

О. Ю. Заковоротний, Т. О. Орлова

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХМАРНИХ ТА ТУМАННИХ СЕРЕДОВИЩ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Анотація.** Метою статті є порівняння туманних та хмарних обчислень для Інтернету речей, а також отримання якнайбільше інформації про можливості даних обчислень, порівняння переваг та недоліків при їх використанні. **Результати дослідження.** Охарактеризоване хмарне середовище; охарактеризоване туманне середовище; визначені ключові відмінності туманного та хмарного середовища для Інтернету речей. Зроблено **висновок**, що при розробці Інтернету речей необхідно зрівняти хмарні та туманні обчислення, щоб використовувати максимально доступні можливості та високий потенціал обраного середовища. При сумісному використанні обох середовищ можна застосунки обраної системи Інтернету речей розподілити на три непересічні частини: ті, що виконуються тільки у туманному середовищі, ті, що відразу передають дані для обробки у хмарному середовищі, та застосунки з комплексною обробкою даних: частково у тумані, частково у хмарі.

**Ключові слова:** хмарні обчислення, туманні обчислення, Інтернет речей.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Нові вимоги до сучасних технологій є рухомою силою розвитку інформаційних технологій. Інтернет речей – це постійно зростаюча індустрія, яка вимагає більш ефективних способів управління передачею інформації та обробкою даних. Прогнозується, що у 2025 році кількість підключених пристроїв Інтернету речей збільшиться до 75 мільярдів. Всі ці пристрої міститимуть величезну кількість даних, які треба обробляти швидко та зручним способом. Помітивши високий попит на пристрої інтернету, до хмарних обчислень починають додаватися туманні обчислення. За деякими характеристиками туманні обчислення навіть кращі за хмарні, отже треба виявити, яке середовище для конкретної системи буде більш сприятливим.

**Аналіз літератури.** Питання використання хмарних середовищ розглянуті у роботах [1–3]. Роботи [4–6] орієнтовані на туманні середовища. Але у даних роботах відсутній порівняльний аналіз даних технологій, орієнтований на Інтернет речей.

**Мета та задачі досліджень.** Метою даного дослідження є порівняння туманних та хмарних обчислень для Інтернету речей, а також отримання якнайбільше інформації про можливості даних обчислень, порівняння переваг та недоліків при їх використанні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- охарактеризувати хмарне середовище;
- охарактеризувати туманне середовище;
- визначити ключові відмінності туманного та хмарного середовища для Інтернету речей.

### 1. Характеристика хмарного середовища

**1.1. Загальні властивості.** Узагальнений термін «хмара» склався вже відносно давно і позначає систему, що складається з декількох пристроїв, комп'ютерів і серверів, з'єднаних між собою через Інтернет. Таке середовище може бути умовно поділене на дві частини:

- зовнішній інтерфейс – пристрої клієнта, до яких можуть бути віднесені комп'ютери, планшети, мобільні телефони тощо;

- внутрішній інтерфейс – система зберігання даних і оброблюючі системи, які можуть бути віддалені як від пристроїв клієнта, так і від частини складових безпосередньо самої хмари.

Ці дві частини системи взаємодіють між собою за допомогою бездротових з'єднань.

Технологія хмарних обчислень надає різні види послуг, які можна поділити на три такі основні групи:

- *послуги інфраструктури* (IaaS) – віддалений центр обробки даних з такими ресурсами, як розміщення даних, обчислювальні потужності та мережі;
- *платформа як послуга* (PaaS) – розвиток платформи з пристроями та компонентами для створення, тестування та запуску застосунків користувачів хмари;
- *послуги програмного забезпечення* (SaaS) – готове програмне забезпечення, котре відповідає потребам користувачів хмари.

Якщо компанія вибрала хмарне сховище, то вона отримає доступ до вищевказаних послуг з одного місця розташування на кількох пристроях. Отже, доступність – це головна перевага. Крім того, немає необхідності підтримувати окремі послуги і можна не звертати увагу на недозавантаження системи або на її перевантаження – все це є турботи власника хмарного середовища.

Інтеграція інтернет-речей із хмарним середовищем на сьогодні, безсумнівно, є одним із можливих вигідних рішень. Хмарні сервери забезпечують необхідну місткість і гнучкість для управління та аналізу зібраних даних з підключених пристроїв, в той час як спеціальні платформи, такі як, наприклад, Azure IoT, Suite, IBM Watson, AWS, Google Хмара для IoT, надають розробникам можливість створення якісних застосунків без величезних вкладень у програмне та технічне забезпечення.

**1.2. Переваги хмарного середовища для Інтернету речей.** Так як підключені пристрої обмежують місткість і обчислювальну потужність, то інтеграція пристроїв з хмарним середовищем допоможе забезпечити такі можливості:

- покращення функціонування (швидкий зв'язок між датчиками Інтернету речей та системами обробки даних);

- місткість (добре масштабоване і необмежене місце для зберігання, сервіс якого може об'єднати, з'єднати і розподілити величезний обсяг даних);

- обробка даних (віддалені центри обробки даних забезпечують необмежені віртуальні можливості обробки за вимогою);

- зменшення витрат (ліцензійні збори нижче, ніж вартість обладнання на початковому рівні та його постійне обслуговування).

**1.3. Недоліки використання хмарного середовища для Інтернету речей.** В хмарній технології є деякі недоліки, які можуть бути відчутними при обслуговуванні пристроїв Інтернету речей.

- високий час очікування (застосунки Інтернету речей все більше вимагають, щоб час очікування був як можна нижче, але хмара не може гарантувати це із-за існуючого розриву між пристроями клієнта та центрами обробки даних);

- час простою (технічні проблеми та збої в мережах можуть статися з будь-якої причини в будь-якій системі, яка використовує Інтернет, і дані клієнта можуть постраждати при відключенні електрики; щоб уникнути проблем, багато компаній використовують кілька каналів зв'язку з автоматизованою відмовостійкістю);

- безпека та особиста інформація (особиста інформація передається через глобально пов'язані канали разом із тисячами гігабайтів інформації інших користувачів; тобто система стає небезпечною для втрати даних або може не втримати кібератаку; проблема може бути частково вирішена за допомогою гібридної області або створення особистого хмарного сховища).

## 2. Характеристика туманного середовища

**2.1. Загальні властивості.** Термін «туман» або туманні обчислення був прийнятий CISCO в 2014 році, тому він є новим для більшості людей. Туманні і хмарні обчислення взаємопов'язані між собою. У природі туман ближче до землі, чим хмара, в світі IT-технологій відбувається те ж саме, туманні обчислення ближче до кінцевого користувача, передаючи можливість хмарних обчислень кінцевому користувачеві.

Визначення може звучати так: туманні обчислення – це розширення хмарних обчислень, що складається з кількох граничних вузлів, безпосередньо підключених до фізичних пристроїв.

Такі вузли фізично набагато ближче до пристроїв у порівнянні з централізованими центрами обробки даних, тому вони здатні забезпечити практично миттєві з'єднання. Значна обчислювальна потужність периферійних вузлів дозволяє їм самостійно виконувати обробку великих об'ємів даних, не відправляючи їх на віддалений сервер.

Туманні обчислення також включають хмарні обчислення – невеликі та досить потужні центри обробки даних, розташовані на граничному сегменті мережі. Їх метою є підтримка ресурсоемних інтернет-застосунків, які не потребують спеціальних вимог на час затримки. Основна різниця між туманними та хмарними обчисленнями полягає в тому, що хмара являє собою централізовану систему, а туман являє собою розподілену децентралізовану інфраструктуру.

Туманні обчислення є посередником між обладнанням і віддаленими серверами. У туманному середовищі визначають, яка інформація буде відправлена на сервер, а яку інформацію можна редагувати локально. Таким чином, туман можна розглядати як інтелектуальний шлюз, котрий розвантажує хмару, забезпечує більш ефективну роботу та аналіз даних.

Але треба відзначити, що туманне середовище не має окремої архітектури і не замінює хмарні обчислення, а швидше доповнює їх, максимально наближаючись до джерела інформації.

Туманна технологія на сьогодні демонструє найбільший вплив на Інтернет речей, вбудовані рішення штучного інтелекту та 5G, оскільки вони, як ніколи раніше, вимагають швидкої та безперебійної роботи та взаємодії у реальному часі.

**2.2. Переваги туманного середовища для Інтернету речей.** Використання туманного середовища (або затуманювання) має багато переваг для Інтернету речей, великих даних і аналітики даних в реальному часі. До основних переваг туманних обчислень можна віднести такі:

- можливість практичної реалізації обробки даних у реальному часі (туман географічно ближче до користувачів і здатний забезпечити миттєвий відклик);

- немає проблем з пропускну здатністю (частина інформації агрегується в різних точках, а не відправляється в один центр по одному каналу);

- практично неможлива втрата з'єднання (із-за великої кількості альтернативних шляхів та з'єднаних каналів);

- високий рівень безпеки (дані обробляються величезною кількістю вузлів у складній розподіленій системі);

- покращений інтерфейс користувача (можливість реалізації миттєвого відклику та відсутності затримок у каналах зв'язку);

- енергетична ефективність (периферійні вузли використовують у роботі високоефективні протоколи, такі як Bluetooth, Zigbee або Z-хвиля).

**2.3. Недоліки використання туманного середовища для Інтернету речей.** Хоча й туманна технологія не має будь-яких явних недоліків, але все ж таки можна виділити деякі негативні моменти при її використанні для Інтернету речей:

- система туманних обчислень більш складна, тому що туман є додатковим шаром у системі обробки та зберігання даних;

- додаткові витрати (необхідно купувати додаткове обладнання: периферійні пристрої-роутери, маршрутизатори, шлюзи тощо);

- обмежений масштаб (відмінність від хмари).

## 3. Ключові відмінності туманного та хмарного середовища

Хоча концепції туманних і хмарних обчислень дуже схожі, але все ж таки між ними є різниця за деякими параметрами. Зазначимо основні відмінності, що існують між ними, які можуть бути суттєвими при обробці даних Інтернету речей.

1. Як було показано вище, основна різниця між туманними та хмарними обчисленнями є архітектурна,

тобто хмара є централізованою системою, тоді як туман завжди є розподіленою децентралізованою інфраструктурою. Архітектура хмари складається з великих центрів обробки даних, які можуть бути розміщені по всьому світу, та обслуговувати тисячі або навіть мільйонів користувачів. Архітектура туману складається з великої множини невеликих вузлів, що розташовані як можна ближче до пристроїв Інтернету речей.

2. Туманне середовище у загальному випадку розглядається як посередник між центрами обробки даних і апаратними засобами, і, відповідно, його компоненти суттєво ближче до кінцевих користувачів. Якщо немає шару туману, то хмарне середовище напряму зв'язується з пристроями Інтернету речей, що може займати багато часу.

3. При реалізації хмарних обчислень обробка даних відбувається у віддалених центрах обробки даних. Обробка та зберігання даних при туманних обчислень здійснюється на граничному сегменті мережі, котрий знаходиться поруч із джерелом інформації, що має вирішальне значення для реалізації режиму реального часу.

4. Хмарне середовище гарантовано є більш функціональним, ніж туманне середовище у відношенні значущих ресурсів і можливостей зберігання.

5. Хмара звичайно складається з кількох великих серверних вузлів. Туман включає в себе велику кількість дрібних вузлів.

6. У туманних обчисленнях виконується короткостроковий аналіз на граничному сегменті мережі із-за миттєвого відклику, в той час як у хмарних обчисленнях проводиться довготривалий глибокий аналіз із-за можливості більш повільного відклику.

7. При туманних обчисленнях час затримки завжди є низьким, але при хмарних обчисленнях зазвичай він є високим.

8. Хмарна система може зруйнуватися при відмовах мережі Інтернет. Туманні обчислення використовують різні протоколи і стандарти, тому ризик відмови є набагато нижчим.

9. Туманне середовище є більш безпечною системою, ніж хмарне із-за його розподіленої архітектури.

### Висновки та обговорення

Туманні обчислення є одним із рішень у роботі з пристроями Інтернету речей, тому що вони можуть задовольнити потреби постійно зростаючої кількості підключених пристроїв. У туманному середовищі використовуються локальні, а не віддалені комп'ютерні ресурси, що робить продуктивність більш ефективною та потужною, а також зменшує проблеми з пропускну здатністю.

Але незважаючи на це, у деяких випадках хмарне середовище може бути більш прийнятним, вважаючи на деякі недоліки при використанні туману.

Отже при впровадженні Інтернету речей необхідно зрівняти хмарні та туманні обчислення, щоб використовувати максимально доступні можливості та високий потенціал обраного середовища. При сумісному використанні обох середовищ можна застосувати обраної системи Інтернету речей розподілити на три непересічні частини: ті, що виконуються тільки у туманному середовищі, ті, що відразу передають дані для обробки у хмарному середовищі, та застосунки з комплексною обробкою даних: частково у тумані, частково у хмарі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. She R., Sun M. Security Energy Efficiency Analysis of CR-NOMA Enabled IoT Systems for Edge-cloud Environment. *Int. Journal of Computational Intelligence Systems*. 2023. Vol. 16(1), 118. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s44196-023-00273-y>.
2. Петровська І. Ю., Кучук Г. А. Розподіл обчислювальних ресурсів у хмарних системах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. Вип. 2 (68). С. 75–78. DOI: <http://dx.doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.075>.
3. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *Int. Conf. on Information and Digital Technologies*. Zilina, 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>.
4. Кучук Г.А., Коваленко А. А., Лукова-Чуйко Н. В. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава. ПНТУ, 2017. Вип. 2(42). С. 117-120.
5. Sharma, M., Kaur, P. Reliable federated learning in a cloud-fog-IoT environment. *Journal of Supercomputing*. 2023. Vol. 79(14). P. 15435–15458. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11227-023-05252-w>.
6. Baucas, M.J., Spachos, P. Improving Remote Patient Monitoring Systems Using a Fog-Based IoT Platform with Speech Recognition. 2023. *IEEE Sensors Journal*. Vol. 23(15). P. 17611–17618. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2023.3287916>.
7. Essalhi, S.E., Raiss El Fenni, M., Chafnaji, H. A new clustering-based optimised energy approach for fog-enabled IoT networks. *IET Networks*. Vol. 12(4). P.155–166. DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/ntw2.12082>.

Received (Надійшла) 25.06.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.09.2023

### Comparative analysis of cloud and fog environments of the Internet of Things

Oleksandr Zakovorotnyi, Tetiana Orlova

**Abstract.** The purpose of the article is to compare fog and cloud computing for the Internet of Things, as well as to obtain as much information as possible about the possibilities of these calculations, to compare the advantages and disadvantages of their use. Research results. Characterized cloud environment; a characterized foggy environment; the key differences between fog and cloud environments for the Internet of Things are defined. It was concluded that when developing the Internet of Things, it is necessary to balance cloud and fog computing in order to use the maximum available opportunities and high potential of the chosen environment. With the combined use of both environments, the applications of the selected Internet of Things system can be divided into three non-intersecting parts: those that are executed only in the fog environment, those that immediately transmit data for processing in the cloud environment, and applications with complex data processing: partly in the fog, partly in the cloud.

**Keywords:** cloud computing, fog computing, Internet of Things.