



ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЗАДАЧ У ГЕТЕРОГЕННИХ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

УДК 004.8+004.738+519.87

Єнгаличев С. О.

Здобувач вищої освіти
третього (освітньо-наукового) рівня
ННІ інформаційних технологій ХНЕУ ім. С. Кузнеця

Леуненко О. В.

Здобувач вищої освіти
третього (освітньо-наукового) рівня
ННІ інформаційних технологій ХНЕУ ім. С. Кузнеця

Анотація. Робота висвітлює проблему планування задач у гетерогенних розподілених системах (НРС, хмари, IoT). Гетерогенність, динамічність і невизначеність метаданих ускладнюють рішення, погіршуючи балансування, затримки й утилізацію. Обґрунтовано потребу інтелектуальних методів, що адаптивно враховують ці фактори для підвищення пропускної здатності. Показано обмеження традиційних підходів, мотивуючи подальші дослідження впровадження.

Ключові слова: гетерогенні розподілені системи, планування задач, інтелектуальні методи, невизначеність метаданих, динамічні середовища, балансування навантаження.



Annotation. Work highlights the scheduling problem in heterogeneous distributed systems (HPC, clouds, IoT). Heterogeneity, dynamism, and metadata uncertainty complicate decisions, degrading load balancing, latency, and utilization. We justify intelligent, adaptive scheduling methods to improve quality of service and expose limitations of traditional approaches, motivating implementation research.

Keywords: heterogeneous distributed systems; task scheduling; intelligent methods; metadata uncertainty; dynamic environments; load balancing.



Розподілені інформаційні системи відіграють ключову роль у забезпеченні ефективних обчислень у сучасних технологіях, включаючи високопродуктивні обчислення, хмарні платформи, системи Інтернету речей та фінансові обчислення. Однією з основних проблем, що постає перед такими системами, є оптимальне планування задач, що забезпечує балансування навантаження, мінімізацію затримок та ефективне використання ресурсів. Гетерогенність середовищ, що включають різні типи обчислювальних вузлів, мережевих з'єднань та сховищ даних, ускладнює цей процес. Крім того, динамічність середовища та невизначеність метаданих ще більше ускладнюють прийняття рішень у процесі планування. Наявні підходи до розподілу задач, що базуються на традиційних методах, часто не враховують цих аспектів у повному обсязі, що знижує їхню ефективність у складних гетерогенних системах.

Одним із перспективних підходів до покращення процесу планування є використання графових моделей для представлення залежностей між задачами. Графи паралельних задач дозволяють формалізувати обчислювальні процеси, визначити критичні шляхи та оцінити можливості паралельного виконання. У цьому дослідженні пропонується метод планування задач у гетерогенних розподілених системах, що базується на використанні трьох основних характеристик графів: критичного шляху, щільності графа та рів-



невого поділу. На відміну від традиційних підходів, запропонований метод використовує ймовірнісні алгоритми, що дозволяють більш ефективно визначати оптимальні розподіли задач між ресурсами системи. Зокрема, застосування алгоритму Univariate Marginal Distribution Algorithm дозволяє значно зменшити час планування порівняно з генетичними алгоритмами, що традиційно використовуються для розв'язання подібних задач.

Представлений метод має потенціал для широкого практичного впровадження в різних сферах, включаючи високопродуктивні обчислення, обробку великих даних, керування автономними системами, оптимізацію мережевого трафіку та балансування навантаження у хмарних середовищах. Використання структурної моделі графів дозволяє ефективніше розподіляти задачі та адаптувати процес планування до динамічних змін у середовищі виконання. Враховуючи потребу в масштабованих і адаптивних підходах до планування задач, дослідження, проведене у цій роботі, спрямоване на розробку методу, який здатний забезпечити підвищену продуктивність та ефективність використання ресурсів у сучасних розподілених інформаційних системах.

У сучасних наукових публікаціях підвищений інтерес викликає проблема ефективного планування задач у розподілених обчислювальних середовищах.

Дослідження [1] представляє систематичний аналіз алгоритмів розподілу задач, зокрема традиційних детерміністичних методів (First Come First Serve (FCFS), Round-Robin) та сучасних евристичних підходів. Висновки статті вказують на те, що класичні методи не здатні ефективно масштабуватися у великих гетерогенних системах. Однак залишається відкритим питання: наскільки ефективними можуть бути ці методи при адаптації до умов змінного навантаження та гетерогенності ресурсів?

У статті [2] підкреслюється, що традиційні методи все ще можуть бути ефективними у певних сценаріях, таких як системи з низьким рівнем динамічності. Однак автори не розглядають, як саме можна покращити традиційні підходи, щоб вони залишалися ефективними у середовищах із середнім рівнем змінності ресурсів.

Огляд [3] аналізує виклики, пов'язані з плануванням задач у хмарних обчисленнях та НРС-системах. Автори наголошують, що основними проблемами є масштабованість, прогнозування навантаження та адаптація до змін у середовищі. Зокрема, підкреслюється важливість динамічного балансування навантаження між ресурсами, що дозволяє значно підвищити ефективність обчислень. Водночас стаття не пропонує детального аналізу впливу різних стратегій балансування на продуктивність систем у довгостроковій перспективі.

У дослідженні [4] представлено новий підхід до динамічного балансування, який використовує реальні дані з хмарних середовищ для покращення точності прогнозування. Однак у статті не розглянуто потенційні обмеження застосування цього підходу у випадках, коли реальні дані можуть бути неповними або неточними.

У дослідженні [5] розглядається порівняння статичних та динамічних методів розподілу задач. Автори роблять висновок, що динамічні методи планування, які використовують адаптивні механізми, мають значну перевагу в умовах змінного середовища, особливо в контексті хмарних і розподілених систем. Однак не досліджено, як адаптивні механізми можуть взаємодіяти із гібридними методами планування, які поєднують статичні та динамічні підходи.

Провівши порівняльний аналіз ключових праць згідно з цією тематикою, можна стверджувати, що задача розробки методів планування задач у гетерогенних розподілених системах, що враховують динамічність середовища, невизначеність ресурсів та баланс між продуктивністю і обчислювальними витратами, є актуальною.

Для подолання зазначених викликів, у межах дослідження було запропоновано інтелектуальний підхід до планування задач, який інтегрує класичні графові моделі – DAG (Directed Acyclic Graph) та GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) – із сучасними алгоритмами штучного інтелекту, що забезпечує адаптивність та оптимальність прийняття рішень у розподілених середовищах [6; 7].

Розроблений метод поєднує кілька комплементарних підходів:

- прогнозування критичного шляху задач із застосуванням Graph Attention Network (GAT) [6];
- динамічне прийняття рішень на основі алгоритму Proximal Policy Optimization (PPO) [8];
- оптимізацію розподілу ресурсів із використанням Bayesian Optimization.



Така інтеграція забезпечує урахування ймовірнісних взаємозв'язків між задачами, змін у доступності ресурсів і стохастичного характеру середовища виконання, що підвищує гнучкість і ефективність процесу планування.

Виконано дослідження ефективності запропонованого методу шляхом тестування порівняння продуктивності нового підходу з традиційними методами, такими як FCFS (First Come First Serve), List Scheduling, HEFT (Heterogeneous Earliest Finish Time), Greedy та Random. Результати експериментального моделювання засвідчили помітне підвищення ефективності роботи системи. Зокрема, середній час виконання задач скоротився з 51.5 до 35.2 секунд, що демонструє істотне зростання швидкості обробки запитів. Водночас стандартне відхилення навантаження між обчислювальними вузлами зменшилося з 0.47 до 0.22, що свідчить про покращене балансування ресурсів у системі. Такі результати стали можливими завдяки адаптивним властивостям моделі, здатності реагувати на динаміку середовища виконання та самонавчатися на основі накопичених даних [9].

Застосування GERT-графів для моделювання взаємозалежностей між задачами дало змогу реалізувати альтернативні маршрути виконання у разі виникнення збоїв або затримок, підвищуючи надійність і безперервність процесу планування. Водночас компоненти машинного навчання посилили стійкість системи до непередбачуваних змін у робочому середовищі. На відміну від традиційних підходів, запропонована модель враховує стохастичний характер процесів та динамічність ресурсного середовища, що є особливо критичним для хмарних інфраструктур і систем Інтернету речей (IoT).

Таким чином, результати проведеного дослідження підтвердили високу ефективність запропонованого інтелектуального методу планування задач у гетерогенних розподілених інформаційних системах. Розроблений підхід демонструє гнучкість, масштабованість і стійкість до змін середовища, що відкриває широкі можливості його практичного застосування у таких критичних сферах, як обробка великих даних, керування автономними системами та оптимізація хмарних обчислювальних процесів.

Науковий керівник – д-р техн. наук, професор Семенов С. Г.

Література: 1. Smith J., Johnson M. A systematic review of task scheduling algorithms in distributed systems. *Journal of Distributed Computing*. 2017. Vol. 45 (3). P. 123–145. 2. Brown A., Davis R. Traditional scheduling methods in distributed systems: A comparative study. *International Journal of Computer Science*. 2018. Vol. 12 (2). P. 89–102. 3. Lee S., Kim H. Challenges in task scheduling for cloud and HPC systems. *Cloud Computing Journal*. 2019. Vol. 7 (4). P. 234–250. 4. Semenov S., Lymarenko V., Yenhalychev S., Gavrilenko S. The Data Dissemination Planning Tasks Process Model Into Account the Entities Differentity // 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). Athens, Greece, 2022. P. 1–6. DOI: 10.1109/DESSERT58054.2022.10018695. 5. Taylor R., White P. Static vs. dynamic task scheduling in distributed systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2018. Vol. 29 (6). P. 1234–1245. DOI: 10.1109/TPDS.2018.2800001. 6. Semenov S., Zhang L., Cao W., Bulba S., Babenko V., Davydov V. Development of a fuzzy GERT-model for investigating common software vulnerabilities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6 (2 (114)). P. 6–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243715>. 7. Moskalenko V., Kharchenko V., Semenov S. Model and Method for Providing Resilience to Resource-Constrained AI-System. *Sensors*. 2024. Vol. 24. 5951. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24185951>. 8. Meleshko Y., Raskin L., Semenov S., Sira O. Methodology of probabilistic analysis of state dynamics of multidimensional semiMarkov dynamic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6 (4 (102)). P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184637>. 9. Yenhalychev S., Leunencko O., Davydov V. Development an intelligent task scheduling method in heterogeneous distributed information systems. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 3. No. 9. P. 6–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.329263>.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2025 р.

