

К.т.н., доцент Боярінова Ю.Є., магістрантка Віннікова У.В.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

МЕТОДИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У ПРИСТРОЯХ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Abstract

Yuliia Boiarinova, associate professor, PhD; Uliana Vinnikova, student
Methods of data transmission in environmental monitoring devices

Modern information technologies are increasingly developing in the direction of creating intelligent systems capable of independently responding to changes in the environment. One of the key areas is the concept of a “smart home” based on the Internet of Things technology. Thanks to the interaction of a large number of sensors, controllers, and communication devices, such systems provide continuous monitoring of environmental parameters, increasing comfort, energy efficiency, and safety of housing.

In monitoring systems, data is often transmitted at high frequency, leading to excessive use of network resources, increased delays, and higher energy consumption. This problem is particularly important for wireless IoT devices with limited power supply capabilities, where the balance between measurement accuracy and system resources is of great importance. In view of this, it is important to develop and improve methods of information transmission that allow the volume of data to be reduced without losing its content. Rational ways of organizing the communication process, including optimizing transmission frequency, pre-processing data, and using compression mechanisms, ensure stable operation of monitoring systems even in conditions of limited resources. This creates the basis for improving the efficiency of smart home management systems, which rely on accurate and timely data sent by sensors.

Вступ

Сучасні інформаційні технології все більше розвиваються у напрямку створення інтелектуальних систем, здатних самостійно реагувати на зміни в оточуючому середовищі. Одним із ключових напрямків є концепція «розумного будинку», що базується на технології Інтернету речей. Завдяки взаємодії великої кількості датчиків, контролерів і комунікаційних пристроїв, такі системи забезпечують постійний моніторинг параметрів середовища, підвищуючи комфорт, енергоефективність та безпеку житла.

У системах моніторингу дані часто передаються з високою періодичністю, що призводить до надмірного використання мережевих ресурсів, збільшення затримок і підвищення споживання енергії. Особливо важливою ця проблема є для бездротових IoT-пристроїв з обмеженими можливостями енергопостачання, де баланс між точністю вимірювань і

ресурсами системи має велике значення. З огляду на це, актуальною є розробка та покращення методів передачі інформації, які дозволяють зменшити обсяг даних без втрати їх змісту. Раціональні способи організації процесу комунікації, включно з оптимізацією періодичності передачі, попередньою обробкою даних та використанням механізмів стиснення, забезпечують стабільну роботу систем моніторингу навіть в умовах обмежених ресурсів. Це створює основу для підвищення ефективності систем управління розумним будинком, які спираються на точні та вчасні дані, які надсилають сенсори.

Постановка задачі

Метою дослідження є аналіз і порівняння основних сучасних підходів до передачі даних у пристроях моніторингу навколишнього середовища для систем «розумного дому». Проведений аналіз різних методів передачі даних дає змогу не тільки порівняти їх між собою за певними ознаками, а й створити найбільш оптимальний варіант передачі даних, враховуючи їх важливість та енергоспоживання.

Актуальність теми зумовлена стрімким зростанням кількості IoT-пристроїв, які здійснюють моніторинг параметрів середовища за різними характеристиками. Такі пристрої формують значні потоки даних, що передаються до обчислювальних центрів для подальшої обробки. Без застосування ефективних методів передачі та попередньої обробки інформації це призводить до перевантаження мережі, збільшення енергоспоживання і зниження продуктивності системи в цілому.

Аналіз існуючих способів

Передача даних у реальному часі

Передача даних в реальному часі – це процес миттєвого обміну інформацією між пристроями або системами, коли дані генеруються або надходять практично без затримок. Такий підхід забезпечує безперервний оперативний зв'язок, який особливо важливий для сфер, де швидка обробка інформації є критичною. Суть передачі даних в режимі реального часу полягає в забезпеченні швидкої взаємодії між частинами системи, що дає змогу оперативно реагувати на зміни та приймати рішення майже відразу після отримання даних.

Передача даних в реальному часі має важливе значення в різних областях, де точність і швидкість реакції визначають ефективність роботи. Наприклад, в телекомунікаційних мережах, автоматизованих системах управління, фінансових платформах, моніторингу навколишнього середовища. Це дозволяє не тільки відстежувати стан об'єктів в реальному часі, але й запобігати критичним ситуаціям, вчасно виявляючи відхилення від норми.

Завдяки здатності передавати інформацію миттєво, технологія передачі даних в реальному часі може бути основою для створення адаптивних та інтелектуальних систем управління. Вона дозволить автоматизованим рішенням реагувати на динамічні зміни у зовнішньому середовищі, ринкових умовах або запитах користувачів, забезпечуючи стабільність і безперервність процесів [1].

Алгоритм агрегації даних

Агрегація даних є ключовим кроком у передачі інформації через мережі IoT. Це включає збір значної кількості показників з різних датчиків та їх узагальнення, щоб зменшити обсяг переданих даних та покращити продуктивність системи. Такий підхід дає змогу зводити інформацію з багатьох джерел у більш лаконічні та зрозумілі форми, зберігаючи важливі характеристики вимірювань.

Агрегація може відбуватися як безпосередньо на пристрої збору даних, так і на проміжному вузлі, що зменшує навантаження на мережу. На практиці це означає, що пристрій не надсилає кожне окреме вимірювання, а формує підсумкове повідомлення, наприклад, середнє значення за певний період часу або статистичний показник. Це знижує кількість переданих пакетів і, відповідно, споживання енергії пристроями. При безперервному зборі великої кількості показників з датчиків, мережа може бути перевантажена, що спричинить затримки або втрату даних. Застосування методів об'єднання дозволяє мінімізувати ці ризики, забезпечуючи достатню актуальність і точність передаваних даних [2].

Метод дельта-кодування

Дельта-кодування – спосіб збереження або передачі даних, який базується на передачі не всієї зібраної інформації, а лише різниць між наступними значеннями. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити обсяг інформації, що передається, що особливо важливо для IoT-пристроїв з обмеженими можливостями, які постійно реєструють зміни параметрів навколишнього середовища.

Основна ідея цього методу полягає у фіксації лише тих змін, які відбулися з моменту останнього вимірювання. Наприклад, якщо температура збільшилась з 12 °C до 13 °C, передається лише різниця (+1), а не повне нове значення. Це дозволяє скоротити розмір пакетів, що передаються, зменшити навантаження на мережу та заощадити енергію пристроїв.

У практичних випадках дельта-кодування використовується не лише для зменшення обсягу трафіку, але й для оптимізації зберігання інформації. Архіви вимірювань можуть містити лише змінені значення, що значно знижує вимоги до пам'яті. Цей принцип часто використовується в системах контролю версій або базах даних, де зберігаються лише оновлення між

записами. Аналогічно в системах інтелектуального будинку дані з датчиків можуть накопичуватися локально у вигляді різниці та передаватися на сервер лише при досягненні певного рівня змін[3].

Метод кодування повторів

Метод кодування повторів (Run-Length Encoding, RLE) належить до класу алгоритмів безвтратного стиснення даних, суть яких полягає у заміні послідовностей однакових елементів на поєднання самого значення та кількості його повторів. Цей метод демонструє найвищу ефективність при роботі з даними, що містять тривалі повтори, проте у випадках, коли дані мають велику кількість унікальних значень і не містять довгих серій, використання даного методу може навіть збільшити розмір файлу, оскільки для кожного елемента потрібно зберігати додаткову інформацію про кількість його повторів.

Обчислювальна складність методу RLE є лінійною, $O(n)$, де n - розмір вхідних даних. Процес стиснення полягає у послідовному скануванні вхідних даних, підрахунку кількості однакових елементів та запису їх у вигляді пари "значення - кількість". Це створює компактне представлення даних, зберігаючи повну інформацію та зменшуючи обсяг необхідної пам'яті або трафіку. Наприклад, послідовність значень температури [12, 12, 12, 13, 13] може бути закодована як [(12, 3), (13, 2)], що означає три повторення значення 12 °C та два повторення значення 13 °C. Такий підхід може бути корисним для оптимізації зберігання показників датчиків, особливо коли параметри змінюються повільно або залишаються стабільними протягом часу[4].

Метод порогової передачі даних

Метод порогової передачі даних - це підхід до управління комунікацією в IoT-системах, який передбачає, що сенсор надсилає дані лише тоді, коли певний параметр виходить за межі заздалегідь визначеного порогу. Цей підхід особливо корисний для пристроїв з обмеженим живленням, оскільки дозволяє зменшити обсяг зайвих передач, знижуючи таким чином навантаження на мережу та одночасно зберігаючи важливу інформацію для управління системою "розумний дім".

Принцип роботи цього методу полягає у встановленні індивідуальних значень для кожного датчика або типу даних. Датчик продовжує регулярно проводити вимірювання, але надсилає повідомлення лише в тому випадку, коли відхилення від останнього зареєстрованого значення перевищує заданий поріг. Наприклад, якщо зміна температури не перевищує $\pm 0,3$ °C, вона вважається незначною і передача не відбувається. Лише у разі перевищення цього значення система відправляє оновлену інформацію. Таким чином, з послідовності даних [12, 12, 12, 13, 13] буде передано лише

значення "13", оскільки воно є першим, що виходить за межі встановленої межі.

Ефективність використання цього методу залежить від правильного вибору порогових значень. Якщо поріг буде занадто низьким, система працюватиме як при періодичній передачі даних. Якщо ж він буде занадто високим, можна пропустити важливі зміни. В умовах, що постійно змінюються, може знадобитися адаптація порогових значень за допомогою алгоритмів машинного навчання або оптимізаційних технік, що дозволяють автоматично налаштовувати пороги відповідно до змін в даних [5].

Висновки

Аналіз сучасних підходів до передачі даних у системах моніторингу "розумного дому" демонструє, що продуктивність цих систем суттєво залежить від вибору найкращої стратегії обміну інформацією. Досліджені методи мають свої сильні та слабкі сторони, які впливають на прийнятність їх застосування в різних умовах роботи.

Такі підходи, як дельта-кодування, агрегація та кодування повторень, дають змогу значно скоротити обсяг переданої інформації, зменшити навантаження на мережу та підвищити енергоефективність системи без відчутної втрати точності. Вони є особливо дієвими, коли зміни параметрів середовища відбуваються поступово або мають циклічний характер. Водночас, передача в реальному часі гарантує найвищу оперативність даних, проте потребує більших ресурсів, що не завжди підходить для енергозалежних IoT-пристроїв.

Метод порогової передачі даних є найбільш оптимальним варіантом серед розглянутих, оскільки поєднує точність і енергозбереження. Завдяки вибірковій передачі лише важливих змін параметрів, він дозволяє запобігти надмірному обміну даними, зберігаючи при цьому високу інформативність системи.

Література

1. Real-Time Data Transmission: Benefits and Applications. *ZINFI Technologies, Inc.* URL: <https://www.zinfi.com/glossary/what-is-real-time-data-transmission> (date of access: 02.11.2025).
2. What is Data Aggregation?. *PagerDuty*. URL: <https://www.pagerduty.com/resources/monitoring/learn/what-is-data-aggregation> (date of access: 02.11.2025).
3. Contributors to Wikimedia projects. Delta encoding - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_encoding (date of access: 02.11.2025).

4. Contributors to Wikimedia projects. Run-length encoding - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Run-length_encoding (date of access: 02.11.2025).
5. Vijaya Krishna A., Anny Leema A. ETM-IoT: Energy-Aware Threshold Model for Heterogeneous Communication in the Internet of Things. *Computers, Materials & Continua*. 2022. Vol. 70, no. 1. P. 1815–1827. URL: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.018455> (date of access: 02.11.2025).