

УДК 004.031.4

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.3.12>

О.В. ІВАНЧУК

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2058-4707

В.М. КОЗЕЛ

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2627-2499

Є.А. ДРОЗДОВА

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0276-6387

ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

У роботі розглянуто проблеми енергоефективності IoT систем при використанні джерел живлення обмеженої ємності. До таких джерел живлення відносяться акумулятори та одноразові батареї. Невеликий обсяг енергії у джерелі живлення IoT пристроїв потребує додаткового часу для проектування системи, що буде взаємодіяти з IoT пристроями. При правильному проектуванні користувач буде рідше втручатися у роботу системи для заміни джерела живлення.

У системі Інтернету речей пристрої, що представляють собою датчики або контролери, об'єднанні однією мережею. Ця система використовується для поліпшення умов існування людини, та повинна працювати без втручання користувача. У таких системах джерела живлення мають надавати можливість IoT пристроям працювати протягом декількох років без необхідності їхньої заміни.

При проектуванні IoT системи необхідно виконати аналіз протоколів обміну даними для вибору оптимальних для роботи у системі. Протоколи можна розділити на дві категорії: протоколи передачі сигналів та протоколи структури даних.

Протоколи передачі сигналів визначають середовище передачі даних, частотні характеристики сигналів, методи кодування даних, структуру пакетів даних.

Протоколи структури даних визначають метод опису даних для швидкого відокремлення одних даних від інших під час обробки.

Для вибору протоколів необхідно визначити дані, що будуть передаватися у мережі, далі провести аналіз типів даних, та на основі аналізу визначити оптимальний протокол структури даних.

Також необхідно визначити протокол передачі сигналів. Він має опиратися на протоколи структури даних, оскільки їх дані будуть передаватися у IoT системі. Можна переглянути характеристики швидкості передачі даних та радіус покриття. Протоколи з великою швидкістю передачі даних швидше виснажують джерело живлення. Якщо немає необхідності у великій швидкості, то такі протоколи можна відразу відкинути.

Можливі ситуації, коли декілька протоколів будуть давати однакові результати. У такому випадку розробники системи повинні вирішувати, який з них використовувати.

Ключові слова: Інтернет, Інтернет речей, мережа, IoT пристрої, комп'ютерна система.

А.В. ІВАНЧУК

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2058-4707

В.Н. КОЗЕЛ

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2627-2499

Є.А. ДРОЗДОВА

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0276-6387

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В работе рассмотрены проблемы энергоэффективности IoT систем при использовании источников питания ограниченной емкости. К таким источникам питания относятся аккумуляторы и одноразовые батареи. Небольшой объем энергии в источнике питания IoT устройств требует дополнительного времени для проектирования системы, которая будет взаимодействовать с IoT устройствами. При правильном проектировании пользователь будет реже вмешиваться в работу системы для замены источника питания.

В системе Интернета вещей устройства, представляющие собой датчики или контроллеры, объединены одной сетью. Эта система используется для улучшения условий существования человека, и должна работать без вмешательства пользователя. В таких системах источники питания должны предоставлять возможность IoT устройствам работать в течение нескольких лет без необходимости замены.

При проектировании IoT системы необходимо выполнить анализ протоколов обмена данными для выбора оптимальных для работы в системе. Протоколы можно разделить на две категории: протоколы передачи сигналов и протоколы структуры данных.

Протоколы передачи сигналов определяют среду передачи данных, частотные характеристики сигналов, методы кодирования данных, структуру пакетов данных.

Протоколы структуры данных определяют метод описания данных для быстрого отделения одних данных от других во время обработки.

Для выбора протоколов необходимо определить данные, которые будут передаваться в сети, далее провести анализ типов данных, и на основании анализа определить оптимальный протокол структуры данных.

Также необходимо определить протокол передачи сигналов. Он должен опираться на протоколы структуры данных, поскольку их данные будут передаваться в IoT системе. Можно посмотреть характеристики скорости передачи данных и радиус покрытия. Протоколы с большой скоростью передачи данных быстрее истощают источник питания. Если нет необходимости в большой скорости, то такие протоколы можно сразу отбросить.

Возможны ситуации, когда несколько протоколов будут давать одинаковые результаты. В таком случае разработчики системы должны решать, какой из них использовать.

Ключевые слова: Интернет, Интернет вещей, сеть, IoT устройства, компьютерная система.

O.V. IVANCHUK

Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-2058-4707

V.M. KOZEL

Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-2627-2499

Ye.A. DROZDOVA

Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-0276-6387

PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY OF IOT SYSTEMS

The paper considers the energy efficiency problems of IoT systems when using power supplies of limited capacity. Such power sources include batteries and disposable batteries. The small amount of energy in the power supply of IoT devices requires additional time to design a system that will interact with IoT devices. With proper design, a person will be less likely to interfere with the system to replace the power supply.

In the Internet of Things, devices that are sensors or controllers are connected by a single network. This system is used to improve the living conditions of man, and should work without human intervention. In such systems, power supplies should allow IoT devices to operate for several years without replacing the power supply.

When designing an IoT system, it is necessary to perform an analysis of data exchange protocols to select the optimal ones to work in the system. Protocols can be divided into two categories: signaling protocols and data structure protocols.

Signal transmission protocols determine the data transmission medium, frequency characteristics of signals, data encoding methods, the structure of data packets.

Data structure protocols define a method of describing data to quickly separate some data from others during processing.

To select protocols, you must define the data that will be transmitted over the network. Next, analyze the data types. Based on the analysis, determine the optimal data structure protocol.

Then you need to determine the signal transmission protocol. It must rely on the data structure protocol, as its data will be transmitted in the IoT system. You can view the baud rate and coverage radius. High-speed protocols deplete the power supply faster. If there is no need for high speed, then such protocols can be discarded immediately.

There may be situations where several protocols will give the same results. In this case, system developers must decide which one to use.

Keywords: Internet, Internet of Things, network, IoT devices, computer system.

Постановка проблеми

Розвиток технологій призвів до появи систем розумного будинку, що мають підключення до мережі Інтернет. Компоненти таких систем отримали назву IoT пристрої або пристрої Інтернету речей.

Для обміну даними у таких мережах використовується дротове або бездротове з'єднання. При використанні бездротового з'єднання можливе використання енергоефективних пристроїв, що мають власне джерело живлення. Це можуть бути акумулятори або одноразові батареї.

Проблемою таких пристроїв є час, за який джерело живлення буде виснажене. Це накладає обмеження на протоколи обміну даними, що використовуватимуться у системі.

Обмін даними буде постійно виснажувати джерело живлення, що може призвести до постійної необхідності підзарядки акумуляторів або заміни батарей. Постійне оновлення нівелює можливість роботи системи незалежно від людини, що є головною концепцією IoT систем, за якою система працює в автоматичному режимі без втручання людини.

Система в автоматичному режимі отримує дані з IoT пристроїв, виконує обробку даних та відправляє команди на пристрої для підтримки комфортного існування людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [1] приводиться дослідження оптимізації енерговитрат при використанні IoT систем. Впровадження різних видів відновлюваних джерел енергії потребує децентралізованих систем керування енергетичних систем. Для цього можливе використання IoT систем, які відповідатимуть за окремі ділянки енергосистем, а також матимуть обов'язкові центри централізованого керування.

У роботі [2] виконано дослідження для прогнозування енерговитрат систем, що використовують IoT пристрої, до 2025 року. Виділено 4 основних напрямки пристроїв, на які приходяться основні енерговитрати: системи освітлення з віддаленим керуванням, камери безпеки, шлюзи керування та аудіосистеми.

Для IoT систем рекомендується зменшення показників енергоспоживання для відповідності стандарту MEPS (Minimum Energy Performance Standards), або угоди про використання стандартів низької потужності у бездротових мережах.

У роботі [3] приведено аналіз сенсорів IoT пристроїв на основі енерговитрат під час роботи. Згідно з отриманими результатами необхідно виконати аналіз програмного забезпечення на відповідність потребам IoT системи, що може дозволити зменшити енерговитрати, оскільки не будуть виконуватися непотрібні дії. Для аналізу використано протокол LoRa та платформа Arduino.

У роботі [4] приведено аналіз залежності безпеки IoT систем від енерговитрат системи. У сучасних енергоефективних системах вузли IoT мають обмежені ресурси для підтримки безпеки обміну даними. Через це необхідне дослідження протоколів безпеки, що не будуть навантажувати пристрої з обмеженими ресурсами.

В роботі [9] проводиться аналіз протоколів структури даних. Мінімальний обсяг даних для передачі має протокол CoAP, але протокол вимагає постійного очікування підключення для оновлення даних, що збільшує енерговитрати. Протокол MQTT потребує додаткової передачі пакету даних, але на це витрачається менша кількість енергії, ніж на постійну підтримку підключення від центру обробки.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження проблем енерговитрат у системах з IoT пристроями, які мають власні джерела живлення обмеженого обсягу, що може призвести до нерентабельності використання системи.

Викладення основного матеріалу дослідження

Інтернет речей (IoT, Internet of Things) - це комп'ютерна система, що об'єднує у собі фізичні об'єкти, які мають вбудовані датчики та програмне забезпечення, за допомогою комп'ютерних мереж.

Основним призначенням такої системи є автоматизація процесів для забезпечення комфорту існування людини, без втручання самої людини у систему.

Система має власний центр обробки даних для забезпечення перевірки даних, що отримані від пристроїв збору даних, для відправки команд керування на пристрої виконання. На рисунку 1 зображена схема взаємодії у системі Інтернету речей.

Процес передачі даних між IoT пристроями та центром обробки вимагає значних енерговитрат, що формує проблему швидкого виснаження джерела живлення.

За зоною покриття IoT системи можна розділити на три категорії:

- Персональні - зона покриття радіусом до 10 метрів. Дозволяє об'єднувати IoT пристрої в межах кімнати.
- Бездротові мережі - зона покриття до 100 метрів. Об'єднує пристрої в межах будинку.
- Мережі з великомасштабним розгортанням - дозволяють виконувати передачу даних на відстань у декілька кілометрів, що може покрити частину або усе місто.

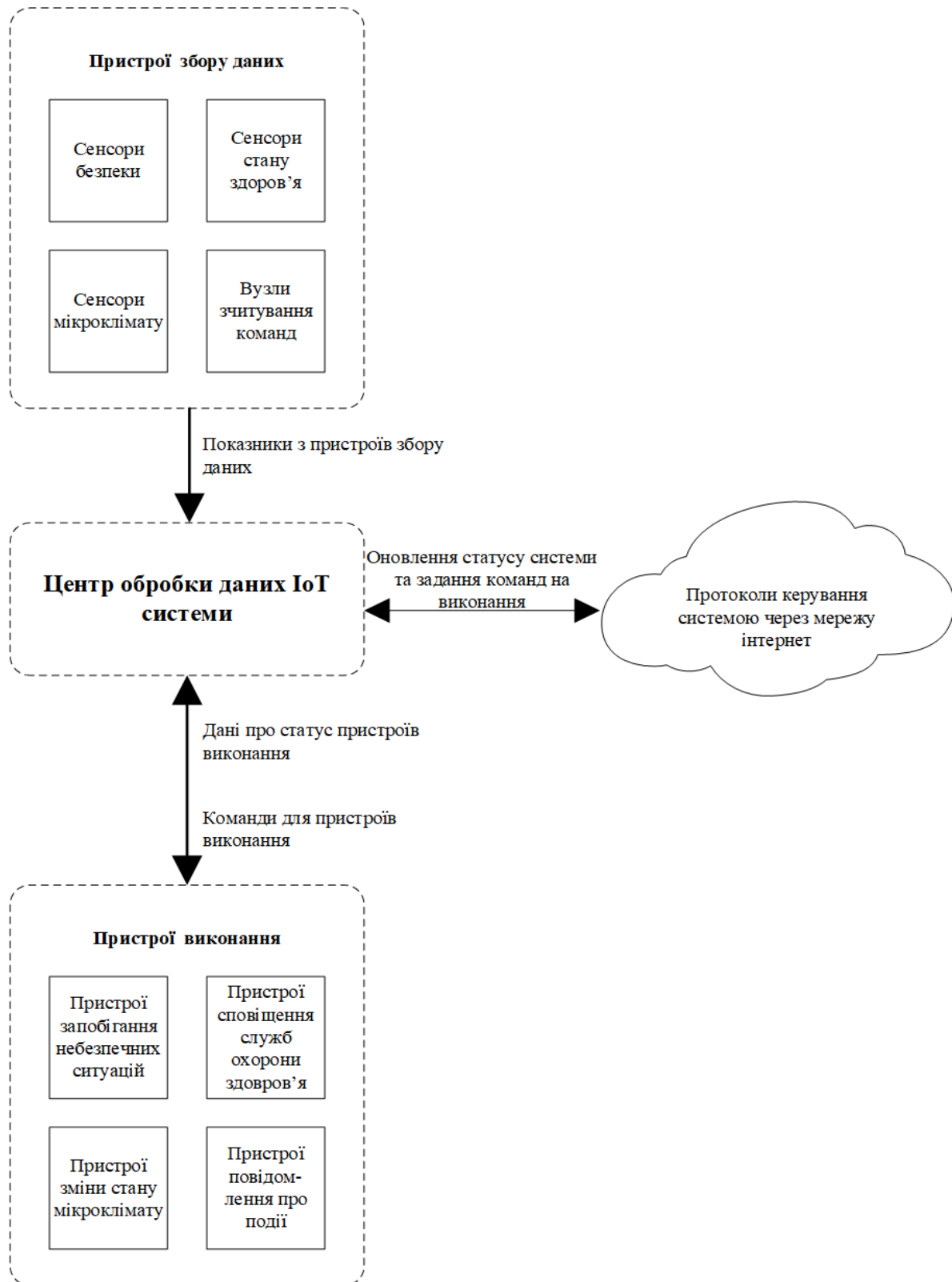


Рис 1. Взаємодія у системі Інтернету речей

У мережах з великомасштабним розгортанням сенсорних вузлів або медичних імплантатів термін служби IoT пристроїв повинен становити місяці або роки. У деяких умовах експлуатації часта заміна батарей стає дорогою і недоцільною, або неможливою. Тому з метою економії енергії пристрої (наприклад, сенсорні вузли) зазвичай функціонують з дуже коротким робочим циклом і більшу частину часу перебувають в режимі очікування або в сплячому режимі, активуючись лише при необхідності або відповідно до розкладу.

У високопродуктивних пристроях і шлюзах на процесор, дисплей і бездротові модулі припадає велика частина загального енергоспоживання. Ці пристрої оснащені кількома бездротовими інтерфейсами, і найчастіше вони для виконання більш складних завдань обробки повинні перебувати в активному режимі.

Для вирішення цієї проблеми необхідно при формуванні системи проводити аналіз даних, що будуть передаватися у системі, та площі території, на якій працюватиме система. На основі отриманих даних обираються протоколи, за якими працюватиме система, з оптимальним часом активності IoT пристроїв.

Протоколи, які використовуються у IoT системах, можна розділити на дві категорії:

- 1) Протоколи передачі сигналів.
- 2) Протоколи структури даних.

При розробці системи необхідно використовувати обидві категорії. Протоколи передачі сигналів визначають середовище передачі даних, частотні характеристики сигналів, методи кодування даних, структуру пакетів даних.

Протоколи структури даних визначають метод опису даних для швидкого відокремлення одних даних від інших під час обробки.

До протоколів передачі сигналів відносяться:

- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- NB-IoT (Narrow Band Internet of Things);
- ZigBee;
- MeshLogic;
- 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks);
- WirelessHART (Wireless Highway Addressable Remote Transducer Protocol);
- інші.

Кожен з протоколів має опис методу з'єднання між пристроями для передачі даних, швидкісні характеристики, відстань передачі.

До протоколів структури даних відносяться:

- HTTP (HyperText Transfer Protocol);
- SOAP (Simple Object Access Protocol);
- XMPP (eXtensible Messaging and Presence Protocol);
- STOMP (Streaming Text Oriented Messaging Protocol);
- CoAP (Constrained Application Protocol);
- MQTT (Message Queue Telemetry Transport);
- MQTT-SN (Message Queue Telemetry Transport for Sensor Networks);
- Протоколи власної розробки.

У деяких випадках під час розробки системи може з'явитися необхідність спеціалізованого опису даних під час передачі. Це може зменшити час передачі та покращити енергоефективність.

Правильна комбінація протоколів дозволяє уникнути проблем з енергоефективністю під час обміну даними.

Деякі з протоколів вимагають постійної підтримки з'єднання IoT пристрою з системою. Якщо система не повинна негайно реагувати на зміни стану, то протоколи з постійним з'єднанням лише виснажуватимуть джерело живлення.

Процес вибору протоколів відображено на рисунку 2.

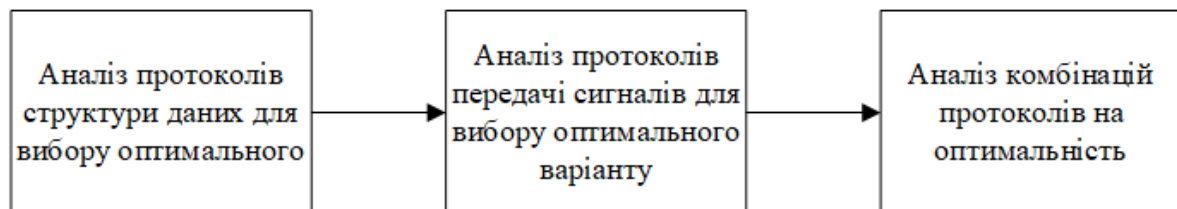


Рис 2. Процес вибору протоколів

Можливі ситуації, коли декілька протоколів будуть давати однакові результати. У такому випадку вже розробники системи мають вирішувати, який використовувати.

У таблиці 1 приведено відстань передачі, час виснаження джерела живлення, швидкість передачі та об'єм пакету даних для протоколів передачі сигналів.

Таблиця 1

Теоретичний час роботи IoT пристроїв [5-8]

Протокол	Відстань передачі	Час виснаження джерела живлення	Швидкість передачі	Об'єм пакету даних
Wi-Fi	< 100 м.	декілька місяців	2 Гбіт/сек.	32 байта
Bluetooth	< 50 м.	декілька місяців	24 Мбіт/сек.	7 байт
NB-IoT	< 50 км.	1-2 роки	250 Кбіт/сек.	7 байт
ZigBee	< 100 м.	5-10 роки	250 Кбіт/сек.	31 байт
MeshLogic	< 100 м.	4-7 років	250 Кбіт/сек.	31 байт
6LoWPAN	< 800 м.	декілька місяців	250 Кбіт/сек.	31 байт
WirelessHART	< 255 м.	4-10 років	250 Кбіт/сек.	31 байт

Представлені дані спираються лише на теоретичний розрахунок часу роботи під час проектування протоколів.

При виборі протоколу для IoT системи важливо визначити періодичність передачі даних. Якщо система потребує частішої передачі даних, то час виснаження джерела живлення може бути набагато меншим. Для таких випадків потрібне централізоване постійне живлення, або джерела живлення з можливістю поновлення без втручання людини. Це може бути, наприклад, сонячна енергія. Якщо на IoT пристрій потрапляє сонячне світло, то можливе поновлення запасів енергії для збільшення часу роботи.

На основі даних таблиці 1 побудована порівняльна діаграма характеристик протоколів передачі сигналів. Діаграма відображена на рисунку 3.

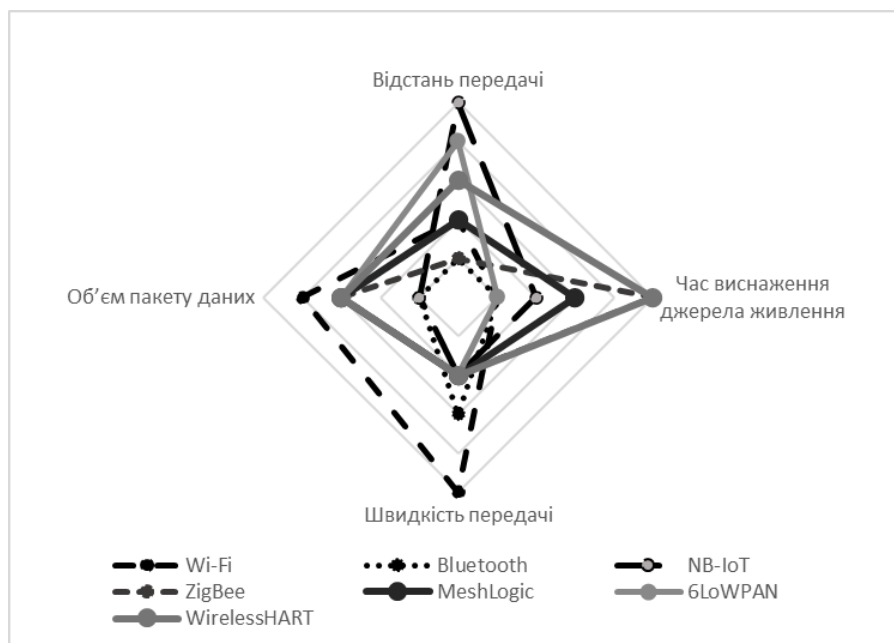


Рис 3. Діаграма характеристик протоколів передачі сигналів

Згідно з діаграмою на рисунку 3 деякі протоколи, такі як: Wi-Fi, Bluetooth та 6LoWPAN, мають досить малий час роботи відносно інших. Це пов'язано зі швидкістю передачі даних цих протоколів та технічних даних у пакетах. Збільшення швидкості та велика кількість технічних даних зменшує час роботи від акумуляторів та батарей.

В деяких випадках велика швидкість необхідна, оскільки можливий потік великої кількості даних (наприклад, відеоспостереження). Але більшість датчиків передають невелику кількість даних, тому великі швидкості їм не потрібні, що дозволяє відкидати швидкі енерго- неефективні протоколи.

Висновки

Проблема енергоефективності IoT систем потребує правильного вибору протоколів обміну даними під час проектування системи. При неправильному виборі виникне проблема заміни джерел живлення у IoT пристроїв. Часті заміни джерел живлення значно підвищують вартість обслуговування такої системи, що може зробити її нерентабельною у використанні.

Список використаної літератури

1. Naser Hossein Motlagh, Mahsa Mohammadrezaei, Julian Hunt, Behnam Zakeri. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies*. 2020. Vol. 13(2). p. 27.
2. Rainer Kyburz. Energy Efficiency of the Internet of Things. *IEA 4E EDNA*. 2016. p. 23.
3. Toni Perković, Slaven Damjanović, Petar Solić, Luigi Patrono, and Joel J.P.C. Rodrigues. Meeting Challenges in IoT: Sensing, Energy Efficiency, and the Implementation. *Fourth International Congress on Information and Communication Technology*. 2020. p. 419-430.
4. Shreyas Sen, Jinkyu Koo, Saurabh Bagchi. TRIFECTA: Security, Energy Efficiency, and Communication Capacity Comparison for Wireless IoT Devices. *IEEE Internet Computing*. 2018. Vol. 22, Issue 1. p. 74-81.
5. Yasin Kabalci, Ersan Kabalci, Sanjeevikumar Padmanaban, Jens Bo Holm-Nielsen, Frede Blaabjerg. Internet of Things Applications as Energy Internet in Smart Grids and Smart Environments. *Electronics*. 2019. № 8. p. 27.
6. Lee, J.S., Dong, M.F., Sun, Y.H. A preliminary study of low power wireless technologies: ZigBee and Bluetooth low energy. In *Proceedings of the 2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 15–17 June 2015, Auckland, 2015. p. 135-139.
7. Tran Duc Chung, Rosdiazli Ibrahim, Vijanth Sagayan Asirvadam, Nordin Saad, Sabo Miya Hassan. Energy Consumption Analysis of WirelessHART Adaptor for Industrial Wireless Sensor Actuator Network. *2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016*, 17-20 December 2016, Tokyo, Japan. Tokyo, 2016. p. 8.
8. Ardiansyah Musa Efendi, Seungkyo Oh, Ali Fahmi Perwira Negara, Deokjai Choi. Battery-Less 6LoWPAN-Based Wireless Home Automation by Use of Energy Harvesting. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2013. № 4. p. 8.
9. Іванчук О.В., Завгородній В.В., Козел В.М., Дроздова Є.А. Аналіз протоколів обміну даними для керування системами інтернету речей. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. № 31. С. 99-104.

References

1. Naser Hossein Motlagh, Mahsa Mohammadrezaei, Julian Hunt, Behnam Zakeri. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies*, 2020, no.13(2), p. 27. doi: 10.3390/en13020494 .
2. Rainer Kyburz. Energy Efficiency of the Internet of Things. *IEA 4E EDNA*, 2016, p. 23.
3. Toni Perković, Slaven Damjanović, Petar Solić, Luigi Patrono, and Joel J.P.C. Rodrigues. Meeting Challenges in IoT: Sensing, Energy Efficiency, and the Implementation. *Fourth International Congress on Information and Communication Technology*, 2020, pp. 419-430/ doi: 10.1007/978-981-15-0637-6_36 .
4. Shreyas Sen, Jinkyu Koo, Saurabh Bagchi. TRIFECTA: Security, Energy Efficiency, and Communication Capacity Comparison for Wireless IoT Devices. *IEEE Internet Computing*, 2018, no. 22, p. 74-81. doi: 10.1109/MIC.2018.011581520 .
5. Yasin Kabalci, Ersan Kabalci, Sanjeevikumar Padmanaban, Jens Bo Holm-Nielsen, Frede Blaabjerg. Internet of Things Applications as Energy Internet in Smart Grids and Smart Environments. *Electronics*, 2019, no. 8, p. 27.
6. Lee, J.S., Dong, M.F., Sun, Y.H. A preliminary study of low power wireless technologies: ZigBee and Bluetooth low energy. In *Proceedings of the 2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2015, pp. 135-139.
7. Tran Duc Chung, Rosdiazli Ibrahim, Vijanth Sagayan Asirvadam, Nordin Saad, Sabo Miya Hassan. Energy Consumption Analysis of WirelessHART Adaptor for Industrial Wireless Sensor Actuator Network. *2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016*, 2016, p. 8. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.215 .
8. Ardiansyah Musa Efendi, Seungkyo Oh, Ali Fahmi Perwira Negara, Deokjai Choi. Battery-Less 6LoWPAN-Based Wireless Home Automation by Use of Energy Harvesting. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013, no. 4, p. 8. doi: 10.1155/2013/924576 .
9. Ivanchuk O.V., Zavgorodii V.V., Kozel V.M., Drozdova Ye.A. Analiz protokoliv obminu danymy dlia keruvannia systemamy internetu rechei [Analysis of data exchange protocols for managing Internet of Things systems]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky - Scientific notes of TNU named after VI Vernadsky. Series: Technical Sciences*, 2020, no.2(31). pp. 99-104. doi: 10.32838/2663-5941/2020.2-1/15 .