

УДК 004.77

DOI: 10.31673/2412-9070.2024.051139

В. О. ЗАВАЦЬКИЙ, аспірант;

ORCID: 0009-0005-5297-4127

В. М. ДАНИЛЬЧЕНКО, PhD, доцент,

ORCID: 0009-0004-6839-2132

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

На початку 2000-х виникла ідея використовувати Інтернет для автоматизованого обміну даними між пристроями. З розвитком електроніки, здатної взаємодіяти за допомогою IP-протоколів, ця концепція трансформувалася у сучасне розуміння Інтернету речей (IoT). Сьогодні розвиток мереж відбувається стрімко, з'являються нові технології: повністю оптичні рішення для основи мереж, бездротові технології для полегшення доступу користувачів та впровадження датчиків у важкодоступних місцях, а також мережі IoT, які забезпечують комунікацію між пристроями [1]. Ця еволюція породжує нові наукові питання та виклики, зокрема, оптимізацію трафіку і підвищення ефективності інструментів. Часто вирішення цих завдань пов'язане з використанням графових моделей. Вивчення оптимізації в мережах є ключовим напрямком, оскільки мережі IoT генерують дедалі більше даних, що стає викликом для управління трафіком на рівні операторів.

IoT - це ідея підключення звичайних пристроїв до мережі Інтернет для обміну даними. Оптимізація IoT-мереж дає низку переваг, таких як поліпшений контроль трафіку, підвищена надійність, енергоефективність, зменшення затримок, збільшення пропускної здатності, а також прискорене розгортання нових пристроїв і сервісів. Пристрої з обмеженими ресурсами об'єднуються у мільярдні мережі IoT. Проблеми, такі як втрата пакетів, створюють додаткове навантаження на ці мережі. Тому важливо вирішувати різні питання, пов'язані з маршрутизацією, енергозбереженням, перевантаженнями, гетерогенністю, масштабованістю, надійністю та безпекою, щоб максимально ефективно використовувати наявні ресурси мереж IoT.

У статті представлено комплексне дослідження оптимізації мереж IoT. Дослідження є актуальним через постійне зростання кількості пристроїв, підключених до мережі IoT, які передають дані та вимагають значних енергетичних ресурсів для підтримки функціонування мереж. Безперерйна робота мереж та тривала робота систем збору даних без заміни батарей потребують постійного енергопостачання. Це створює необхідність у вдосконаленні методів взаємодії між вузлами великих мереж для підвищення енергоефективності та пришвидшення процесу обробки даних.

Ключові слова: оптимізація, Інтернет речей, маршрутизація, мережа, протокол, IPv4, IPv6.

Вступ

Враховуючи темпи зростання і різноманітність підключених пристроїв, перед операторами постає завдання зрозуміти, які наслідки це матиме для їхніх мереж, щоб забезпечити оптимальну продуктивність. Оператори потребують більш глибокого розуміння природи і можливостей терміналів.

Багато з нових класів терміналів мають дуже відмінну поведінку у мережі порівняно з традиційними мобільними телефонами, здатними передавати голос і дані. Як наслідок, оператори повинні мати можливість надійно сегментувати трафік, щоб розуміти закономірності і тенденції використання мережі. Це важливо з багатьох причин, у тому числі для подолання наступних специфічних викликів [2].

© В. О. Завацький, В. М. Данильченко, 2024

Системи IoT - це мережі пристроїв, які спілкуються та обмінюються даними через Інтернет. Вони можуть уможливити інтелектуальні додатки у різних сферах, таких як охорона здоров'я, сільське господарство, виробництво та транспорт. Однак системи IoT також ставлять перед телекомунікаційною інженерією багато викликів, таких як масштабованість, безпека, надійність та енергоефективність[3].

У наш час інженерні задачі пов'язані з багатьма цілями. В залежності від кількості цілей оптимізаційні задачі можна класифікувати на одно- та багатоцільові. У випадку одноцільової оптимізації легко знайти єдиний розв'язок, однак у випадку багатоцільової оптимізації отримати єдиний розв'язок стає дуже складно, оскільки цілі є досить суперечливими. Тому еволюційні та ройові алгоритми широко використовуються для вирішення таких проблем, коли простір пошуку дуже великий і проблема пов'язана з декількома суперечливими цілями. Сьогодні оптимізація є потужним інструментом роботи інженера практично у кожній дисципліні. Вона надає їм строгий, систематичний метод для швидкого знаходження найбільш інноваційних, економічно ефективних рішень для деяких з найскладніших проблем інженерного проектування сьогодення.

Основна частина

Оптимізація мереж Інтернету речей (IoT) стає дедалі актуальнішою через прогнозоване різке зростання трафіку, що генеруватиметься мільярдами пристроїв IoT, які будуть підключені до глобальної мережі у найближчі роки [4]. Отже, мережа IoT потребує оптимізації, щоб зменшити вплив цього трафіку на інші сервіси, які використовують стільниковий зв'язок та інші типи мереж. Якщо проблеми мережі не будуть вирішені, то дефіцит радіочастотного ресурсу стане перешкодою для подальшого розвитку IoT.

Багато пристроїв, підключених до мереж п'ятого покоління (5G), утворюють IoT, що забезпечує різноманітні сервісні додатки у «розумному місті». Надійна структура топології мережі, стійка до кібератак, є основою високонадійної якості послуг, особливо у мережах наступного покоління або за межами мереж 5G (B5G). Існуючі методи застосовують нейронні мережі з методами глибокого навчання з підкріпленням для покращення топології мережі. Однак зменшення унікальних обмежень на апаратні ресурси та застосування граничних інтелектуальних мережних можливостей термінальних вузлів є новими викликами для оптимізації надійності IoT з мережами 5G та B5G.

Надійна топологія мережі забезпечує багато прикладних сервісів для IoT з новими технологіями для мереж 5G і B5G. Сьогодні стабільна адаптивна надійна топологія особливо важлива через складність сценаріїв застосування і зміни вимог до мережних послуг, таких як інтелектуальне сільське господарство, «розумне місто», інтелектуальний транспорт і т.д. Завдяки великим швидкостям і високій пропускній здатності мереж 5G та B5G, можливе підключення великої кількості інтелектуальних сенсорних пристроїв, що призводить до формування високогетерогенного і складного IoT. Відмова деяких вузлів призводить до того, що ланцюг глобальної мережі має ефект колапсу, що робить глобальну мережу нездатною до комунікації.

Задача оптимізації зазвичай включає вхідні параметри, вихідні результати, обмеження та цільові функції. У контексті IoT-мереж оптимізація охоплює багато аспектів, які комбінуються за допомогою різних методів для вирішення конкретних мережних проблем. Виділяють два основних підходи до оптимізації:

1. Використання наявних систем для вирішення проблем.
2. Розробка нових рішень на основі евристичних методів.

Ці підходи часто поєднуються, коли задача є занадто складною або традиційні методи не дають належного результату. Евристичний підхід використовує алгоритми для швидкого наближення до розв'язку, особливо у випадках, коли опукла оптимізація та жадібний алгоритм можуть забезпечити найкращі результати за певних припущень. Обидва методи пропонують рішення складних задач і забезпечують продуктивність, близьку до оптимальної. Через складність мережних проблем IoT немає єдиного алгоритму, що може гарантувати найкращий результат для всіх випадків.

Пристрої IoT можуть підключатися до мережі у великих кількостях і в будь-який момент, що вимагає від мережі високої надійності та масштабованості. Крім того, одночасне використання кількох додатків створює додаткове навантаження на мережний трафік. Вузли можуть створювати пікове навантаження, коли передають дані при фіксації змін у середовищі. У випадку великих мереж необхідно запобігти перевантаженню та забезпечити ефективну маршрутизацію для мінімізації затримок і збереження енергії вузлів.

Оптимізація IoT-мереж стає дедалі актуальнішою через прогнозоване зростання кількості підключених пристроїв у найближчі роки. Мільярди нових пристроїв додаватимуть значні обсяги трафіку, що вимагатиме ефективних рішень для управління ним та оптимізації використання мережних ресурсів. Трафік IoT суттєво відрізняється від традиційних стільникових мереж через різноманітність програм і типів пристроїв. Важливо контролювати цей трафік для моніторингу роботи пристроїв і додатків IoT, оскільки повідомлення рівня управління створюють значні навантаження на мережу, не пов'язані безпосередньо з передаванням даних додатків.

Однією з основних проблем IoT-мереж є нерівномірне енергоспоживання вузлів, особливо у бездротових мережах. Через специфіку мережної топології деякі вузли, наприклад, центральні, можуть бути перевантажені через часте передавання даних та участь у маршрутизації. Це може призвести до сегментації мережі і скорочення її життєвого циклу.

Багато досліджень запропонували різноманітні підходи до оптимізації мереж IoT для забезпечення їхньої максимальної ефективності [5]. На рис. 1 представлена класифікація відповідних робіт, виконаних по кожному аспекту техніки оптимізації мережі, що відноситься до IoT. Оскільки нова технологія генерує величезні обсяги даних, питання зберігання, маршрутизації, повторного передавання пакетів, мобільності вузлів, взаємодії між гетерогенними пристроями та забезпечення безпеки стають критичними. Інтернет споживає близько 5% світової енергії, тому енергоефективність IoT-пристроїв є ключовою для підтримки надійного зв'язку. Розглянемо різні методи, що стосуються таких аспектів, як маршрутизація, енергозбереження, перевантаження, масштабованість, надійність, QoS та безпека для досягнення оптимізації IoT-мереж.

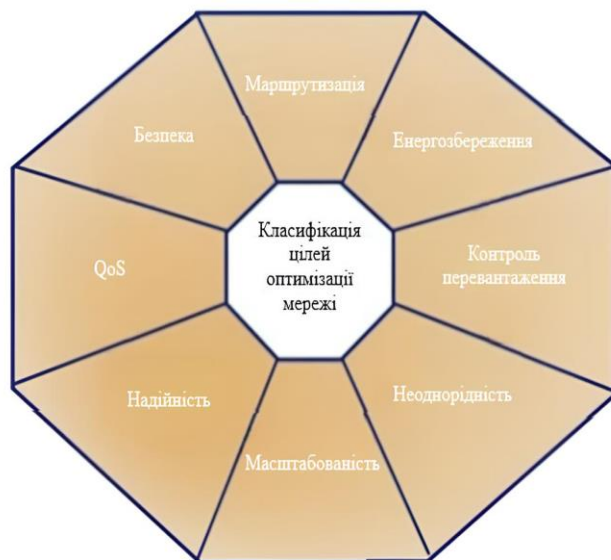


Рис. 1. Класифікація цілей оптимізації мережі в IoT

використання маршруту з мінімальною відстанню між вузлами або найкращою якістю зв'язку.

Тому, щоб вузли мережі могли передавати дані один одному, протокол маршрутизації повинен забезпечувати маршрут між ними, який він визначив. Оскільки мережа IoT дуже велика, що означає величезну кількість речей, надзвичайну складність мережі та обмеженість пристроїв у ресурсах; на маршрутизацію можуть впливати часті зміни топології та нерегулярне з'єднання, які створюють серйозні проблеми з маршрутизацією. IoT - це бездротова мережа, вузли якої вільно переміщуються. При недостатньому заряді батареї на продуктивність мережі

Алгоритми маршрутизації використовуються для визначення маршрутів, якими повинні слідувати дані і деякі властивості, такі як маршрути між вузлами повинні бути обрані таким чином, щоб дані досягали місця призначення найкращим чином.

На основі певних критеріїв найкращий шлях може бути визначений відповідно до вимог програми. Наприклад, пошук і використання маршруту з найнижчою наскрізною затримкою або найвищою пропускну здатністю є однією з дуже важливих метрик, в той час як іншою може бути

впливають збої вузлів і маршрутів. При проектуванні маршрутів необхідно враховувати підхід багатошляхової маршрутизації, який забезпечить альтернативний маршрут до вузлів у разі відмови і, таким чином, мінімізує загальну затримку.

Щоб подолати ці обмеження, у статті запропоновані три багатошляхові рішення на основі класичного протоколу Remote Initial Program Load (RPL): Energy Load Balancing (ELB), Fast Local Repair (FLR) та їх комбінація ELB-FLR. Ці схеми інтегруються у модифікований IoT комунікаційний стек IPv6.

Перша схема, ELB, намагається вирішити проблему нерівномірного навантаження в RPL, впроваджуючи нові цільові функції для обчислення рангу вузлів на основі кількості хопів та залишкової енергії. Друга схема, FLR, орієнтована на зменшення кількості локальних ремонтів шляхів. Третя схема, ELB-FLR, є комбінацією попередніх двох методів, що поєднує функції балансування навантаження ELB з покращеним локальним ремонтом і виявленням петель FLR у протоколі RPL.

Пропоновані підходи спрямовані на зменшення мережного трафіку та вдосконалення маршрутизації об'єктного типу у мережах IoT, використовуючи структуру дейтаграм IPv4 рис. 2 та IPv6 рис. 3.



Рис. 2. Структура IPv4

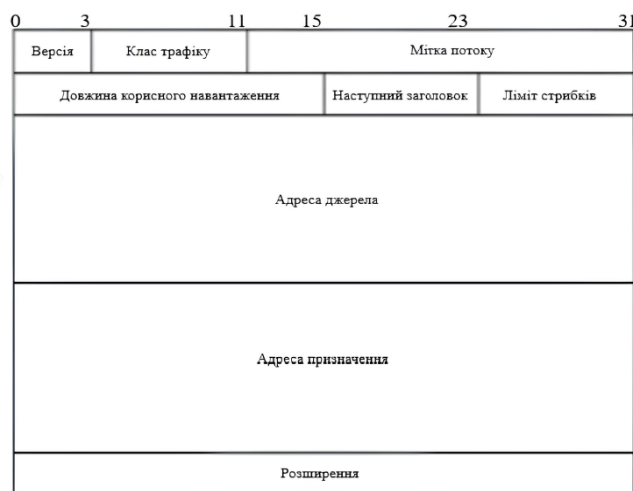


Рис. 3. Структура IPv6

У полі «опції» для IPv4 або «розширення» для IPv6 ми додаємо інформацію, яка дозволяє визначити тип об'єкта, якому адресується пакет. Наприклад, виділяємо 2 байти для цього поля та позначаємо лампи як 000000000001, кондиціонери — 000000000010, вікна — 000000000011, тощо. Таким чином, якщо потрібно надіслати повідомлення на групу ламп (наприклад, 20) з однаковою командою, достатньо відправити один пакет замість 20. Це дозволяє зменшити використання пропускної здатності та знизити навантаження на пам'ять транзитних маршрутизаторів (рис. 4).

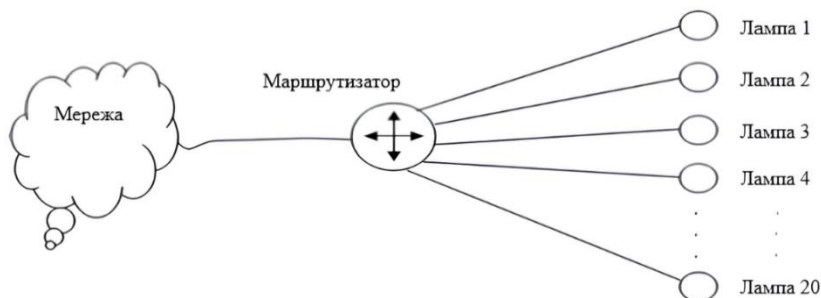


Рис. 4. Тип об'єкту мережі IoT

Розглянемо промисловий об'єкт, який включає 100 вікон, 200 кондиціонерів, 300 ламп і 300 двигунів і нам потрібно отримати інформацію про стан цих різних пристроїв.

При використанні простої маршрутизації нам доведеться відправити $100+200+300+300=900$ пакетів. Однак, якщо застосувати маршрутизацію за типами об'єктів, потрібно буде відправити лише 4 пакети, оскільки є чотири різні типи об'єктів, що дозволить уникнути передавання зайвих 896 пакетів.

Якщо ми застосуємо це до всіх галузей промисловості та державних установ, ми зможемо суттєво зменшити кількість пакетів, що, в свою чергу, оптимізує пропускну здатність магистралі та зменшить споживання ресурсів мережного обладнання.

Висновки

Інтернет речей (IoT) кардинально трансформує наше повсякденне життя, роблячи його комфортнішим, безпечнішим та ефективнішим. Підключення фізичних пристроїв до Інтернету відкриває нові можливості для автоматизації рутинних завдань і поліпшення взаємодії з навколишнім середовищем. Ці зміни вже відчущуються, але з часом IoT стане ще важливішим і невід'ємним елементом нашого майбутнього.

Проте для широкого впровадження IoT існують певні проблеми, зокрема захист даних, стандартизація та витрати. Однак швидкий розвиток технологій та активність компаній свідчать про те, що революція IoT наближається.

Оптимізація мережі є одним з основних викликів, які постануть перед IoT у найближчі роки. Запропонований підхід до маршрутизації базується на типах об'єктів. Традиційна маршрутизація полягає в тому, що по відношенню до пропозиції створюється кілька пакетів при зверненні до об'єктів одного типу. Результати нашого підходу показують, що ми виконуємо маршрутизацію, яка зменшує споживання пропускну здатності в мережах IoT і генерує менше трафіку.

Аналіз запропонованого протоколу для відносно більшої кількості вузлів підключення до Інтернету та мобільності вузлів під час виконання може бути проведений з метою покращення запропонованого протоколу у майбутньому. Запропоноване дослідження може бути застосоване у більш практичному середовищі і його успішність може бути перевірена.

Список літератури

1. Куйленбург Д.В. *Впровадження IoT: навч. посібник*. К.: КНЕУ. 2021. 230 с.
2. *Network Optimization For IoT Devices [Електронний ресурс]*. URL: <https://deviceatlas.com/blog/network-optimization-iot-devices>
3. Бортник К.Я., Ольшевський О.В., Пащук В.Ю. *Інтернет речей та як він змінить наше життя у майбутньому. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, вир-во*. 2018. № 30/31. С. 14–18.
4. Srivastava, A., Kumar, A. (2022). *A Review of Network Optimization on the Internet of Things*. In: Saini, H.S., Sayal, R., Govardhan, A., Buuya, R. (eds) *Innovations in Computer Science and Engineering. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 385. Springer, Singapore.
5. *Network optimizations in the Internet of Things: A review* / N.N. Srinidhi, S.M. Dilip Kumar, K.R. Venugopal // *Engineering Science and Technology, an International Journal* Volume 22, Issue 1, February 2019, Pages 1-21.

V. Zavatskyi, V. Danilchenko

OPTIMIZATION OF PARAMETERS IN THE INTERNET OF THINGS NETWORK

In the early 2000s, the idea of using the Internet to automate the exchange of data between devices was born. With the development of electronics capable of interacting via IP protocols, this concept has evolved into the modern understanding of the Internet of Things (IoT). Today, networking is evolving rapidly, with new technologies emerging: all-optical solutions for network backbone, wireless technologies to facilitate user access and deployment of sensors in hard-to-reach places, and IoT networks that enable communication between devices. This evolution raises new research questions and challenges, such as traffic optimization and tool efficiency. Often, solving these problems involves the use of graph models. The study of optimization in networks is a key area as IoT networks generate more and more data, which is becoming a challenge for traffic management at the operator level.

IoT is the idea of connecting ordinary devices to the Internet to exchange data. Optimizing IoT networks offers a number of benefits, such as improved traffic control, increased reliability, energy efficiency, reduced latency, increased bandwidth, and accelerated deployment of new devices and

services. Devices with limited resources are being connected in billions of IoT networks. Problems such as packet loss put additional strain on these networks. Therefore, it is important to address various issues related to routing, energy saving, congestion, heterogeneity, scalability, reliability, and security to maximize the use of available IoT network resources.

This article presents a comprehensive study of IoT network optimization. The study is relevant due to the constant growth in the number of devices connected to the IoT network that transmit data and require significant energy resources to maintain the networks. Uninterrupted operation of networks and long-term operation of data collection systems without battery replacement require a constant power supply. This creates a need to improve the methods of interaction between nodes of large networks to increase energy efficiency and speed up data processing.

Keywords: optimization, Internet of Things, routing, network, protocol, IPv4, IPv6.
