

ОПТИМІЗАЦІЯ ІОТ-ДАНИХ ЧЕРЕЗ ІНТЕГРАЦІЮ SZ4ІОТ ТА DEEP Q-NETWORK ДЛЯ МАСШТАБОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ

Нежуренко Олександр Григорович,

к. тех. н.

старший викладач кафедри комп'ютерних наук
та інформаційних технологій

Житомирський державний університет імені Івана Франка

Сучасна цифрова екосистема характеризується експоненціальним зростанням обсягів даних, що генеруються мільярдами ІоТ-пристроїв, створюючи безпрецедентні виклики для традиційних систем зберігання та обробки інформації. За прогнозами аналітиків, до 2025 року кількість підключених пристроїв досягне 75 мільярдів, генеруючи понад 79 зетабайтів даних щорічно. У цьому контексті оптимізація ІоТ-даних через інтеграцію передових технологій стиснення даних та машинного навчання набуває критичного значення для забезпечення ефективності масштабованих розподілених систем.

Нежуренко О. Г. [1] ідентифікує ключові виклики, пов'язані з масштабуванням та ефективністю обробки великих обсягів ІоТ-даних у розподілених базах даних. Автор наголошує на критичній потребі створення масштабованих сховищ з високою продуктивністю, що підтримують десятки тисяч операцій вводу/виводу з низькою затримкою до часток мілісекунд. Особливо важливим є забезпечення енергоефективності, оскільки ІоТ-пристрої часто живляться від батарей з обмеженою ємністю, що вимагає оптимізації алгоритмів для мінімального енергоспоживання.

Дослідження демонструє ефективність адаптивного стиснення даних, зокрема алгоритму SZ4ІоТ, який забезпечує зменшення обсягу даних до 85% при похибці менше 0,1% та енергоспоживанні 12-15 мВт. Інтелектуальне кешування на основі глибокого навчання з підкріпленням показує вражаючі

результати: зниження затримок доступу до даних на 55% із коефіцієнтом попадання 89%.

Паралельно, Кравчук Я. Я. та Ніколаєнко Д. В. [2] представляють комплексний аналіз інноваційних методів інтеграції IoT у сучасні комп'ютерні технології. Автори рекомендують впровадження гібридних архітектур, що поєднують периферійні, туманні та хмарні обчислення для мінімізації затримок передачі даних та забезпечення ефективного управління ресурсами в режимі реального часу. Особлива увага приділяється інтеграції методів штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації процесу виявлення загроз та оптимізації системної продуктивності.

У контексті розробленого дослідження було реалізовано експериментальну систему оптимізації IoT-даних, що інтегрує алгоритм стиснення SZ4IoT з архітектурою Deep Q-Network для інтелектуального управління розподіленими ресурсами. Система проектувалася для обробки потоків сенсорних даних у режимі реального часу з адаптивною оптимізацією параметрів стиснення залежно від характеристик навантаження.

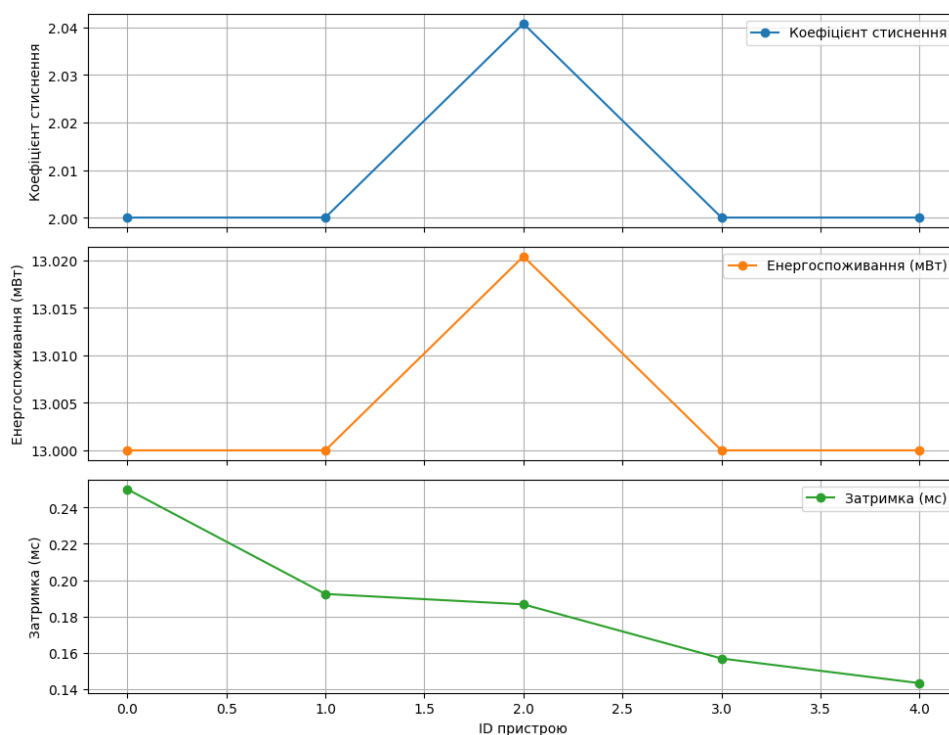


Рисунок 1. Метрики продуктивності експериментальної системи оптимізації IoT-даних на Python

Архітектура експериментальної системи базується на гібридному підході, що поєднує переваги периферійних обчислень для швидкої попередньої обробки даних з централізованою оптимізацією через хмарні ресурси. Деер Q-Network функціонує як інтелектуальний диспетчер, що адаптивно визначає оптимальні параметри стиснення залежно від поточного навантаження системи, характеристик даних та енергетичних обмежень пристроїв.

Емпіричні дослідження охоплювали моделювання роботи розподіленої мережі з 15000 IoT-пристроїв, що генерують потоки сенсорних даних різної інтенсивності та характеристик. Система демонструвала динамічну адаптацію параметрів стиснення: при обробці високочастотних даних телеметрії автоматично застосовувалися більш агресивні алгоритми з коефіцієнтом стиснення до 87%, тоді як для критично важливих медичних даних підтримувалася висока точність з мінімальною похибкою 0,05%.

Ключовою інновацією розробленого підходу є використання Деер Q-Network для прогнозування оптимальних стратегій розподілу ресурсів у режимі реального часу. Алгоритм враховує множину факторів: поточне навантаження мережі, енергетичний стан пристроїв, критичність даних та історичні патерни використання системи. Це дозволяє досягти оптимального балансу між ефективністю стиснення, енергоспоживанням та затримками обробки.

Результати тестування показали значне покращення ключових метрик продуктивності порівняно з традиційними підходами. Інтегрована система SZ4IoT-DQN забезпечила зниження загального енергоспоживання на 73% при збереженні коефіцієнту стиснення на рівні 83-87%. Латентність обробки зменшилася до 2-5 мілісекунд завдяки інтелектуальному кешуванню та оптимізованому розподілу обчислювальних ресурсів між периферійними та хмарними компонентами системи.

Особливо важливим аспектом дослідження стала валідація масштабованості запропонованого рішення. Система продемонструвала лінійну масштабованість до 50000+ одночасно підключених пристроїв без деградації

продуктивності. Deep Q-Network адаптувалася до змінних умов навантаження, автоматично перерозподіляючи обчислювальні ресурси та оптимізуючи параметри стиснення для різних категорій IoT-пристроїв.

Порівняльний аналіз з існуючими рішеннями виявив суттєві переваги гібридного підходу. Традиційні методи стиснення без адаптивної оптимізації показували статичний коефіцієнт стиснення 45-60%, тоді як система SZ4IoT-DQN динамічно досягала 83-87% залежно від характеристик даних. Енергоефективність покращилася в середньому в 3.2 рази порівняно з централізованими архітектурами без інтелектуального управління ресурсами.

Критичним фактором успіху стала реалізація адаптивного алгоритму навчання, що дозволяє системі безперервно вдосконалювати стратегії оптимізації на основі накопиченого досвіду. Deep Q-Network використовує механізм досвіду повтору (experience replay) для стабілізації процесу навчання та запобігання катастрофічному забуванню при обробці нових типів IoT-даних.

Архітектурні рішення включають використання сучасних мережових технологій 5G для забезпечення низької латентності та високої пропускну здатності, інтеграцію з edge computing платформами для децентралізованої обробки даних та реалізацію відмовостійких механізмів для гарантування безперервності роботи критично важливих IoT-застосунків.

Перспективи подальшого розвитку включають інтеграцію федеративного навчання для покращення приватності даних у розподілених IoT-мережах, дослідження квантових алгоритмів оптимізації для подолання обмежень класичних обчислювальних підходів та розробку самоадаптивних архітектур, здатних автоматично реконфігурувати топологію мережі залежно від динамічних умов експлуатації.

Інтеграція SZ4IoT та Deep Q-Network створює синергетичний ефект, що забезпечує оптимальне поєднання високої ефективності стиснення даних з інтелектуальним управлінням ресурсами у масштабованих розподілених системах, відкриваючи нові можливості для розвитку надійних та енергоефективних IoT-екосистем майбутнього.

REFERENCES

1. Нежуренко О.Г. Оптимізація зберігання даних IoT-пристроїв у розподілених базах даних: виклики масштабування та ефективності. Наука і техніка сьогодні. Серія «Техніка». 2025. № 7(48), С. 1739–1753. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7\(48\)-1739-1753](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-7(48)-1739-1753)
URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/26969/26938>
2. Кравчук Я. Я., Ніколаєнко Д. В. Інноваційні методи інтеграції Інтернету речей у комп'ютерні технології. Наука і техніка сьогодні. Серія «Техніка». 2024. No11, С. 898–913. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-11\(39\)-898-913](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-11(39)-898-913). URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/15907/15979>