

Г. К. Кожевніков, Д. С. Черниш, О. Ю. Матяш

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Анотація.** **Актуальність.** Все більшу популярність у різних галузях на сьогодні отримують системи Інтернету речей. При великій кількості кінцевих датчиків активно застосовується концепція туманних обчислень. Але використання туманної концепції у таких випадках потребує доволі частого перерозподілу навантаження між обчислювальними вузлами. **Мета статті** – розроблення підходу до скорочення часових витрат на перерозподіл навантаження за рахунок скорочення множини вузлів-кандидатів для розміщення навантаження і часу його формування на основі онтологічного аналізу з метою підвищення ефективності функціонування розподіленої системи, реалізованою на базі технології туманних обчислень. **Результати дослідження.** Проведено аналіз застосування онтологій для вирішення оптимізаційних завдань. Запропонований покроковий метод формування онтології розподілу обчислювального навантаження. Описаний підхід для формування системи продукційних правил вибору вузлів для перенесення навантаження Інтернету речей. Наведений приклад застосування розробленого підходу при виконання еволюційних алгоритмів, що використовуються для аналізу даних, які надходять з датчиків системи Інтернету речей. **Висновок.** Розроблений підхід скорочує часові витрати на перерозподіл навантаження за рахунок скорочення множини вузлів-кандидатів для розміщення навантаження і часу його формування на основі онтологічного аналізу з при використанні технології туманних обчислень.

**Ключові слова:** Інтернет речей, туманні обчислення, хмарна система, онтологія, продукційні правила.

### Вступ

Четверта промислова революція (Industry 4.0) розглядається вченими як інтеграція сучасних концепцій розподілених обчислень, мережних технологій та промисловості [1]. Однією з майбутніх перспектив Industry 4.0 є об'єднання множини підприємств у глобальну промислову мережу речей та послуг [2]. Туманні обчислення в даний час є перспективною концепцією організації розподілених обчислень, які припускають наближення обробки даних до кінцевих пристроїв мереж і є розвитком популярної хмарної концепції [3]. Це дозволяє знизити навантаження на комунікативну мережу і скоротити час відгуку системи. На базі туманної концепції ефективно реалізуються різні розподілені системи, для яких швидкодія є найважливішим критерієм. Такі системи є вкрай затребуваними у багатьох областях людської діяльності, зокрема, у сучасних системах Інтернету речей, які мають високу та надвисоку щільність кінцевих датчиків [4–7]. Але використання туманної концепції у таких випадках потребує доволі частого перерозподілу навантаження між обчислювальними вузлами. Іноді часові витрати на перерозподіл навантаження зводять нанівець всі переваги, що надає додатковий туманний шар. Отже завдання скорочення часових витрат, пов'язаних з процесами реконфігурації системи розподілу навантаження Інтернету речей, є **актуальним**.

**Мета роботи** – розроблення підходу до скорочення часових витрат на перерозподіл навантаження за рахунок скорочення множини вузлів-кандидатів для розміщення навантаження і часу його формування на основі онтологічного аналізу з метою підвищення ефективності функціонування розподіленої системи, реалізованою на базі туманних обчислень.

### Результати досліджень

**1. Аналіз застосування онтологій для вирішення оптимізаційних завдань.** На формальному

рівні онтологію можна розглядати як систему, що складається з набору понять та набору тверджень про ці поняття, на основі яких можна, можливо будувати класи, об'єкти, відносини, функції і теорії [8]. Під формальною моделлю онтології будемо розуміти:

$$O = \langle C, P, R, A \rangle, \quad (1)$$

де  $C$  – множина понять (класів сутностей) предметної області;  $P$  – множина властивостей цих понять (класів);  $R$  – множина зв'язків між поняттями (класами);  $A$  – множина аксіом, тверджень, побудованих з цих понять, їх властивостей і зв'язків між ними.

Таким чином, структура онтології містить наступні елементи: концепти (поняття, класи), атрибути, відносини, аксіоми, екземпляри. Під класом мається на увазі будь-яка сутність, про яку може бути надана будь-яка інформація. Примірники – одиничні сутності, що належать класам онтології. Одиниці онтології (класи та екземпляри) можуть мати властивості – атрибути. Атрибут описує внутрішні властивості об'єктів за допомогою конкретних значень. Кожен атрибут зазвичай має ім'я і значення, і використовується для зберігання інформації, яка специфічна для цієї одиниці.

Аксіоми (правила виводу) використовуються, щоб записати висловлювання, які завжди є істинними. Вони можуть бути включені в онтологію для різних цілей, наприклад, для визначення ком-плексних обмежень на значення атрибутів, для перевірки коректності інформації, що описані в онтології, або для виведення нової інформації. Аксіоми дозволяють висловити ту інформацію, яка не може бути відображена в онтології за допомогою побудови ієрархії понять і установки відносин між ними [9–15].

Аналіз сучасних джерел показав, що області застосування онтологій дуже різноманітні [16]. В даний час однією з найбільш перспективних областей застосування онтологій є проектування і моделювання, включаючи рішення оптимізаційних задач.

Наприклад, в роботі [17] пропонується використувати онтології для формального описи системи білінгу. При цьому використання онтологічного підходу дозволяє спростити комп'ютерну обробку даних, скоротити час обчислень і пошуку а також надає можливість логічного висновку.

У роботі [18] розглянуті питання, пов'язані з інтелектуалізацією процесу формування описи проєктованого виробу як складника проєктно-конструкторської документації в області проєктування нових моделей одягу. Передбачається, що використання онтологічного підходу дозволяє підвищити якість інженерних рішень.

У роботі [19] авторами використано онтологічний підхід до процесу підготовки та прийняття рішень щодо реалізації промислових інвестиційних проєктів. Онтологічні моделі забезпечують можливість вибору більше якісного рішення в відповідно з заданим критерієм оптимальності.

У роботі [20] запропоновано використовувати онтологічні моделі для рішення завдань управління групою інтелектуальних рухливих об'єктів (малорозмірних космічних апаратів) на прикладі рішення завдань дистанційного зондування Землі. Автори використовують ідею онтологічного опису об'єктів спостереження і правил розпізнавання цілі.

Таким чином, можна, можливо говорити о значному досвіді використання онтологій в рішенні оптимізаційних завдань, виникаючих в системах, заснованих на знаннях, в тому числі таких як:

- підтримка прийняття рішень при проєктуванні складних автоматизованих систем та процесів;
- управління процесами;
- моделювання і оцінка ситуацій;
- логічний висновок.

У поточному дослідженні пропонується використовувати онтологічні моделі при перерозподілі навантаження Інтернету речей.

**2. Метод формування онтології розподілу обчислювального навантаження.** Центральним компонентом методу формування обмежень при розподілі обчислювального навантаження між шарами системи є предметна онтологія, покладена в основу онтологічного аналізу. Метод формування моделі онтології розподілу обчислювального навантаження розроблений з урахуванням особливості алгоритмічних структур з точки зору обсягу та частоти інформаційних обмінів між процесами.

Отримана з допомогою даного методу модель є каркасом бази знань про предметну область, що розглядається – географічно розподілені системи Інтернету речей, функціонуючі на базі концепції туманних та хмарних обчислень. Розробка предметної онтології велася в програмному середовищі Protégé 5.0.

Розглянемо даний метод покроково.

*Крок 1. Визначення класів онтології.* Розроблювана онтологія включає наступні класи:

- модель розпаралелювання алгоритму;
- спосіб розбиття паралельного алгоритму в відповідно з обмеженнями на способи розбиття;
- вихідне розміщення: хмара, туман;
- регламентований час виконання алгоритму;

- параметри моделей розпаралелювання;
- вимоги до обчислювальних ресурсів.

*Крок 2. Визначення таксономічної ієрархії класів.* Створення класів онтології із встановленням ієрархічних зв'язків між поняттями ведеться в відповідно з множиною визначених концептів.

*Крок 3. Визначення слотів.* Для встановлення відносин між концептами онтології "Клас алгоритму" і "Модель", створюємо властивість «має модель», тим самим оголошуючи, що розглянуті класи мають моделі розпаралелювання. Аналогічно встановлюються відносини між класами "Модель" і "Спосіб розбиття" через властивість "має спосіб розбиття"; "Острівна модель" – "Тривалість сезону" через властивість "має параметр".

*Крок 4. Визначення екземплярів класів.* Заповнення класів онтології екземплярами відбувається відповідно з існуючими класифікаціями і проведеним аналізом. Наприклад, в термінах онтології маємо: клас онтології "Клас алгоритму", який включає в себе відповідні підкласи еволюційних алгоритмів: "ГА" (генетичні алгоритми), "АНЖП" (алгоритми, натхненні живою природою), "АННП" (алгоритми, натхненні неживий природою). У свою чергу, кожен підклас може бути заповнений екземплярами. Наприклад, підклас «АНЖП» включає такі екземпляри: "бактеріальна оптимізація", "бур'яновий алгоритм", "Зозулин пошук", "мурашиний алгоритм".

З використанням методу формування моделі онтології отримується модель онтології розподілу обчислювального навантаження паралельних алгоритмів функціонування розподілених систем, яка структурує знання о класах паралельних алгоритмів, що використовуються в розподілених системах, моделях розпаралелювання алгоритмів, змінюваних параметрів даних моделей і способах їх розбиття, враховує вихідне розміщення обчислювальних вузлів, регламентований час виконання алгоритму і вимоги до обчислювальних ресурсів. Аспекти, відображені у онтології у вигляді системи ієрархії класів і відносин між ними, є ключовими в рішенні завдання розподілу навантаження Інтернету речей і здійснюють безпосередній вплив на ефективність функціонування системи.

**3. Формування системи продукційних правил вибору вузлів для перенесення навантаження Інтернету речей.** В основі етапу прийняття рішення про множину вузлів для перенесення обчислювального навантаження Інтернету речей лежить система продукційних правил, яка пов'язує клас онтології, що містить знання про підграф, що переноситься, комплексного функціонального завдання та способи його розбиття, а також потенційну множину вузлів для розміщення обчислювальної навантаження.

Продукційна модель має такий вигляд:

$$i = \langle S; L; A \rightarrow B; Q \rangle, \quad (2)$$

де  $S$  – клас ситуацій;  $A \rightarrow B$  – умова, при якій продукція активізується;  $L$  – ядро продукції;  $Q$  – постумова продукційного правила.

Для перевірки запропонованого підходу було розроблено приклади продукційних правил.

Як правило, до розробки продукційних правил потрібно залучати експертів – людей, що є професіоналами високою кваліфікації в розглядаємі предметній області. Дані знання формуються з досвіду та суджень людей, які працюють у даної області, розуміють загальні принципи рішення її завдань, знають прийоми рішення, здатні забезпечити управління наближеними даними та дати оцінку часткових рішень. Слід відзначити, що запропонована система продукційних правил завжди може бути розширена.

Для розробки системи продукційних правил у розглядаємому випадку необхідно розробити правила для кожного способу розбиття підграфа обчислювальних завдань, згідно описаним обмеженням. Тому послідовно розглядаються можливі варіанти розбиття відповідно з існуючими моделями розпаралелювання. Запропоновані продукційні правила дозволяють прийняти рішення щодо вибору обчислювального вузла для перенесення навантаження на підставі знань, що містяться в моделі онтології розподілу обчислювальної навантаження паралельних алгоритмів функціонування розподілених систем.

**4. Приклад застосування розробленого підходу.** Проілюструємо ефективність способу скорочення часових витрат на основі онтологічного аналізу стосовно вирішення задачі розміщення обчислювальної навантаження при виконання еволюційних

алгоритмів, що використовуються для аналізу даних, які надходять з датчиків системи Інтернету речей.

Були розглянуті такі методи, як метод рою частинок та алгоритм бджол, причому розглядалися три різних типу генерації проміжних рішень. Була показана загальна для всіх еволюційних алгоритмів тенденція, що полягає в підвищення якості рішень із зростанням числа ітерацій (рис. 1, 2).

Також відзначимо наступне.

У залежності від розглянутого інтервалу приріст функції якості також змінюється. Наприклад, розглянемо залежність якості рішень від числа ітерацій в алгоритмі бджіл (рис. 2). Бачимо, що різкий приріст функції якості відзначається вже на інтервалі ітерацій, відповідному приблизно 1/10 від загальної числа ітерацій. Таким чином, ймовірність отримання задовільного по якості рішення висока вже на початкових ітераціях. Аналізуючи збільшення за якістю за рахунок залучення додаткової продуктивності, можна зробити висновок про те, що підхід, спрямований на скорочення часових витрат, пов'язаних з перенесенням обчислювальної навантаження, є перспективним рішенням підвищення якості рішень в оптимізаційних задачах аналізу даних Інтернету речей. Виконання додаткової роботи за рахунок пристроїв туманного шару дозволяє підвищити якість приймаємих рішень.

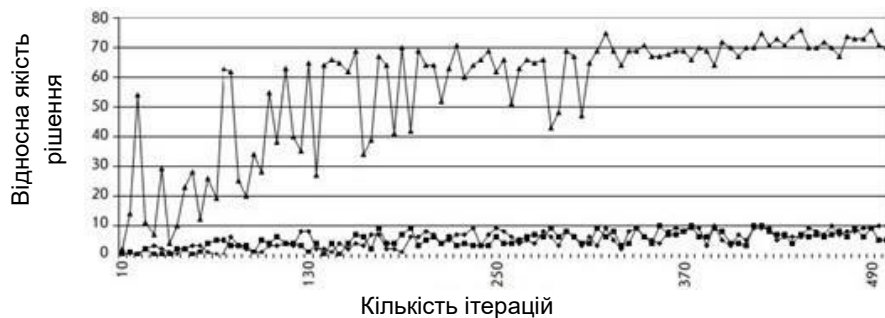


Рис. 1. Графік залежності якості рішень від кількості ітерацій для методу рою частинок

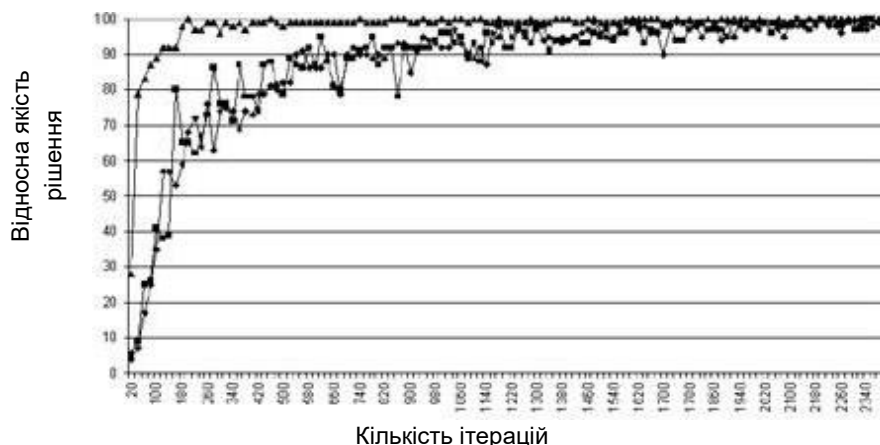


Рис. 2. Графік залежності якості рішень від кількості ітерацій для алгоритму бджіл

## Висновки

В результаті проведених досліджень розроблений підхід до скорочення часових витрат на перерозподіл навантаження за рахунок скорочення множини

вузлів-кандидатів для розміщення навантаження і часу його формування на основі онтологічного аналізу з метою підвищення ефективності функціонування розподіленої системи, реалізованою на базі технології туманних обчислень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pardo, C., Wei, R., Ivens, B.S. (2022). Integrating the business networks and internet of things perspectives: A system of systems (SoS) approach for industrial markets. *Industrial Marketing Management*, 104, 258–275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.04.012>
2. Zakharchenko, A., Stepanets, O. (2023). Digital twin value in intelligent building development. *Advanced Information Systems*, 7(2), 75–86. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.11>
3. Li, G., Liu, Y., Wu, J., Lin, D., Zhao, Sh. (2019). Methods of Resource Scheduling Based on Optimized Fuzzy Clustering in Fog Computing. *Sensors*, MDPI, 19(9). doi: <https://doi.org/10.3390/s19092122>
4. Schulz, A.S. (2023). User Interactions with Internet of Things (IoT) Devices in Shared Domestic Spaces. *ACM International Conference Proceeding Series*, 577–579. doi: <https://doi.org/10.1145/3626705.3632615>
5. Chalapathi, G.S.S., Chamola, V., Vaish, A., Buyya, R. (2022). Industrial internet of things (Iiot) applications of edge and fog computing: A review and future directions. *Advances in Information Security*, 83, 293–325. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57328-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57328-7_12)
6. Petrovska, I., Kuchuk, H. (2023). Adaptive resource allocation method for data processing and security in cloud environment. *Advanced Information Systems*, 7(3), 67–73. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.10>
7. Qayyum, T., Trabelsi, Z., Waqar Malik, A., Hayawi, K. (2022). Mobility-aware hierarchical fog computing framework for Industrial Internet of Things. *Journal of Cloud Computing*, 11(1), 72. doi: <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00345-y>
8. Mishra, A., Singh, P. (2024). A hybrid approach to ontology evaluation. *Mathematics and Computer Science*, vol. 2, pp. 187–204, doi: DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119896715.ch13>
9. Kuchuk, G., Nechausov, S., Kharchenko, V. (2015). Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*, Zilina, pp. 266–271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
10. Zuev, A., Karaman, D., Olshevskiy, A. (2023). Wireless sensor synchronization method for monitoring short-term events. *Advanced Information Systems*, 7(4), 33–40. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.04>
11. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
12. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
13. Nechausov A., Mamusuc L., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
14. Кучук Н. Г., Мерлак В. Ю., Скороделов В. В. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Т. 4, № 1. С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
15. Qaswar, F., Rahmah, M., Raza, M.A., Hassan, M.K.A., Sharaf, A. (2023). Applications of Ontology in the Internet of Things: A Systematic Analysis. *Electronics (Switzerland)*, 12(1), 111, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/electronics12010111>
16. Kalaiselvi, P., Michael Jones, M., Murugesu, S., Veerakumar, K., Prakash, N. (2023). Design And Implementation of Smart Billing System, 2023 International Conference on Sustainable Emerging Innovations in Engineering and Technology, ICSEIET 2023, страницы 212–218, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ICSEIET58677.2023.10303608>
17. Jayasuriya, D.B., Perera, I. (2019). Ontology Based Software Design Documentation for Design Reasoning, *MERCon 2019 - Proceedings, 5th International Multidisciplinary Moratuwa Engineering Research Conference*, pp. 710–715, 8818813, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/MERCon.2019.8818813>
18. Lee, C.-H.L., Liu, A. (2008). Applying fuzzy candlestick pattern ontology to investment knowledge management, *Journal of Internet Technology*, 9(4), pp. 307–315.
19. Li, Y., Ouyang, S., Zhang, Y. (2022). Combining deep learning and ontology reasoning for remote sensing image semantic segmentation, *Knowledge-Based Systems*, 243, 108469, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108469>
20. Gomathi, B., Saravana Balaji, B., Krishna Kumar, V., Abouhawwash, M., Aljahdali, S., Masud, M. and Kuchuk, N. (2022), “Multi-Objective Optimization of Energy Aware Virtual Machine Placement in Cloud Data Center”, *Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 33(3), pp. 1771–1785, doi: <http://dx.doi.org/10.32604/iasc.2022.024052>

Received (Надійшла) 31.01.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.04.2024

**Ontological approach to load distribution of the Internet of Things**

H. Kozhevnikov, D. Chernysh, O. Matyash

**Abstract. Topicality.** Today, Internet of Things systems will gain more and more popularity in various industries. With a large number of finite sensors, the concept of fog computing is actively used. But the use of the fuzzy concept in such cases requires quite frequent redistribution of the load between computing nodes. **The purpose of the article** is to develop an approach to reducing time spent on load redistribution by reducing the number of candidate nodes for load placement and the time of its formation based on ontological analysis in order to increase the efficiency of the functioning of a distributed system implemented on the basis of fog computing technology. **Research results.** An analysis of the use of ontologies for solving optimization tasks was carried out. The proposed step-by-step method of forming the computing load distribution ontology. The approach for forming a system of production rules for selecting nodes for transferring the load of the Internet of Things is described. An example of the application of the developed approach in the implementation of evolutionary algorithms used to analyze data received from the sensors of the Internet of Things system is given. **Conclusion.** The developed approach reduces time spent on load redistribution by reducing the number of candidate nodes for load placement and the time of its formation based on ontological analysis with the use of fog computing technology.

**Keywords:** Internet of Things, fog computing, cloud system, ontology, production rules.