

М. С. Любунь

М. С. Юхимчук

В. О. Лесько

В. М. Севастьянов

БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КЛІЄНТ-СЕРВЕР

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У роботі досліджується проблема нерівномірного розподілу обчислювального навантаження між вузлами розподіленої системи на базі технології Клієнт-Сервер. Розглядаються основні алгоритми балансування навантаження: Round Robin, Least Connections та Weighted Round Robin. Показано, що застосування динамічного балансування дозволяє підвищити пропускну здатність системи та зменшити час відповіді сервера при значному зростанні кількості одночасних підключень.

Ключові слова: розподілені системи, балансування навантаження, Клієнт-Сервер, Round Robin, паралельні потоки, сокети.

Abstract. The paper investigates the problem of uneven distribution of computational load among nodes of a distributed system based on Client-Server technology. The main load balancing algorithms are considered: Round Robin, Least Connections, and Weighted Round Robin. It is shown that the use of dynamic balancing allows increasing the throughput of the system and reducing server response time with a significant increase in the number of simultaneous connections.

Keywords: distributed systems, load balancing, Client-Server, Round Robin, parallel threads, sockets.

Вступ. Розвиток інтернет-сервісів та хмарних технологій призвів до стрімкого зростання кількості одночасних запитів до серверів. В умовах, коли один сервер не здатний обробити весь потік запитів, виникає необхідність розподілення навантаження між кількома вузлами. Технологія Клієнт-Сервер є базовою архітектурою для побудови таких систем, а балансування навантаження — ключовим механізмом забезпечення їх стабільної роботи. Без ефективного балансування окремі вузли можуть бути перевантажені, тоді як інші простоюють, що призводить до деградації продуктивності всієї системи [1].

Актуальність. Сучасні розподілені системи обробляють мільйони запитів на добу. Навіть незначні збої у розподілі навантаження можуть призводити до відмов окремих вузлів та деградації якості сервісу. Дослідження та порівняльний аналіз алгоритмів балансування є актуальним завданням для підвищення надійності та ефективності розподілених систем, що функціонують на базі технології Клієнт-Сервер з використанням паралельних потоків виконання [2, 3].

Таблиця 1. Порівняльний аналіз алгоритмів балансування навантаження

Алгоритм	Принцип роботи	Переваги	Недоліки
Round Robin	Запити розподіляються по черзі між усіма серверами	Простота реалізації, рівномірний розподіл	Не враховує поточне навантаження

Алгоритм	Принцип роботи	Переваги	Недоліки
Least Connections	Запит направляється на сервер з мінімальною кількістю активних з'єднань	Адаптується до реального навантаження	Потребує постійного моніторингу стану вузлів
Weighted Round Robin	Серверам призначаються ваги відповідно до їх потужності	Враховує різну продуктивність вузлів	Складне налаштування вагових коефіцієнтів

Основні задачі дослідження зосереджені на: аналізі існуючих алгоритмів балансування навантаження; розробці моделі розподіленої системи на базі технології Клієнт-Сервер з використанням паралельних потоків; порівнянні ефективності алгоритмів за критеріями часу відповіді та пропускної здатності; визначенні оптимального підходу до балансування залежно від характеристик навантаження [4].

Шляхи вирішення. У розподіленій системі Клієнт-Сервер балансувальник навантаження розміщується між клієнтами та серверними вузлами. При надходженні запиту від клієнта балансувальник обирає цільовий вузол відповідно до обраного алгоритму і перенаправляє запит. Кожен серверний вузол обробляє запит у окремому паралельному потоці, що забезпечує одночасне обслуговування багатьох клієнтів [5]. Для математичної оцінки ефективності балансування використовується коефіцієнт рівномірності розподілу навантаження:

$$K_{rn} = 1 - (\sigma / \mu)$$

де σ — середньоквадратичне відхилення кількості запитів між вузлами; μ — середня кількість запитів на вузол. Значення K_{rn} близьке до 1 свідчить про рівномірний розподіл навантаження [6].

Таблиця 2. Результати порівняння алгоритмів при 1000 одночасних запитах

Алгоритм	Середній час відповіді (мс)	Пропускна здатність (зап/с)	Коефіцієнт рівномірності
Round Robin	42	238	0.97
Least Connections	31	312	0.94
Weighted Round Robin	28	347	0.91

Висновки. Виконано порівняльний аналіз алгоритмів балансування навантаження у розподілених системах Клієнт-Сервер. Показано, що алгоритм Weighted Round Robin забезпечує найкращу пропускну здатність (347 запитів/с) та найменший час відповіді (28 мс), однак потребує попереднього налаштування вагових коефіцієнтів. Алгоритм Least Connections є оптимальним для систем з непередбачуваним характером навантаження. Round Robin залишається доцільним для однорідних кластерів завдяки простоті реалізації. Подальші дослідження передбачають розробку адаптивного алгоритму балансування на основі моніторингу стану вузлів у реальному часі.

Література

1. Oracle. Writing the Server Side of a Socket. The Java Tutorials. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/networking/sockets/clientServer.html>
2. Oracle. Lesson: Socket Communications. Java Programming. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oracle.com/java/technologies/jpl2-socket-communication.html>
3. Oracle. Java SE Concurrency Tutorial. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/index.html>
4. Підвищення ефективності в системах клієнт-сервер через використання мереж CDN. Науковий вісник Львівської політехніки. 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2024/dec/37285/vsenew-95-108.pdf>
5. Моделі балансування навантаження у багатохмарних середовищах та особливості їх застосування. Адаптивні системи автоматичного управління. КІП. 2026 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://asac.kpi.ua/article/view/351883>
6. Leshchenko Yu., Yukhimchuk M., Lesko V., Ivanov Yu. Integrating Clustering and Artificial Intelligence for Improved Efficiency in Last-Mile Logistics. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2025. Vol. 84 (4). pp. 346-350. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-84-41>
7. Юхимчук М.С., Лесько В.О., Дубовой В.М., Іванов Ю.Ю. Інтелектуальна система автоматичного керування процесом сушіння зернових культур на основі IoT-технологій. Наукові праці ВНТУ. Вінниця: ВНТУ, 2025. №4. С. 1-8. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-4-46-53>
8. Yukhymchuk M.S., Lesko V.O., Ivanov Yu.Yu., Strembitskiy P.P. Development and Research of the Hardware and Software Architecture of an IoT-Node for Monitoring Technological Parameters Based on Nodemcu V3 and Prometheus. Measuring Technology and Metrology. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2026. Issue 87, № 1. pp. 59-62. <https://doi.org/10.23939/istcm2026.01.059>
9. Юхимчук М.С., Лесько В.О., Іванов Ю.Ю., Горчук Ю.А., Климчук О.В. Проектування системи автоматичного управління технологічним процесом сушіння зерна. Наукові праці ВНТУ. Вінниця: ВНТУ, 2026. № 1. С. 1-17.

Любунь Микита Сергійович – студент групи 2ПКТ-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: *Юхимчук Марія Сергіївна* – професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: umc1987@vntu.edu.ua

Лесько Владислав Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: leskovlad@ukr.net

Севастьянов Володимир Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри Автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, e-mail: sevastyanov.vladimir@vntu.edu.ua

Lyubun Mykyta Serhiiovych – student of group 2PKT 24-b, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: *Yukhymchuk Maria Serhiivna* – Professor of the Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytske Shose, 95, e-mail: umc1987@vntu.edu.ua

Vladyslav Oleksandrovykh Lesko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytske Shose, 95, e-mail: leskovlad@ukr.net

Sevastiyanov Volodymyr Mykolayovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation and Intellectual Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Khmelnytske Shosse, 95, e-mail: sevastiyanov.vladimir@vntu.edu.ua