

# КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.38

DOI:10.34229/2707-451X.24.1.7

Н.В. КРАВЧЕНКО, А.Л. ГОЛОВИНСЬКИЙ, А.Л. ГРАБОВСЬКИЙ,  
А.Л. МАЛЕНКО

## РОЛЬ СУПЕРКОМП'ЮТЕРА У СУЧАСНОМУ СВІТІ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Вступ.** Що таке суперкомп'ютер та для чого він потрібен? Які його функції? Яке місце він займає серед обчислювальної техніки? Відповіддю на ці питання послужить оглядова стаття про місце суперкомп'ютера у сучасному світі та в житті пересічного громадянина.

Суперкомп'ютером вважають клас наявних найпотужніших комп'ютерних систем, які оцінюють у порівнянні з існуючими у даний момент комп'ютерними системами широкого використання та рівнем розвитку технологій.

Розбираючи питання, що являє собою суперкомп'ютер та які функції він виконує, потрібно у першу чергу зануритися у його еволюцію.

Про створення першого суперкомп'ютера було заявлено в 1976 році. Саме тоді з'явився Cray-1 (рис.1) [1]. Особливість CRAY-1 полягала у тому, що працюючи з обмеженим на той час набором програм він показав вражаючі результати та цілком заслужено отримав назву «суперкомп'ютер».

Перша потужна обчислювальна машина функціонувала на інтегральних мікросхемах (IC), завдяки яким створювалась щільність упаковки логічних елементів при високій надійності, чого не було у попередніх потужних машин, які використовували транзистори. Це дало можливість підвищити час на такт до 12,5 нс (80 МГц) без втрати продуктивності (у попередніх конкурентних машинах CDC 8600 даний показник складав 8 нс (125 МГц)). Також на зміну багатопроцесорній системі прийшов векторний процесор (як у конкурента CDC STAR-100).

Саме з цього моменту і розпочався розвиток всієї індустрії високопродуктивних обчислень. І хоча еволюція розвитку програмного забезпечення постійно вдосконалювалася та розвивалася (з'являлися нові системи, характеристики яких кардинально відрізнялися від CRAY-1), початкове поняття суперкомп'ютера довелося неодноразово переглядати.

*Суперкомп'ютери розвиваються з кожним роком в геометричній прогресії: швидкість їх подвоюється, дослідники та інженери вирішують ті завдання, які раніше не можливо було обчислити. У даній статті наведено еволюцію потужних обчислювальних машин на світовому ринку.*

**Ключові слова:** суперкомп'ютер, архітектура обчислювальних машин, FLOPS.

© Н.В. Кравченко, А.Л. Головинський,  
А.Л. Грабовський, А.Л. Маленко, 2024

Національний центр атмосферних досліджень (NCAR) став першим замовником CRAY-1 та почав активно працювати на потужній обчислювальній машині починаючи з липня 1977 року. Такими кроками NCAR поступово став на шлях розвитку потужніших суперкомп'ютерів, вдосконалюючи поступово їх характеристики, які з часом затьмарили свого попередника.



РИС. 1. Суперкомп'ютер Cray-1

У 1978 році для CRAY-1 був створений та випущений перший свого роду стандарт пакету програмного забезпечення – операційна система (Cray Operating System, COS), мова асемблера CRAY (Cray Assembly Language, CAL) та перший компілятор Fortran з автоматичною векторизацією [2]. У 1979 році на суперкомп'ютері Cray-1S відбулося оновлення системи введення-виведення, яка вважалася основним недоліком з огляду на обсяг пам'яті – вдалося збільшити діапазон від 1 до 4 мільйонів слів.

1982 рік став переломним з точки зору фінансування: у системі суперкомп'ютера Cray-1M вдалося використати сучасні та той момент та менш дорогі компоненти, які дозволили при тій же продуктивності, що і Cray-1S, зменшити вартість потужної машини майже в два рази (з 8–13,3 до 4–7 мільйонів доларів). В цьому ж році почалася активна робота над наступною моделлю Cray-2, яка тривала 5 років. Також паралельно відбувалося і створення нового багатопроцесорного комп'ютера Cray X-MP на основі Cray-1.

На початку 1990-х років виникла необхідність отримання порівняльних характеристик суперкомп'ютерів. Рейтинги 1986–1992 років із метриками, заснованими на кількості векторних процесорів, стали поштовхом для створення єдиної методики порівняння суперкомп'ютерів [1].

На початку 1993 року Джек Донгарр прийняв участь у даному проєкті зі своєю доповіддю Linpack. Вже в травні 1993 року була готова перша версія рейтингу, основою якої були дані з мережі, що включали статистику по суперкомп'ютерам та перелік найпотужніших світових обчислювальних вузлів [3, 4]. На підставі цієї інформації і формувалися перші два списки Top500.

Починаючи з 1993 року та до 2013 року Top500 складався двічі на рік та містив лише інформацію від організацій, у яких встановлені комп'ютери, та інформацію від їх виробників, отриманих на основі запиту, котрий розсилався за 8 тижнів до публікації нового рейтингу [5].

Починаючи з 2013 року прийнято новий тест для ранжування суперкомп'ютерів, запропонований Джеком Донгарром – High Performance Conjugate Gradient (HPCG) [6]. Так, у 2014 році був опублікований перший рейтинг на базі HPCG, у результаті чого на першому місці вперше опинився суперкомп'ютер з Китаю Тяньхе-2 з результатом у 0,58 HPCG PFLOPS (при 55 теоретичних пікових PFLOPS) [7]. Також іншим альтернативним тестом вважається High Performance Geometric Multigrid (HPGMG) [8]. З 2014–2018 років спостерігалось стрімке зростання кількості суперкомп'ютерів у Китаї, що пояснюється державною стратегією п'ятирічки завоювання першості у високих технологіях.

Суперкомп'ютер на сьогоднішній день вважається передовою обчислювальною технікою. На середину 2023 року найпотужнішим суперкомп'ютером у світі вважають Frontier (таблиця) [9], який у кінці 2022 року витіснив з першого місця суперкомп'ютер Fudaku. Будівництво даного суперкомп'ютера обійшлося у величезну суму – 600 мільйонів доларів. Він складається з 74 блоків, вага кожного дорівнює 3,5 тонни. Особливістю Frontier є те, що він є першим ексафлопним суперкомп'ютером, тобто виконує один ексафлоп (EFLOP) операцій з плаваючою комою в секунду. Простими словами, при обчисленні поставленої задачі він виконує квінтильйон (мільярд мільярдів) операцій в секунду.

ТАБЛИЦЯ. Топ – 10 суперкомп'ютерів у світі у 2023 році

№ №	Системи	Кількість процесорних ядер	Продуктивність Rmax (PFlop/s)	Продуктивність Rpeak (PFlop/s)	Потужність (kW)
1	Frontier, США	8,699,904	1,194.00	1,679.82	22,703
2	Supercomputer Fugaku, Японія	7,630,848	442.01	537.21	29,899
3	LUMI, Фінляндія	2,220,288	309.10	428.70	6,016
4	Leonardo, Італія	1,824,768	238.70	304.47	7,404
5	Summit, США	2,414,592	148.60	200.79	10,096
6	Sierra, США	1,572,480	94.64	125.71	7,438
7	Sunway TaihuLight, Китай	10,649,600	93.01	125.44	15,371
8	Perlmutter, США	761,856	70.87	93.75	2,589
9	Selene, США	555,520	63.46	79.22	2,646
10	Tianhe-2A, Китай	4,981,760	61.44	100.68	18,482

Сьогодні суперкомп'ютери допомагають вирішувати низку поставлених завдань у різних галузях – медицині, фізиці, математиці, енергетиці тощо. Схожість домашнього та суперкомп'ютера полягає в їх функціях – зберіганні та обробці даних, належності до тієї ж самої фон Неймановської архітектури (архітектури обчислювальних машин, особливістю якої є спільне зберігання даних і машинних команд у комірках однієї і тієї ж пам'яті). А от відмінність величезна у кількісних характеристиках: це масиви даних, які можуть оброблятися на цих пристроях та швидкість виконання поставлених задач. До речі, саме для вимірювання швидкості суперкомп'ютерів було запропоновано нову одиницю вимірювання – FLOPS, яка служить основою при складанні рейтингу суперкомп'ютерів. Саме цією одиницею вимірюється продуктивність – чим вище число, тим комп'ютер вважається потужнішим.

FLOPS – позасистемна одиниця для вимірювання продуктивності комп'ютерів, яка вказує скільки операцій з плаваючою комою за секунду виконує дана обчислювальна система [10, ст. 17]. Величина FLOPS, як і інші показники продуктивності, визначається шляхом запуску тестової програми на дослідному комп'ютері. Саме завдяки тесту і отримують результати з кількості виконаних операцій та часу, витраченому на вирішення поставлених завдань.

На рис. 2 показано еволюцію у FLOPS продуктивності найкращих суперкомп'ютерів у світі за роками.

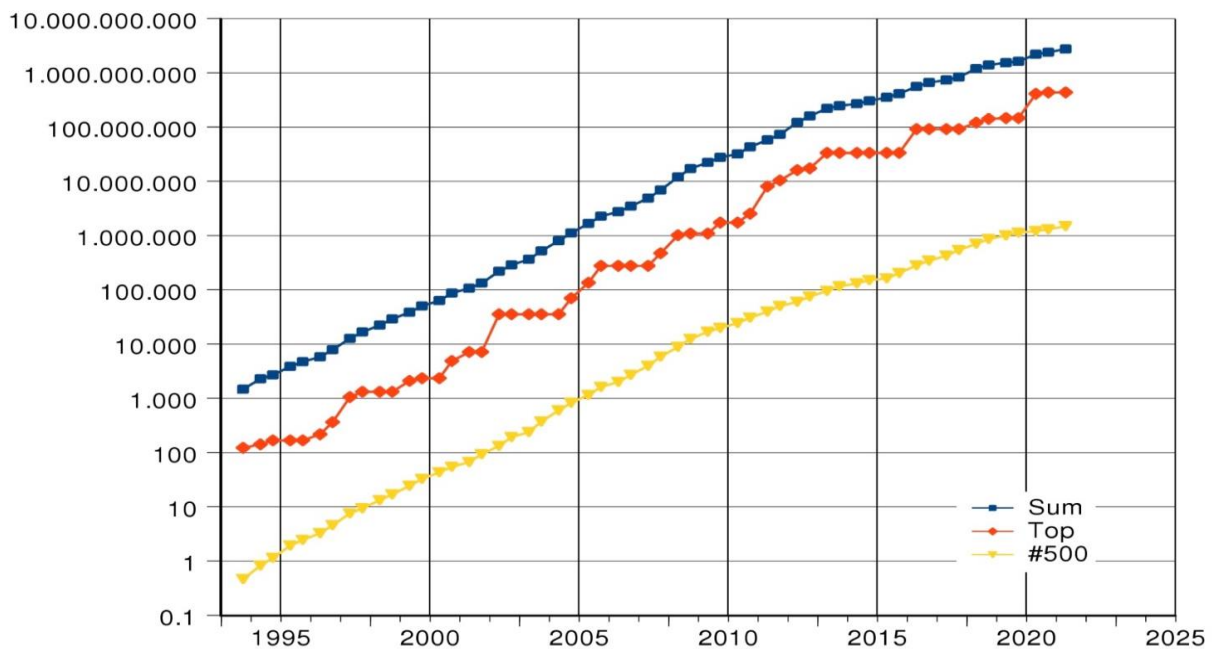


РИС. 2. Експонентне зростання продуктивності суперкомп'ютерів у флопсах [11]

FLOPS як величина виміру продуктивності стала новим стандартом, який може мати величезне значення при придбанні будь-якого обчислювального засобу.

Водночас інші схожі величини є відносними та дають можливість побудови оцінки досліджуваної системи лише у порівнянні з іншими існуючими системами. Саме ця особливість дає можливість використовувати різноманітні алгоритми для оцінки результатів роботи і навіть прогнозувати

продуктивність тих обчислювальних систем, яких ще не існує або які перебувають у розробці.

**Висновки.** Суперкомп'ютери розвиваються з кожним роком у геометричній прогресії. Їх швидкість подвоюється, дослідники та інженери вирішують ті завдання, які раніше не можливо було обчислити. Завдяки потужним обчислювальним машинам вирішуються непосильні для персональних комп'ютерів принципово нові надскладні задачі великої розмірності у різних сферах діяльності науки та техніки, енергетики, медицини, економіки та інших галузях.

**Авторські внески.** Кравченко Н.В. – дослідження, концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальна чернетка; Головинський А.Л. – узагальнення, формальний аналіз, написання – рецензування та редагування; Грабовський А.Л. – програмне забезпечення, візуалізація; Маленко А.Л. – узагальнення, ресурси.

#### Список літератури

1. The CRAY-1 computer system. [https://pages.cs.wisc.edu/~markhill/restricted/cacm78\\_cray1.pdf](https://pages.cs.wisc.edu/~markhill/restricted/cacm78_cray1.pdf) (звернення: 17.01.2024)
2. Seymour Cray's Legendary Supercomputer Legacy. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/seymour-cray/> (звернення: 17.01.2024)
3. Статистика по суперкомп'ютерам Мангейма, 1986–1992. <https://top500.org> (звернення: 17.01.2024)
4. The TOP25 Supercomputer Sites. <https://netlib.org/benchmark/top500/reports/report95/Centers/Centers.html> (звернення: 17.01.2024)
5. Erich Strohmaier and the Top500: A list that's taken on a life of its own. <https://crd.lbl.gov/news-and-publications/news/2012/erich-strohmaier-and-the-top500-a-list-that-s-taken-on-a-life-of-its-own/> (звернення: 17.01.2024)
6. Dongarra J., Heroux M.A. Toward a New Metric for Ranking Hight Performance Computing Systems. Sandia Report, June, 2013. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1089988> (звернення: 17.01.2024)
7. Hemsoth Nicole. New HPC Benchmark Delivers Promising Results, HPCWire. <https://www.hpcwire.com/2014/06/26/development-pushes-ahead-new-hpc-benchmark/> (звернення: 17.01.2024)
8. Higt Performance Geometric Multigrid (HPGMG). <https://crd.lbl.gov/divisions/amcr/computer-science-amcr/par/research/hpgmg/> (звернення: 17.01.2024)
9. Топ 500. <https://www.top500.org/lists/top500/2023/06/> (звернення: 17.01.2024)
10. Жихарев В.М., Павлишин Р.Є. Основи метрології та стандартизації. Цикл лекційних і практичних занять. Навчально-методичний посібник. Ужгород: ТОВ "РІК-У", 2020. 280 с.
11. Вікіпедія: Вільна Енциклопедія. <https://uk.wikipedia.org/wiki/ТОП500> (звернення: 17.01.2024)

Одержано 17.01.2024

#### **Кравченко Наталія Володимирівна,**

кандидат економічних наук, інженер-програміст 1 категорії  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

#### **Головинський Андрій Леонідович,**

завідувач лабораторії, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

#### **Грабовський Андрій Леонідович,**

молодший науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

#### **Маленко Андрій Леонідович,**

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.



УДК 004.38

Н.В. Кравченко\*, А.Л. Головинський, А.Л. Грабовський, А.Л. Маленко

## Роль суперкомп'ютера у сучасному світі інноваційних технологій

*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ*

\* Листування: [icybcluster@gmail.com](mailto:icybcluster@gmail.com)

**Вступ.** Що таке суперкомп'ютер та для чого він потрібен? Яке місце він займає серед обчислювальної техніки? Завдяки даній статті визначимо еволюцію та роль суперкомп'ютера у сучасному світі та в житті пересічного громадянина.

Суперкомп'ютер – це клас наявних найпотужніших комп'ютерних систем, які оцінюють у порівнянні з існуючими у даний момент комп'ютерними системами широкого використання та рівнем розвитку технологій. В цілому під терміном «суперкомп'ютер» мається на увазі комплекс серверних комп'ютерів. Всі вони підключені один до одного та працюють паралельно через високошвидкісну мережу.

Схожість домашнього та суперкомп'ютера полягає у їх функціях – зберіганні та обробці даних, належності до тієї ж самої фон Неймановської архітектури (архітектури обчислювальних машин, особливістю якої є спільне зберігання даних і машинних команд у комірках однієї і тієї ж пам'яті). А от відмінність величезна у кількісних характеристиках: це масиви даних, які можуть оброблятися на цих пристроях та швидкість виконання поставлених задач. До речі, саме для вимірювання швидкості суперкомп'ютерів було запропоновано нову одиницю вимірювання – FLOPS. Саме завдяки даній величині і вимірюється продуктивність – чим вище число, тим комп'ютер вважається потужнішим і яке служить основою при складанні рейтингу суперкомп'ютерів.

**Висновки.** Сьогодні суперкомп'ютери допомагають вирішувати низку поставлених завдань в різних галузях – медицині, фізиці, математиці, енергетиці тощо та вважаються передовою обчислювальною технікою. Традиційно суперкомп'ютери не вважають рідкістю: їх розвиток відбувається постійно та вони приносять чимало користі у багатьох сферах. У перспективі потужні обчислювальні машини здатні стати основними помічниками у галузях, тісно пов'язаних з машинним навчанням та штучним інтелектом.

**Ключові слова:** суперкомп'ютер, еволюція розвитку, архітектура обчислювальних машин, FLOPS.

UDC 004.38

Nataliia Kravchenko\*, Andrii Golovynskyi, Andrii Grabowski, Andrii Malenko

## The Role of the Supercomputer in the Modern World of Innovative Technologies

*V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv*

\* Correspondence: [icybcluster@gmail.com](mailto:icybcluster@gmail.com)

What is a supercomputer and why is it needed? What place does it occupy among computing equipment? Thanks to this article, we will determine the evolution and role of the supercomputer in the modern world and in the life of an average citizen.

A supercomputer is a class of the most powerful computer systems available, which are evaluated in comparison with currently existing general purpose computer systems and the level of technology development. In general, the term "supercomputer" refers to a complex of server computers. All of them are connected to each other and work in parallel through a high-speed network.

The similarity of a home computer and a supercomputer lies in their functions – data storage and processing, belonging to the same von Neumann architecture (the architecture of computing machines, the feature of which is the joint storage of data and machine commands in cells of the same memory). But the difference is huge in quantitative characteristics: these are the arrays of data that can be processed on these devices and the

speed of performing the assigned tasks. By the way, a new unit of measurement – FLOPS – was proposed for measuring the speed of supercomputers. It is thanks to this value that performance is measured - the higher the number, the more powerful the computer is and which serves as the basis for ranking supercomputers.

Today, supercomputers help solve a number of tasks in various fields – medicine, physics, mathematics, energy, etc. and are considered advanced computing technology. Traditionally, supercomputers are not considered rare: their development is ongoing and they bring a lot of benefits in many areas. In the future, powerful computing machines can become the main assistants in fields closely related to machine learning and artificial intelligence.

**Keywords:** supercomputer, development evolution, computer architecture, FLOPS.