

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ІЗ ВИПАДКОВИМ ДОСТУПОМ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У дослідженні розглянуто системи Інтернету речей (IoT) із випадковим доступом, значною кількістю пристроїв та залежними джерелами даних. Основний акцент зроблено на аналізі їхніх характеристик і розробці моделей для підвищення ефективності роботи таких систем. Запропоновано класифікацію моделей IoT-систем із залежними джерелами, визначено ключові параметри їхнього функціонування та сформульовано узагальнені припущення. Отримані результати сприяють підвищенню ефективності IoT-систем шляхом оптимізації їхньої продуктивності та зменшення затримок у передаванні даних.

Ключові слова: Інтернет речей, випадковий доступ, система моніторингу, оптимізація сенсорних мереж, LoRa, ефективність передачі даних.

Abstract

The study considers Internet of Things (IoT) systems with random access, a large number of devices, and dependent data sources. The main focus is on analysing their characteristics and developing models to improve the efficiency of such systems. A classification of models of IoT systems with dependent sources is proposed, key parameters of their functioning are identified, and generalised assumptions are formulated. The results obtained help to improve the efficiency of IoT systems by optimising their performance and reducing delays in data transmission.

Keywords: Internet of Things, random access, monitoring system, optimisation of sensor networks, LoRa, data transmission efficiency.

Вступ

На сьогоднішній день системи Інтернету речей стрімко набирають популярність у різних сферах. Вони вже активно застосовуються в промисловості, сільському господарстві, медицині та «розумних» будинках. Одним із найпоширеніших сценаріїв використання Інтернету речей є масова міжмашинна комунікація. Цей підхід передбачає взаємодію великої кількості малопотужних пристроїв і є основою для більшості сучасних систем моніторингу [1].

Метою роботи є удосконалення якості роботи систем Інтернету речей шляхом врахування залежності даних від різних джерел.

Результати дослідження

У сучасних системах моніторингу широко використовується механізм випадкового множинного доступу (ВМД) пристроїв до спільного каналу зв'язку. При визначенні оптимальної кількості пристроїв, необхідної для забезпечення своєчасної доставки даних та підтримки якості роботи системи, виникає суперечність. З одного боку, збільшення кількості пристроїв підвищує ймовірність виявлення подій, але, з іншого боку, це призводить до зростання конфліктів у каналі зв'язку, що знижує ефективність передачі даних і може погіршити роботу системи моніторингу [2].

Для вирішення цієї проблеми можна враховувати той факт, що пристрої, розташовані поруч, часто виявляють одні й ті ж події. Це означає, що дані від сусідніх пристроїв можуть розглядатися як залежні джерела інформації. Врахування цієї залежності дозволяє покращити якість роботи систем моніторингу. Однак на даний момент відсутні моделі, які досліджують вплив залежності даних між пристроями на оперативність доставки інформації та інші параметри якості роботи системи [3].

Отже, проблема підвищення якості систем Інтернету речей з урахуванням залежності даних між пристроями є актуальною. Сценарій масової міжмашинної комунікації та системи моніторингу на основі концепції Інтернету речей досліджували вчені, зокрема F. Van den Abeele, Y. H. Bae, H. Chen, J. Choi, J. Feng, Y. Jia, A. Munari, P. Popovski, H. T. Reda та інші [4-6].

У дослідженнях сценарію масової міжмашинної комунікації можна виділити два основні напрями.

Перший – це системи моніторингу з потенційно необмеженою кількістю пристроїв, де їх кількість може змінюватися випадковим чином. Другий – це системи з фіксованою кількістю пристроїв, яка залишається незмінною в процесі роботи. Питання стабільності систем з випадковим множинним доступом та необмеженою кількістю пристроїв досліджували J. Carpanakis, B. Hajek [7]. Було показано, що такі системи можуть забезпечувати кінцеву середню затримку при інтенсивності вхідного потоку меншій за e^{-1} . Однак, якщо інтенсивність перевищує цей рівень, затримка зростає необмежено, що робить систему нестабільною [8].

Дослідження систем ВМД ведеться вже тривалий час, тоді як системи із залежними джерелами інформації почали вивчати відносно недавно. Поняття середнього віку інформації як показника якості обслуговування було вперше сформульоване у роботах S. K. Kaul, R. D. Yates, M. Gruteser, Y. Sun [9]. Аналіз середнього віку інформації в системах випадкового множинного доступу, включаючи системи Інтернету речей, проводили A. Munari, J. Feng, D. Fiems, S. Asvadi, D. S. Atabay, H. Chen, Y. H. Bae, H. Wang, Q. Abbas [10]. Окремо A. Zancanaro досліджував середній вік інформації в системах із залежними джерелами [11], проте для систем із множинним виходом такі дослідження не проводилися. Сценарії масової міжмашинної комунікації з фіксованою кількістю пристроїв були розглянуті в роботах H. T. Reda, Y. Jia, M. Ragnolli, F. Van den Abeele, F. H. Khan, P. Popovski, J. Choi, L. Chetot, P. Agostini [12, 13]. Системи моніторингу на базі LoRa також аналізували H. T. Reda, Y. Jia, M. Ragnolli, F. Van den Abeele та F. H. Khan [14]. Проте у цих дослідженнях не розглядалися моделі з залежними джерелами даних, враховуючи особливості LoRa. У роботах P. Popovski, J. Choi, L. Chetot, P. Agostini вивчалися моделі систем із фіксованою кількістю пристроїв і залежними джерелами, але без урахування особливостей конкретної технології [15]. Основні результати цих досліджень отримані за допомогою імітаційного моделювання.

Таким чином, на сьогоднішній день існують два основні напрями досліджень систем Інтернету речей із випадковим доступом і залежними джерелами: системи з випадковою та потенційно необмеженою кількістю пристроїв; системи з фіксованою кількістю пристроїв.

Між цими двома напрямками відсутній зв'язок у вигляді єдиної моделі, що враховувала б залежність даних між пристроями, а також дослідження впливу цієї залежності на показники якості роботи таких систем.

Розглянуті в рамках дослідження моделі можуть бути використані для теоретичного аналізу систем Інтернету речей із випадковим доступом і залежними джерелами даних. Запропоновані методи оцінки середньої затримки та середнього віку інформації в системах із появою абонентів, а також методика вибору кількості сенсорів у системах із виявленням подій дають змогу оцінювати якість роботи як уже існуючих систем Інтернету речей, так і тих, що перебувають на етапі розробки.

Висновки

У дослідженні розглядаються системи Інтернету речей, що базуються на випадковому множинному доступі, містять велику кількість пристроїв і мають залежні джерела даних. Основна увага приділена аналізу характеристик таких систем з метою підвищення якості їхньої роботи. Проведено порівняльний аналіз досліджень, присвячених системам Інтернету речей із залежними джерелами даних. На основі аналізу визначено два основні класи моделей для таких систем: моделі з появою абонентів та моделі з появою подій. Розроблено узагальнену систему припущень для обох класів та запропоновано спрощену модель, яка зберігає ключові властивості систем Інтернету речей із залежними джерелами, але є зручною для аналітичного аналізу. Доведено, що середній вік інформації, як і середня затримка, залишається скінченним незалежно від інтенсивності вхідного потоку. Визначено показник якості роботи систем моніторингу із залежними джерелами та розроблено метод оцінки цього показника. Запропоновано методику визначення наближеного до оптимального числа сенсорів з урахуванням параметрів системи. Запропоновані моделі дозволяють дослідити вплив урахування залежності даних між пристроями на підвищення якості роботи систем Інтернету речей, що функціонують за принципом випадкового множинного доступу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Age of information with collision-resolution random access / H. Pan, T. T. Chan, J. Li, V. C. Leung // IEEE Transactions on Vehicular Technology.- 2022. - Vol. 71, no. 10. - Pp. 11295-11300.

2. Age of Information for Frame Slotted Aloha / J. Wang, J. Yu, X. Chen et al. // IEEE Transactions on Communications. — 2023. — Vol. 71, no. 4. -Pp. 2121-2135.
3. LoRa-Based Wireless Sensors Network for Rockfall and Landslide Monitoring: A Case Study in Pantelleria Island with Portable LoRaWAN Access / M. Ragnoli, A. Leoni, G. Barile et al. // Journal of Low Power Electronics and Applications. — 2022. — Vol. 12, no. 3. — P. 47.
4. Feng, J. Low-Power Random Access for Timely Status Update: Packet-based or Connection-based? / J. Feng, H. Pan, T. T. Chan // arXiv preprint arX-w:2210.03962. - 2022.
5. Bae, Y. H. Age of information and throughput in random access-based IoT systems with periodic updating / Y. H. Bae, J. W. Baek // IEEE Wireless Communications Letters. — 2022. — Vol. 11, no. 4. — Pp. 821-825.
6. Scheduling schemes for age optimization in IoT systems with limited retransmission times / H. Wang, X. Xie, X. Li, J. Yang // IEEE Internet of Things Journal. - 2022. - Vol. 9, no. 21. - Pp. 21458-21468.
7. A comprehensive survey on age of information in massive IoT networks / Q. Abbas, S. A. Hassan, H. K. Qureshi et al. // Computer Communications. — 2022.- Vol. 197. - Pp. 199-213.
8. Age of Information in Internet of Things: A Survey / I. Kahraman, A. Kose, M. Koca, E. Anarim // IEEE Internet of Things Journal. — 2023.
9. The Age of Information in Wireless Cellular Systems: Gaps, Open Problems, and Research Challenges / E. Zhibankova, A. Khakimov, E. Markova, Y. Gaidamaka // Sensors. — 2023. — Vol. 23, no. 19. — P. 8238.
10. Zancanaro, A. Tackling Age of Information in Access Policies for Sensing Ecosystems / A. Zancanaro, G. Cusotto, L. Badia // Sensors. — 2023. -Vol. 23, no. 7. - P. 3456.
11. El Fehri, C. A New Schedule-Based Scheme for Uplink Communications in LoRaWAN / C. El Fehri, N. Baccour, I. Kammoun // IEEE Open Journal of the Communications Society. — 2023.
12. Fiems, D. Mean Value Analysis of the Age of Information in Slotted ALOHA / D. Fiems, A. Vinel // IEEE Communications Letters. — 2023.
13. Hu, Y. Asynchronous Random Access Systems With Immediate Collision Resolution For Low Power Wide Area Networks / Y. Hu, H. Jin, J. B. Seo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2023. — Pp. 1 - 16.
14. Chetot, L. Active User Detection and Channel Estimation for Grant-Free Random Access with Gaussian Correlated Activity / L. Chetot, M. Egan, J. M. Goree // IEEE 97th Vehicular Technology Conference (VTC2023-Spring). - 2023. - Pp. 1-6.
15. Asvadi, S. Peak Age of Information in Slotted ALOHA Networks / S. Asvadi, F. Ashtiani // IEEE Transactions on Communications. — 2023.

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Будаш Михайло Володимирович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mika@budash.dp.ua

Тарасович Денис Артемович — студент групи ПЗТ-23мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: evildickboss@gmail.com

Vasylykivskyi Mykola V. — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Budash Mykhailo V. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mika@budash.dp.ua

Tarasovych Denys A. - student of group TSS-23mc, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: evildickboss@gmail.com