

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УДК [004.89+681.518](045)

Д. В. Гончаренко, В. Б. Мокін, Д. П. Проценко

ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ «ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ»

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У даній статті проаналізовано та охарактеризовано різні аспекти побудови інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі технології «Інтернет речей». Детально розглянуто ключові складові такого класу систем, включаючи особливості використання датчиків, вибір мережевих технологій, спеціалізованих IoT-платформ. Проведено аналіз сучасних мережевих технологій LPWAN, таких як LoRaWAN, Sigfox та NB-IoT. Охарактеризовано їх основні характеристики та особливості, у т.ч. швидкість передавання даних, дальність поширення мережі та рівень споживання енергії. Проаналізовано структуру та компоненти цих видів мереж. Розроблено схематичне подання для кожного виду мереж, яке розкриває його основні відмінності. Також, здійснено аналіз доступних IoT-платформ, які забезпечують збирання, оброблення та аналіз даних від датчиків. Проаналізовано функціональні та інтеграційні можливості таких платформ з мережевими технологіями LPWAN. Проведено експертне оцінювання критеріїв, які є важливими для порівняння та вибору оптимальних технологій, протоколів, платформ. Результат систематизовано у вигляді середньозваженого загального критерію оптимальності та таблиць з експертними оцінками для кожного виду мережевих технологій LPWAN. Проблема визначення оптимальної технології формалізовано як задачу лінійного програмування. Автоматизовано розв'язання цієї задачі на Python з використанням бібліотеки PuLP. Наведено приклади розв'язання задачі і вибору технологій для побудови інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі технології «Інтернет речей» за різних умов. Надамо опис результатів практичної реалізації системи моніторингу температури у приміщенні науково-дослідної лабораторії, розробленої з використанням результатів цієї статті. Основним науковим результатом проведеного дослідження є удосконалений метод багатокритеріального вибору оптимальних мережевих технологій та IoT-платформ для побудови інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі технології Інтернету речей. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості побудови ефективної інформаційної системи моніторингу, оптимальної за багатьма критеріями. Отримані результати дозволяють здійснити обґрунтований вибір мережевої технології LPWAN та IoT-платформи для конкретних вимог і потреб системи. Розроблене рішення у формі програмного коду на Python надає практичний інструмент для вирішення задачі оптимізації вибору технології.

Ключові слова: система моніторингу, Інтернет речей, датчики, мережеві технології, інформаційна система, LPWAN, Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT, Python.

Abstract. This article analyzes and characterizes various aspects of constructing an information system for monitoring physical parameters based on Internet of Things (IoT) technology. The key components of such systems are thoroughly examined, including sensor utilization, selection of network technologies, and specialized IoT platforms. An analysis of modern LPWAN (Low-Power Wide Area Network) technologies such as LoRaWAN, Sigfox, and NB-IoT is conducted, outlining their main characteristics and features, including data transmission speed, network coverage range, and energy consumption levels. The structure and components of these network types are analyzed, and schematic representations highlighting their key differences are provided. Additionally, an analysis of available IoT platforms that facilitate data collection, processing, and analysis from sensors is carried out. The functional and integration capabilities of these platforms with LPWAN technologies are assessed. Expert evaluation criteria essential for comparing and selecting optimal technologies, protocols, and platforms are examined. The results are systematized into a weighted overall optimality criterion and tables with expert assessments for each type of LPWAN network technology. The problem of determining the optimal technology is formalized as a linear programming task. The automated solution to this problem is implemented using Python and the PuLP library. Examples of solving the task and selecting technologies for building an information system for monitoring physical parameters based on IoT technology under various conditions are presented. The results of the practical implementation of a temperature monitoring system in a scientific laboratory, developed using the findings of this article, are described. The main scientific achievement of this research is an improved method for multicriteria selection of optimal network technologies and IoT platforms for building an information system for monitoring physical parameters based on IoT technology. The practical value of the obtained results lies in the ability to construct an efficient monitoring information system that is optimal across multiple criteria. The obtained results enable an informed selection of LPWAN network technology and IoT platforms based on specific system requirements and needs. The developed Python code solution provides a practical tool for optimizing technology selection.

Key words: monitoring system, Internet of Things, sensors, networking technologies, information system, LPWAN, Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-57-2-99-108>.

Вступ

«Інтернет речей» (англ.: «Internet of Things», скорочено – IoT) – це концепція, що описує мережу фізичних об'єктів (речей), які з'єднані між собою і з Інтернетом, мають здатність автоматично збирати дані та обмінюватися ними [1]. Проектування та розроблення інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі IoT-технології – це процес створення та консолідування програмного забезпечення та апаратних складових, які дозволяють автоматично збирати, обробляти та аналізувати дані про фізичні показники з різних джерел інформації, передусім, із датчиків.

Актуальність

Побудова інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі Інтернету речей (IoT) полягає у забезпеченні швидкого та точного автоматизованого збору даних, віддаленого контролю та аналізу фізичних параметрів. При побудові системи необхідно враховувати декілька важливих аспектів, зокрема: технологію передачі даних, технологію зберігання та оброблення даних, безпеку даних, стандартизацію та сумісність. Вибір оптимальної мережевої технології та IoT-платформи є критичним для успішної реалізації інформаційної системи моніторингу на базі IoT. Мережева технологія визначає ефективність та надійність передачі даних, що є важливим для забезпечення швидкого та точного збору фізичних показників. IoT-платформа є основою для збору, зберігання, аналізу та візуалізації даних, а також для керування пристроями IoT.

Основними етапами проектування та розроблення інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі IoT-технології є такі: аналіз вимог та специфікація системи, проектування архітектури системи, розроблення програмного забезпечення, розроблення апаратної складової, інтеграція та тестування [2].

Подібні питання вже вирішувались за участю частини авторів цієї статті у роботі [3] на прикладі створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря, але ряд наведених у ній аспектів, рішень та висновків за 6 років вже застаріли, оскільки технологія «Інтернет речей» стрімко розвивається. Отже, виникла необхідність проведення повторного дослідження та аналізу матеріалу, відповідно до сучасних тенденцій розвитку, та розширити сферу застосування на більшу кількість фізичних показників різних інформаційно-вимірвальних систем.

Мета

Метою даної статті є систематизація та вибір оптимальних за певними критеріями сучасних технологічних рішень, необхідних для створення інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі інформаційно-вимірвальних пристроїв, що об'єднані за допомогою технології Інтернету речей.

Задачі

1. Провести технологічний та структурний аналіз мережевих технологій LPWAN.
2. Провести аналіз архітектур IoT-платформ
3. Застосувати підхід до формалізації задачі вибору оптимальної технології на основі експертної інформації.
4. Навести приклад практичної реалізації системи моніторингу фізичних показників.

Вибір та обґрунтування технології зв'язку

Охарактеризуємо та детальніше систематизуємо сучасні технологічні рішення на кожному із зазначених вище етапів проектування IoT-системи.

Бездротова мережа із низькою потужністю передачі даних на великій відстані LPWAN використовується для збирання даних від різних IoT-сенсорів, які можуть бути розташовані далеко від мережевої інфраструктури. Переваги LPWAN — у великій дальності передавання даних, низькому енергоспоживанні, хорошій якості сигналу, низьких витратах на встановлення та експлуатацію мережі.

LPWAN може використовувати різні протоколи зв'язку, зокрема LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT. Ці протоколи використовують радіочастоти, які дозволяють передавати дані на великій відстані [4]. Потужність пристроїв, що використовують протоколи LPWAN, є одним із ключових факторів їх ефективності.

Розглянемо технічні аспекти архітектури LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT [5-6]. LoRaWAN використовує технологію LoRa на низьких частотах для великої зони покриття без масштабної інфраструктури. Вона використовує метод модуляції CSS для стабільної комунікації з високим SNR і стійкістю до перешкод. У LoRaWAN є шість факторів розповсюдження (SF7-SF12), які впливають на швидкість та дальність передачі даних.

Sigfox - низькопотужна бездротова мережа, що використовує стандарт ISM. Вона використовує технологію Ultra Narrow Band (UNB) на низькій частоті для великого покриття та енергоефективності. Протокол Sigfox працює в режимі Half Duplex, де кінцевий пристрій відправляє короткі повідомлення до базової станції без підтвердження передачі. Це забезпечує енергоефективну роботу, але обмежує обсяг та частоту передачі.

NB-IoT - це LPWAN технологія, що працює в ліцензованому діапазоні поряд з LTE та GSM. Вона використовує компоненти фізичного та верхнього рівнів стеку протоколу LTE. Діапазон частот технології включає самостійний режим (використовує існуючі GSM-діапазони частот), режим резервного діапазону (не використовується ресурсний блок з резервного діапазону LTE) та режим внутрішнього діапазону (використовуються ресурсні блоки переносів LTE). Проаналізовано джерела [7-9], що дозволило з'ясувати особливості кожної технології. Результати аналізу подано у таблиці 1.

Таблиця 1 – Особливості мережевих технологій LPWAN

	Технології		
	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT
Робоча частота	433, 868, 780, 915 МГц	865 – 924 МГц	700 – 900 МГц
Пропускна здатність	7.8 – 500 kHz	100 Hz	180 kHz
Максимальний розмір пакета	до 255 байт	12 байт	до 160 байт
Максимальна швидкість передавання даних	до 50 кбіт/с у режимі пристроїв типу «Class A», до 1 Мбіт/с у режимі «Class C»	до 100 біт/с	до 250 кбіт/с
Зона покриття (відкрита місцевість)	18 км	50 км	100 км
Зона покриття (щільна забудова)	5 км	10 км	10-15 км
Топологія мережі	mesh-топологія, зірка	зірка	зірка
Шифрування	AES-128	AES-128	3GPP 128-256 біт
Потужність передачі	14 дБм, 27 дБм	14 дБм, 27 дБм	20 – 23 дБм
Споживання енергії	від кількох мкВт до кількох мВт	від кількох мкВт до кількох мВт	від кількох мВт до кількох десятків мВт
Радіус дії базової станції/шлюзу	2-10 км	3-40 км	5-10 км

Структура та компоненти мереж LPWAN

Розглянемо структуру та компоненти мереж, що побудовані на основі технологій LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT. Структура мережі LoRaWAN є розподіленою. Основна структура мережі LoRaWAN складається з трьох рівнів : вузлів, шлюзів та мережевих серверів. Структуру мережі LoRaWAN подано на рисунку 1:

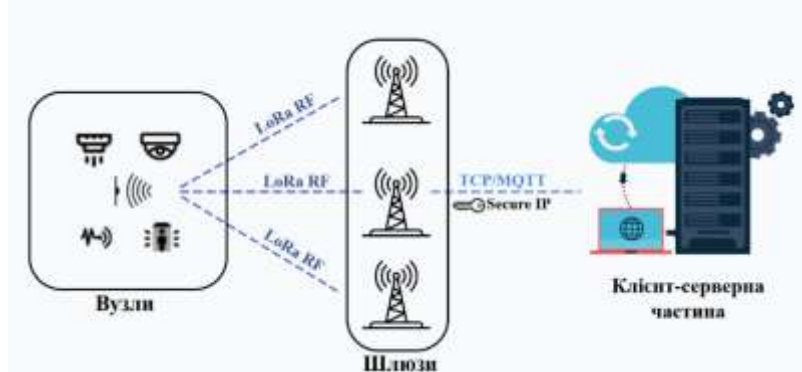


Рисунок 1 – Структура мережі LoRaWAN

Мережа Sigfox складається з трьох рівнів: вузлів, базових станцій і облікових серверів. Взаємодія в мережі Sigfox відбувається лише в одному напрямку: від вузла до базової станції. Структуру мережі Sigfox подано на рисунку 2:

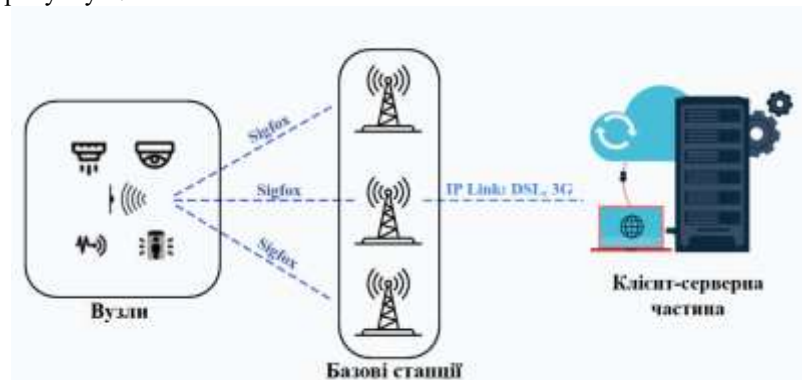


Рисунок 2 – Структура мережі Sigfox

Основна структура мережі NB-IoT складається з чотирьох рівнів: пристроїв, базових станцій, ядра мережі (Core Network) та серверної частини. Структуру мережі NB-IoT подано на рисунку 3:

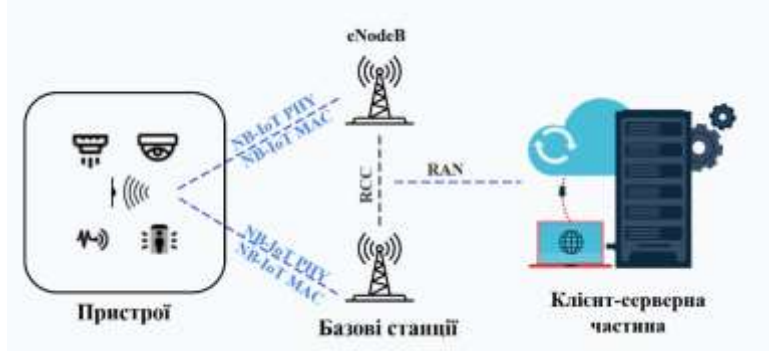


Рисунок 3 – Структура мережі NB-IoT

Модуль NB-IoT використовується для передавання даних з датчиків через мережу. Він включає в себе вбудований модем та антену для передачі та отримання інформації [10]. Геолокація в мережах NB-IoT може здійснюватися двома способами: позиціонування за ідентифікатором базової станції та GNSS (глобальна навігаційна система). Нейронні мережі також можуть використовуватися для визначення місцеположення базової станції, що поліпшує точність та надійність [11].

Вибір IoT-платформи для збирання, зберігання та аналізу даних

IoT-платформи надають інструменти для збирання, зберігання, оброблення та аналізу даних, що надходять від підключених пристроїв, а також для підвищення безпеки та ефективного керування мережею Інтернету речей. Архітектура типової IoT-платформи подана на рисунку 4:

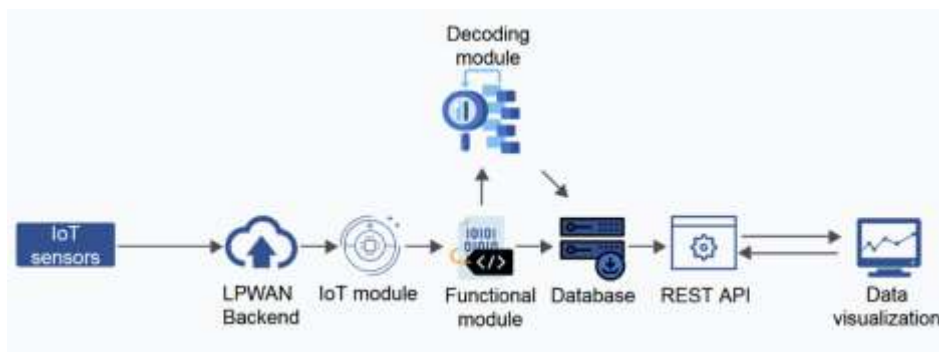


Рисунок 4 – Структура мережі NB-IoT

Основними компонентами архітектури є такі:

1. Підключені пристрої (IoT sensors) через стандарти передавання даних (Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT тощо).
2. LPWAN Backend, який відповідає за підтримку та керування бездротовими мережами.
3. IoT-модуль (IoT module), який призначений для збирання даних із IoT-пристроїв.
4. Функціональний модуль (Functional module), який відповідає за оброблення, аналіз даних та їх передавання.
5. Модуль декодування (Decoding module) використовується для розшифрування та інтерпретації отриманих даних від підключених пристроїв. IoT-пристрої можуть використовувати різні формати передачі даних, такі як бінарні коди, JSON або XML.
6. Система управління базами даних (Database) використовується для зберігання та управління великим обсягом отриманих даних.
7. REST API надає інтерфейс зв'язку та взаємодії з IoT-платформою.
8. Візуалізація даних (Data visualization) відповідає за відображення даних, зібраних з підключених пристроїв. Візуалізація може включати створення графіків, діаграм, карт та іншого графічного представлення даних для зручного сприйняття та аналізу.

Найбільш популярними IoT-платформами сьогодні є AWS IoT, Microsoft Azure IoT, Google Cloud IoT та ThingSpeak [12-13].

Інформаційна системи моніторингу фізичних показників

Для створення інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі Інтернету речей, перш за все, необхідно визначити архітектуру такої системи. Розроблення архітектури включає такі етапи: визначення функціональних вимог, вибір пристроїв IoT та датчиків, вибір протоколів зв'язку, вибір

IoT-платформи, створення системи візуалізації. Описану схему розроблення архітектури інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі Інтернету речей подано на рисунку 5.



Рисунок 5 – Схема розроблення інформаційної системи

Для розв'язання поставленої у статті задачі необхідно проаналізувати наявні типові характеристики кожної з IoT-технологій та визначити оптимальну, відповідно до реальних вимог. Skorистаємось підходом статті [14] до формалізації задачі на основі експертної інформації. Проведемо порівняння характеристик технологій за такими критеріями: X_1 – дальність покриття, X_2 – частотний діапазон, X_3 – швидкість передачі даних, X_4 – вартість впровадження, X_5 – енергоефективність, X_6 – надійність, X_7 – швидкість проектування, X_8 – конфіденційність та безпека даних.

Як інтегральний, обрано класичний критерій J_x , де w_i – вага i -го критерію, що визначається експертним шляхом, залежно від умов задачі:

$$J_x = \sum_{i=1}^N w_i X_i \quad (1)$$

Результат багатокритеріального аналізу експертних оцінок параметрів мережевих технологій за наведеними вище критеріями представлено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результат багатокритеріального аналізу мережевих технологій LPWAN

Критерії	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	J_x
Ваги	0,2	0,1	0,1	0,15	0,15	0,1	0,15	0,05	
LoRaWAN	1 - від 2 до 15 км	1 - три діапазони (433/868/915 МГц)	0,8 - 1,2 кбіт/с	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,87
Sigfox	0,8 - від 2 до 10 км	0,9 - два діапазони	0,5 - 100 біт/с	1	1	1	1	0,8	0,89
NB-IoT	0,8 - 10 км	0,9 - два діапазони	1 - 250 кбіт/с	0,6	0,6	0,9	0,7	1	0,77

Знаходження оптимальної мережевої технології можна розглядати як задачу оптимізації для визначення технології в залежності від важливих критеріїв. Задачу оптимізації можна формалізувати з огляду на важливість того чи іншого критерію (ціна, надійність тощо). Задача оптимізації для вибору оптимальної технології LPWAN може виглядати наступним чином. Мінімізувати вартість впровадження при задолженні наступних обмежень:

- Дальність покриття повинна бути не менше заданого значення D_{min} ;
- Частотний діапазон повинен відповідати заданому діапазону $F_{min} - F_{max}$;
- Швидкість передачі даних повинна бути не менше заданого значення R_{min} ;
- Вартість впровадження має бути якомога меншою C_{min} ;
- Енергоефективність повинна бути не менше заданого значення E_{min} ;
- Надійність повинна бути не менше заданого значення N_{min} ;
- Швидкість проектування повинна бути не менше заданого значення P_{min} ;
- Конфіденційність та безпека даних повинна бути не менше заданого значення S_{min} ;

Формалізація цієї задачі являє собою задачу лінійного програмування, оскільки всі критерії оптимізації є лінійними. Оптимальною технологією є та, в якій критерій (1) буде приймати найменше значення:

$$J = \sum_{i=1}^N w_i X_{ij}, j = 1, 2, 3, \dots, AX \geq B, \quad (2)$$

де X_{ij} ($j = 1, 2, 3, \dots$) – значення критеріїв для кожної з IoT-технологій, а X – їх векторне представлення, A – матриця коефіцієнтів обмежень на критерії, B – вектор обмежень на критерії.

Для розв'язання задачі можна використовувати різні методи лінійного програмування (симплекс-метод, метод внутрішньої точки тощо). Скористаємось бібліотекою PuLP для Python, щоб визначити яка з технологій є оптимальним вибором при розробці архітектури з урахуванням енергоефективності, швидкості проектування та вартості. В результаті виконання задачі лінійного програмування отримано такі результати:

```
Статус: Optimal
Рекомендація з IoT-технологій:
Sigfox: 10
LoRaWAN: 8
NB-IoT: 7
```

Рисунок 6 – Результат виконання запрограмованої задачі лінійного програмування

Отримані результати свідчать про те, що Sigfox є оптимальною технологією для інформаційної системи моніторингу фізичних параметрів на основі Інтернету речей, якщо потрібна надійна, енергоефективна, відносно недорога технологія. Варто зазначити, що у процесі розроблення можуть змінюватись вимоги до системи. Зокрема, може постати необхідність збільшення дальності покриття або підвищення рівня конфіденційності. У такому разі необхідно перевизначити вагові коефіцієнти та лінійну цільова функцію.

Використаємо аналогічний підхід для визначення IoT-платформи, оптимальної для проектування інформаційної системи моніторингу фізичних показників. Проведено порівняння характеристик технологій за такими критеріями: X_1 – підтримка протоколів IoT, X_2 – масштабованість, X_3 – розгортання та управління, X_4 – аналітика та інсайти, X_5 – безпека, X_6 – ціна, X_7 – інтерфейс користувача.

Таблиця 3 – Результат багатокритеріального аналізу IoT-платформ

Критерії	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Jx
Ваги	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	
AWS IoT	1 – 9 протоколів	1 – до мільйона пристроїв	1 – широкий вибір інструментів та документації	0,8 – необхідно докупувати послуги	1	0,2 – 87 доларів	0,6 – потужний, але складний	0,66
Microsoft Azure	0,8 – 7 протоколів	1 – до мільйона пристроїв	0,9 – широкий набір інструментів, менше документації	1 – широкі можливості аналізу та інсайтів	1	0,5 – 50 доларів	0,7 – добре організований, не простий	0,76
Google Cloud IoT	0,3 – 3 протоколи	1 – до мільйона пристроїв	0,8 – широкий вибір інструментів, менш докладна документація	0,7 – функції не інтуїтивні	0,8	0,4 – від 50 доларів	0,8 – інтуїтивний інтерфейс	0,64
Thingspeak	0,3 – 3 протоколи	0,5 – до сотень тисяч пристроїв	0,7 – має менший набір інструментів	0,6 – базові можливості	0,6	1 – безкоштовний план	1 – простий та зрозумілий інтерфейс	0,78

В результаті вирішення задачі лінійного програмування за аналогією з описаною вище отримуємо такі результати:

```
Статус: Optimal
Рекомендація з IoT-платформ:
AWS IoT: 6
Microsoft Azure: 7
Google Cloud IoT: 8
ThingSpeak: 10
```

Рисунок 7 – Результат виконання запрограмованої задачі лінійного програмування

З огляду на отримані результати, на рисунку 8 подано запропоновану структуру інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі Інтернету речей:

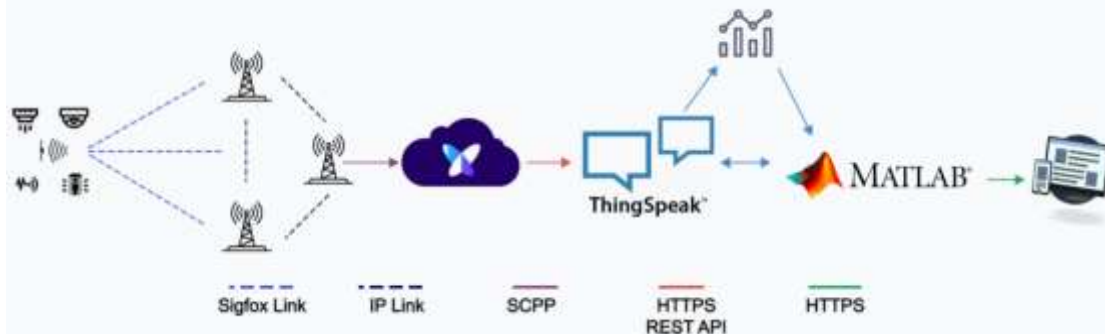


Рисунок 8 – Структура інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі Інтернету речей

Для зберігання та аналізу даних пропонується використати IoT-платформу ThingSpeak. Сервер ThingSpeak збирає дані із Sigfox Backend за допомогою API-запитів та зберігає їх у базі даних. Отримані дані можна відобразити за допомогою веб-інтерфейсу ThingSpeak.

Практична реалізація системи моніторингу фізичних показників

Відповідно запропонованого алгоритму вибору мережевих технологій LPWAN та IoT-платформ розроблено інформаційну систему моніторингу температури у приміщенні науково-дослідної лабораторії автоматизованих систем управління в енергетиці та транспорті (АСУЕТ) кафедри системного аналізу та інформаційних технологій (САІТ) Вінницького національного технічного університету. Аналіз показав, що умови задачі відповідають наведеним вище прикладам ілюстрування вибору технології (див. рисунок 6 і 7). Отже, для реалізації було вибрано наступні технології: Sigfox – для забезпечення зв'язку із IoT-пристроєм та хмарним обчислювальним центром, ThingSpeak – для візуалізації отриманих даних.

Пристрій було реалізовано на базі мікроконтролера Arduino Mini, модуля SFM10R1 з використанням температурного датчика SD18B20 та станції Sigfox (SMBS-T4), яка є у власності кафедри САІТ. Структурну схему апаратної частини інформаційної системи подано на рисунку 9:

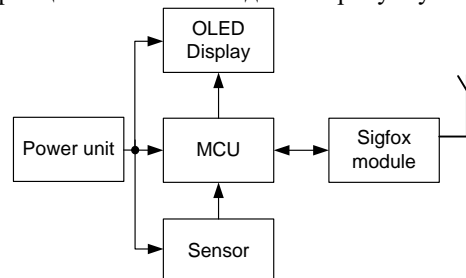


Рисунок 9 – Структурна схема апаратної частини інформаційної системи

Мікропроцесорний пристрій формує команди керування Sigfox модулем SFM10R1 через протокол RS-232. Значення температури по шині I2C зчитується мікроконтролером та передається в тілі AT команди відправки пакету даних в мережу Sigfox (AT\$SF). Коли передавач отримує дану команду, він формує відповідь про успішне її виконання.

На рисунку 10 наведено приклад візуалізації отриманих даних від створеної системи:

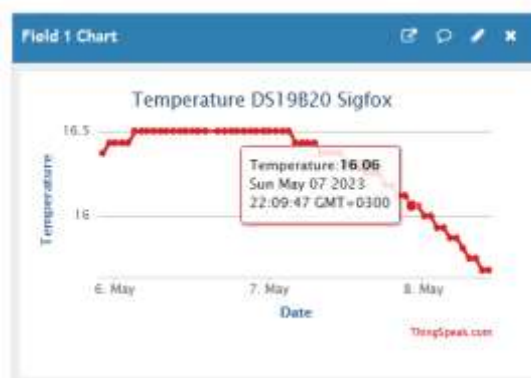


Рисунок 10 – Візуалізація даних, отриманих від розробленої авторами інформаційної системи моніторингу температури на базі IoT-технології Sigfox

Висновки

У статті розглянуто задачу створення інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі автоматичної взаємодії між різними інформаційно-вимірювальними пристроями за допомогою технології Інтернету речей (IoT). У рамках даного дослідження було проведено аналіз технічних аспектів мережевих технологій LPWAN (LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT) і на його основі було створено таблицю, яка відображає виявлені основні характеристики. Аналіз показав, що кожна розглянута архітектура має суттєві відмінності таких параметрів як: робочі частоти, пропускна здатність мережі та її топологія, зона покриття сигналом.

Структурний аналіз мережевих технологій LPWAN показав, що усі розглянуті в статті IoT-архітектури можуть бути уніфіковані в трирівневу структуру, яка включає пристрої/вузли, шлюзи/базові станції та клієнт-серверну частину. Розроблені таким чином схеми структури дозволили виявити ключові відмінності між цими технологіями.

Проведено аналіз IoT-платформ для збирання, зберігання та аналізу даних. Визначено архітектуру типової IoT-платформи. Розглянуто особливості найбільш популярних IoT-платформ.

Для вибору технологій, які використовуються у розробці інформаційної системи моніторингу фізичних показників, було використано підхід, що базується на формалізації задачі за допомогою експертної інформації. Проведено порівняння характеристик мережевих технологій та IoT-платформ. Результати аналізу представлено у вигляді таблиць. Знаходження оптимальної технології розглянуто як задачу оптимізації, яку формалізовано у задачу лінійного програмування. Рішення для цієї задачі було запропоновано у вигляді програмного коду на мові програмування Python з використанням бібліотеки PuLP. Експертні оцінки дозволили встановити ключові відмінності мережевих технологій та IoT-платформ з урахуванням вимог до системи. З огляду на отримані результати, запропоновано структуру інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі Інтернету речей. Наведено опис практичної реалізації системи моніторингу температури у приміщенні науково-дослідної лабораторії

Список літератури

- [1] Koohang, C. S. Sargent, J. H. Nord, and J. Paliszkiwicz, "Internet of things (IoT): From Awareness to continued use," *International Journal of Information Management*, вип. 62, с. 102442, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [doi:10.1016/j.ijinfomgt.2021.102442](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102442). Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [2] Paolone, G., Iachetti, D., Paesani, R., Pilotti, F., Marinelli, M. Di Felice, P. A holistic overview of the internet of things ecosystem. *IoT*, 3(4), с. 398–434, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/iot3040022>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [3] В. Б. Мокін, Б. Ю. Собко, М. В. Дратований, Є. М. Крижановський, і Г. В. Горячев, «Створення інформаційної системи моніторингу забруднення атмосферного повітря міста на основі технології 'Інтернет речей'», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 3, с. 49–58, Верес. 2017.
- [4] Almuhaaya, M. A., Jabbar, W. A., Sulaiman, N. Abdulmalek, S. A survey on Lorawan technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions. *Electronics*, 11(1), с. 164–170, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/electronics11010164>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [5] Sisinni, E., Ferrari, P., Fernandes Carvalho, D., Rinaldi, S., Marco, P., Flammini, A. Depari, A. Lorawan Range Extender for industrial IOT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(8), с. 5607–5616,

2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/tii.2019.2958620>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [6] Muteba, K. F., Djouani, K.Olwal, T. 5G Nb-IOT: Design, Considerations, Solutions and challenges. *Procedia Computer Science*, 198, с. 86–93, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.214>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [7] Milarokostas, C., Tsoikas, D., Passas, N.Merakos, L. A comprehensive study on Lpwns with a focus on the potential of Lora/Lorawan Systems. *IEEE Communications Surveys; Tutorials*, 25(1), с. 825–867, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/comst.2022.3229846>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [8] Jouhari, M., Saeed, N., Alouini, M.-S.Amhoud, E. M. A survey on Scalable Lorawan for massive IOT: Recent advances, potentials, and challenges. *IEEE Communications Surveys; Tutorials*, с. 18–29, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/comst.2023.3274934>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [9] Alqrashi, H., Bouabdallah, F.Khairullah, E. SCAP SigFox: A scalable communication protocol for low-power wide-area IOT Networks. *Sensors*, 23(7), с. 3732, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/s23073732>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [10] Wang, Y., Fu, H., Wang, D.Jiang, Y. Design of illumination data acquisition system based on Nb-IOT. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, с. 104–111, 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://doi.org/10.1007/978-981-99-0416-7_10. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [11] О. О. Семенова і А. О. Семенов, «Застосування нейронних мереж для визначення місцеположення мобільної станції», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, вип. 4, с. 66–70, Серп. 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-145-4-66-70>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [12] Domínguez-Bolaño, T., Campos, O., Barral, V., Escudero, C. J.García-Naya, J. A. An overview of IOT architectures, technologies, and existing open-source projects. *Internet of Things*, 20, с. 100626–100648, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100626>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [13] Bagwari, S., Roy, A., Gehlot, A., Singh, R., Priyadarshi, N.Khan, B. Lora based metrics evaluation for real-time landslide monitoring on IOT platform. *IEEE Access*, 10, с. 46392–46407, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3169797>. Дата звернення: 13 черв. 2023.
- [14] В. Б. Мокін, Л. М. Скорина, С. М. Крижановський, і М. А. Гораш, «Побудова гіс-інтегрованої системи даних та моделей на основі xml-формалізації для моделювання процесів у річках», *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, вип. 2, Чер 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/23413>. Дата звернення: 13 черв. 2023.

Стаття надійшла: 16.06.2023.

References

- [1] Koohang, C. S. Sargent, J. H. Nord, and J. Paliszkiwicz, "Internet of things (IOT): From Awareness to continued use," *International Journal of Information Management*, vol. 62, p. 102442, 2022. [Online]. Available: [doi:10.1016/j.ijinfomgt.2021.102442](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102442). Accessed on: 13.06.23.
- [2] Paolone, G., Iachetti, D., Paesani, R., Pilotti, F., Marinelli, M.Di Felice, P. A holistic overview of the internet of things ecosystem. *IoT*, 3(4), p. 398–434, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/iot3040022>. Accessed on: 13.06.23.
- [3] V. B. Mokin, B. Yu. Sobko, M. V. Dratovanyi, Ye. M. Kryzhanovskiy, and H. V. Horiachev, "Creation of an information system for monitoring air pollution in the city based on Internet of Things technology," *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, vol. 3, p. 49-58, Sep. 2017. [in Ukrainian].
- [4] Almuhaya, M. A., Jabbar, W. A., Sulaiman, N.Abdulmalek, S. A survey on Lorawan technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions. *Electronics*, 11(1), p. 164–170, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/electronics11010164>. Accessed on: 13.06.23.
- [5] Sisinni, E., Ferrari, P., Fernandes Carvalho, D., Rinaldi, S., Marco, P., Flammini, A.Depari, A. Lorawan Range Extender for industrial IOT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(8), p. 5607–5616, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/tii.2019.2958620>. Accessed on: 13.06.23.
- [6] Muteba, K. F., Djouani, K.Olwal, T. 5G Nb-IOT: Design, Considerations, Solutions and challenges. *Procedia Computer Science*, 198, p. 86–93, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.214>. Accessed on: 13.06.23.

- [7] Milarokostas, C., Tsoikas, D., Passas, N., Merakos, L. A comprehensive study on Lpwns with a focus on the potential of Lora/Lorawan Systems. *IEEE Communications Surveys; Tutorials*, 25(1), p. 825–867, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/comst.2022.3229846>. Accessed on: 13.06.23.
- [8] Jouhari, M., Saeed, N., Alouini, M.-S., Amhoud, E. M. A survey on Scalable Lorawan for massive IOT: Recent advances, potentials, and challenges. *IEEE Communications Surveys; Tutorials*, p. 18–29, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/comst.2023.3274934>. Accessed on: 13.06.23.
- [9] Alqurashi, H., Bouabdallah, F., Khairullah, E. SCAP SigFox: A scalable communication protocol for low-power wide-area IOT Networks. *Sensors*, 23(7), p. 3732, 2023 [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s23073732>. Accessed on: 13.06.23.
- [10] Wang, Y., Fu, H., Wang, D., Jiang, Y. Design of illumination data acquisition system based on Nb-IOT. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, p. 104–111, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-981-99-0416-7_10. Accessed on: 13.06.23.
- [11] O. O. Semenova and A. O. Semenov, "Application of neural networks for determining the location of a mobile station," *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, vol. 4, p. 66-70, Aug. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-145-4-66-70>. Accessed on: 13.06.23. [in Ukrainian].
- [12] Domínguez-Bolaño, T., Campos, O., Barral, V., Escudero, C. J., García-Naya, J. A. An overview of IOT architectures, technologies, and existing open-source projects. *Internet of Things*, 20, p. 100626–100648, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100626>. Accessed on: 13.06.23.
- [13] Bagwari, S., Roy, A., Gehlot, A., Singh, R., Priyadarshi, N., Khan, B. Lora based metrics evaluation for real-time landslide monitoring on IOT platform. *IEEE Access*, 10, p. 46392–46407, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3169797>.
- [14] V. B. Mokin, L. M. Skorina, Ye. M. Kryzhanovskiy, and M. A. Gorash, "Construction of a GIS-integrated data and model system based on XML formalization for modeling processes in rivers," *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*, vol. 2, Jun. 2018. [Online]. Available: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/23413>. Accessed on: 13.06.23. [in Ukrainian].

Відомості про авторів

Гончаренко Дмитро Валерійович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

Мокін Віталій Борисович – доктор технічних наук, проф., завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

Проценко Дмитро Петрович - кандидат технічних наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

D. V. Honcharenko, V. B. Mokin, D. P. Protsenko

BUILDING AN INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING PHYSICAL INDICATORS BASED ON THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia