведений аналіз показав, що вибір радіоелектронних засобів для IoT-систем моніторингу теплових мереж має суттєвий вплив на енергоефективність і стабільність роботи мережі.

Найбільш перспективними є рішення на основі LoRaWAN у поєднанні з NB-IoT-шлюзами, що забезпечують баланс між енергозбереженням, надійністю зв'язку та масштабованістю.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку прототипів сенсорних модулів з оптимізованим енергоспоживанням та впровадження алгоритмів інтелектуального керування тепловими потоками на основі отриманих даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Semenov, A.O., Prytula, M., Stalchenko, O., Donskyi, O. Protecting IoT Wearable Devices from Electromagnetic Radiation Using Radio-Opaque Fabrics. *Security of Infocommunication Systems and Internet of Things*, Vol. 1, No. 1, 2023. DOI: 10.31861/sisiot2023.1.01007.
2. Semenov, A.O., Semenova, O., Pinaiev, B., Kulias, R., Shpylovyi, O. Development of a Flexible Antenna-Wristband for Wearable Wrist-Worn Infocommunication Devices of the LTE Standard. *Technology Audit and Production Reserves*, No. 3 /1(65), 2022, pp. 20–26. DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261718.
3. Semenov, A.O., Stalchenko, O.V., Prytula, M.O., Donskyi, O.V. Amateur Low Power Radio Frequency Communication Device for FM Range. *Scientific Notes of Taurida National V I Vernadsky University, Series Technical Sciences*, 1(3), 2023, pp. 31–37. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.3.1.06.

Кристофоров Андрій Валерійович — аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrew199910kr@gmail.com

Науковий керівник: **Семенов Андрій Олександрович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

ANALYSIS OF RADIO-ELECTRONIC DEVICES OF IoT SYSTEMS FOR MONITORING THE ENERGY EFFICIENCY QUALITY OF HEATING NETWORKS FOR HOUSEHOLD HEAT ENERGY CONSUMERS

Abstract

The paper presents an analysis of radio-electronic devices used in Internet of Things (IoT) systems for monitoring the energy efficiency of household heating networks. IoT system architectures and key wireless communication technologies (LoRa, ZigBee, NB-IoT, Wi-Fi) are compared. Optimal combinations of communication tools are determined to ensure reliable and energy-efficient monitoring. The obtained results can be applied to the development of intelligent heating network management systems.

Keywords: Internet of Things, energy efficiency, heating networks, LoRaWAN, NB-IoT, monitoring.

Krystoforov Andrii Valeriiovych — PhD student at the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrew199910kr@gmail.com

Supervisor: **Semenov Andriy Oleksandrovych** — Dr. Sc. (Eng.), Full Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua