

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ І РОЗПОДІЛЕННЯ ОБЧИСЛЕНЬ

© Семчишин Ю., Федасюк Д., 2007

Здійснено класифікацію та аналіз сучасних методів та засобів розпаралелення і розподілення обчислень, а також запропоновано метод оцінки обчислювальної складності та часових затрат систем розподілення обчислень.

In this paper the classification and analysis of modern methods and facilities of parallel and distributed computing is performed. Also, the method of estimation of computational complexity and time losses of distributed computing systems is offered.

### Вступ

Паралельні обчислення (Parallel computing) — одночасне виконання певної комбінації наборів інструкцій та даних на багатьох процесорах з метою швидшого отримання результатів [1].

Розподілені обчислення (Distributed Computing) — спосіб розв’язання складних обчислювальних задач із залученням великої кількості виконавців, що працюють одночасно над різними частинами задачі [2].

За допомогою паралельних та розподілених обчислень сьогодні вирішуються надскладні обчислювальні завдання (так звані “Grand Challenges”) — фундаментальні наукові або інженерні завдання з широкою областю застосування, ефективне виконання яких можливе тільки з використанням потужних обчислювальних ресурсів.

Системи розподілення обчислень стали останнім часом надзвичайно використовуваними. Це зумовлено трьома основними причинами:

- зростанням потреби у виконанні складних обчислювальних завдань;
- стрімким підвищенням швидкодії систем розподілення обчислень;
- на порядок нижчою вартістю порівняно з суперкомп’ютерами.

Саме тому системи розподілення обчислень стають оптимальним рішенням для багатьох організацій [3].

### Сучасні засоби реалізації

Сьогодні домінують такі три групи засобів реалізації розподілених і паралельних обчислень:

- MPI (Message Passing Interface) — наприклад, MPICH або LAM/MPI;
- grid — зокрема DC Grid і Globus Toolkit;
- системи класу @home — Folding@home, Rosetta@home, Darwin@home, SETI@home тощо.

Кожна з перелічених вище груп засобів реалізації розподілених і паралельних обчислень має унікальні особливості, які й визначають конкретну область застосування, в межах якої використання цього засобу буде найвиправданішим (рис. 1).

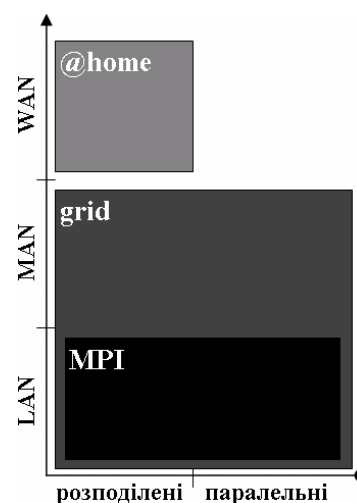


Рис. 1. Застосовність сучасних засобів реалізації розподілення і розпаралелення обчислень

## Класифікація розподілених та паралельних архітектур

Загалом обчислення можна поділити на звичайні (локальні), паралельні та розподілені (рис. 2). На думку деяких авторів, розподілені обчислення є частковим випадком паралельних, проте, на нашу думку, така класифікація не цілком коректна, що підтверджується принциповими відмінностями в методах та засобах реалізації цих видів обчислень.

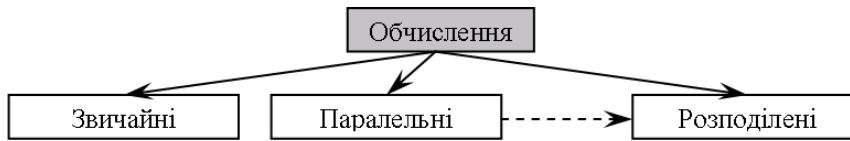


Рис. 2. Види обчислень

Загальноприйнятою є класифікація архітектур паралельних обчислювальних систем за М. Флінном (M. Flynn) на SISD (Single Instructions Single Data), SIMD (Single Instructions Multiple Data), MISD (Multiple Instructions Single Data) та MIMD (Multiple Instructions Multiple Data) системи (рис. 3) [4].

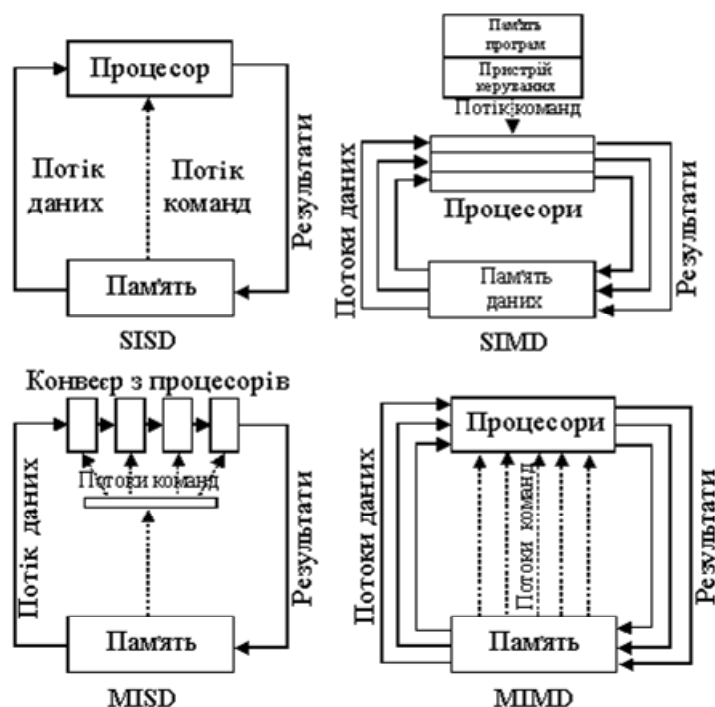


Рис. 3. Класифікація паралельних архітектур за Флінном

Проте така класифікація практично не застосовна до систем розподілення обчислень, оскільки не підкреслює принципові відмінності між ними. На нашу думку, можна виділити три основні типи архітектур систем розподілення обчислень:

- однорівнева організація (або “client–server”);
- дворівнева організація (наприклад, grid);
- багаторівневі організації (зокрема ієрархічна).

### Проблема оцінки обчислювальної складності

Оцінку обчислювальної складності алгоритмів, що реалізуються системами розподілення обчислень, здійснити доволі важко, оскільки необхідно взяти до уваги:

- складність виокремлення елементарної операції без прив’язки до конкретного поставленого перед системою завдання;
- одночасність виконання екземплярів системи на багатьох просторово розмежованих комп’ютерах.

Найкращим виходом є розгляд розподілення обчислень як самовартісного та єдиного цілого. Так, якщо прийняти за елементарну операцію залучення до виконання поставленого завдання одного виконавця та розглядати систему загалом, то можна порівняно легко для кожного алгоритму розподілення обчислень визначити його обчислювальну складність [5].

Оцінку часових затрат для алгоритмів, що реалізуються системами розподілення обчислень, можна здійснювати згідно з (1):

$$K_T = \frac{\sum_{t=0}^T N - N_t}{T \cdot N}, \quad (1)$$

де  $K_T$  — коефіцієнт ефективності використання часу;  $T$  — загальний час виконання завдання;  $N$  — загальна кількість виконавців;  $N_t$  — кількість виконавців, задіяних на момент часу  $t$ .

### Однорівнева організація

Однорівневу організацію систем розподілення обчислень схематично зображено на рис. 4. З цього рисунка видно, що вся робота з розподілення обчислень та збирання результатів виконується сервером; виконавці ж зайняті виключно виконанням частин самого завдання. Отже, сервер, що на рисунку затінений сірим, фактично не бере участі власне у виконанні завдання, навіть за наявності вільних ресурсів.



Рис. 4. Однорівнева організація

Однорівнева інфраструктура є найпростішою із усіх можливих. У ній є тільки один центр управління. Однією з перших публічних систем розподілення обчислень, що мали однорівневу організацію, була система SETI@home, створена групою дослідників з Університету Берклі. Проте не можна забувати, що програмні засоби подібних проектів дають змогу побудувати розподілене середовище лише для одного застосування, а користувачів в такому середовищі фактично немає: підключення до проекту зводиться до надання ресурсів. Зрозуміло, що такий обмежений підхід навряд чи є доцільним [6], [7].

У разі однорівневої організації обчислювальна складність розподілення обчислень системою з  $n$  виконавцями, очевидно, становить  $O(n)$ .

Динаміку часових затрат для систем розподілення обчислень з однорівневою організацією наочно подано на рис. 5.

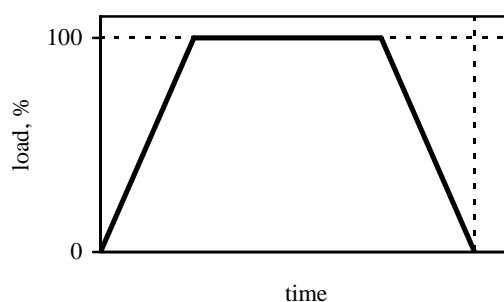


Рис. 5. Часові затрати при однорівневій організації

### Дворівнева організація

Саме дворівнева організація систем розподілення обчислень є стандартом de facto для технології grid. На відміну від однорівневої організації, вона є дещо раціональнішою. Відмінності пов'язані зі створенням і обслуговуванням наявної ресурсної інфраструктури. Засоби доступу до ресурсів у системі розподілення обчислень з дворівневою організацією припускають, що вузол — це багатомашинний комплекс з локальним управлінням у вигляді менеджера ресурсів. Якщо локальна інфраструктура вже є достатньо розвинутою, такий підхід повністю виправданий і дає змогу зберегти принципи організації адміністративних доменів: локальні засоби, політики безпеки, управління тощо. Якщо ж досвіду роботи з кластерними комплексами немає, а віртуальна організація створюється на короткий час з машин індивідуальних власників, то дворівнева архітектура стає невиправдано громіздкою [8], [9].

Дворівневу організацію систем розподілення обчислень схематично зображено на рис. 6. З цього рисунка можна побачити, що вся робота з розподілення обчислень та збирання результатів виконується глобальним сервером та множиною підпорядкованих йому локальних серверів тієї чи іншої інфраструктури; виконавці ж зайняті виключно виконанням частин самого завдання. Отже, глобальний сервер та локальні сервери, що на рисунку затінені сірим, фактично не беруть участі власне у виконанні завдання, навіть за наявності вільних ресурсів.

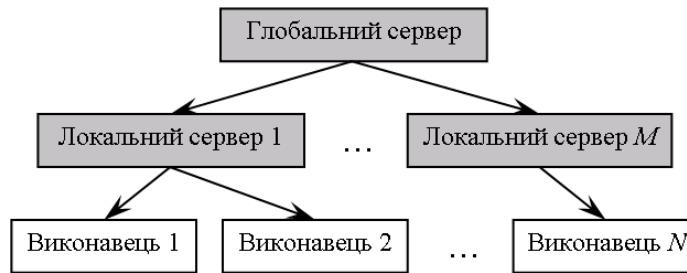


Рис. 6. Дворівнева організація

У разі дворівневої організації обчислювальна складність розподілення обчислень системою з  $n$  виконавцями становить  $O(2\sqrt{n})$ . Також неважко показати, що для класичної організації системи розподілення обчислень з  $m$  рівнями та  $n$  виконавцями обчислювальна складність розподілення становитиме  $O(m^m \sqrt{n})$ .

Динаміку часових затрат для систем розподілення обчислень з дворівневою організацією наочно подано на рис. 7.

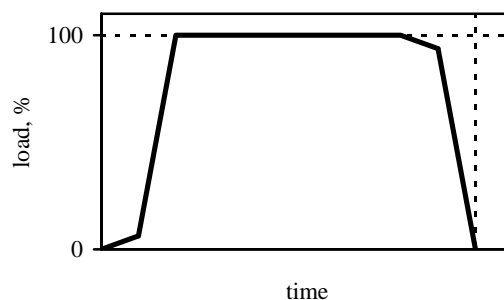


Рис. 7. Часові затрати при дворівневій організації

## Ієрархічна організація

Багаторівневі організації систем розподілення обчислень використовуються порівняно рідко, переважно через складність їхньої програмної реалізації. Проте існує велика кількість можливих багаторівневих організацій, кожна з яких може бути максимально ефективною залежно від специфічних особливостей тієї чи іншої задачі [10].

Один з часткових випадків багаторівневої організації системи розподілення обчислень схематично зображено на рис. 8. З цього рисунка можна побачити, що робота з розподілення обчислень та збирання результатів також є розподіленою та виконується виконавцями разом з виконанням частин самого завдання. Отже, на рисунку немає об'єктів, затінених сірим, які б не брали участі у виконанні завдання за наявності вільних ресурсів.

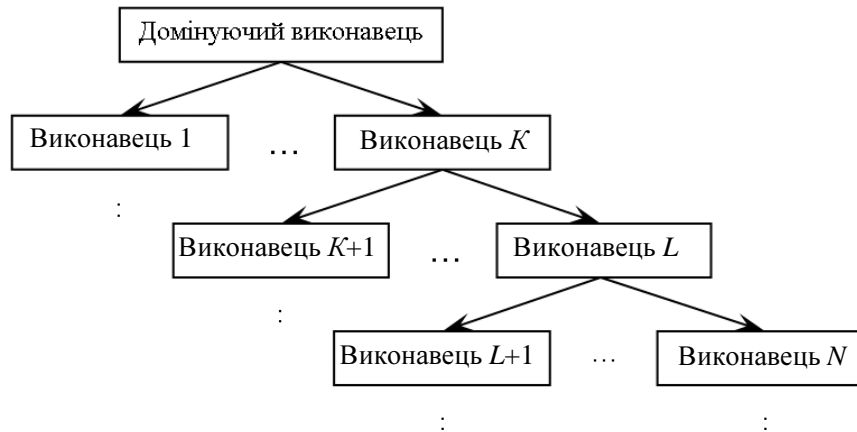


Рис. 8. Ієрархічна організація

У разі ієрархічної організації обчислювальна складність розподілення обчислень системою з  $n$  виконавцями, очевидно, становить  $O(\log n)$ . Зрозуміло, що неможливо перепроєктувати систему розподілення обчислень після кожної зміни загальної кількості виконавців, саме тому ієрархічна організація таких систем виглядає, в загальному випадку, найдоцільнішою з можливих, оскільки дає змогу досягти оптимальної швидкості розподілення при будь-якій кількості виконавців.

Динаміку часових затрат для систем розподілення обчислень з ієрархічною організацією наочно подано на рис. 9.

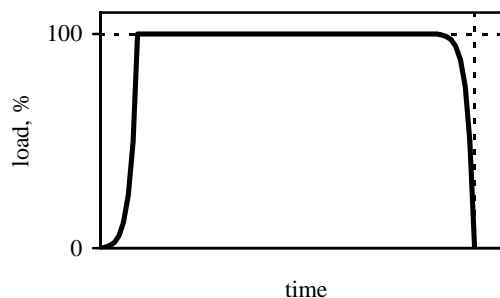


Рис. 9. Часові затрати при ієрархічній організації

## Результати

З метою порівняння отримані значення обчислювальної складності алгоритмів розподілення обчислень подано у вигляді графіка на рис. 10.

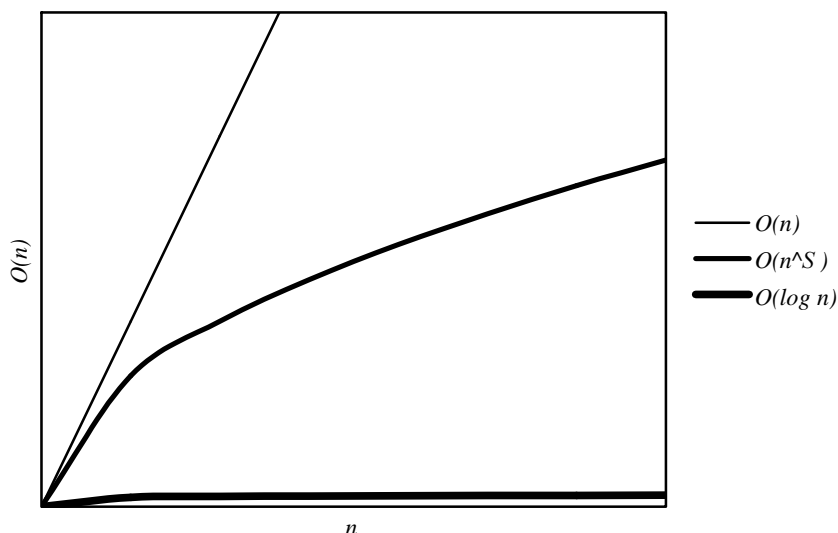


Рис. 10. Порівняння обчислювальних складностей

Очевидно, що обчислювальна складність та часові затрати систем розподілення обчислень з ієрархічною організацією є, в загальному випадку, оптимальними.

Також у межах цієї роботи було розроблено систему розподілення обчислень з ієрархічною організацією Cerberus та тестове завдання пошуку простих чисел методом повного перебору Primes. При розробці було використано технологію Microsoft .NET та мову програмування Visual C# середовища Microsoft Visual Studio 2005.

Розроблення цих програмних засобів зробило можливим виконання серії експериментів, та отримання результатів, поданих у вигляді діаграми на рис. 11. З цієї діаграми можна побачити, що час виконання тестового завдання при ієрархічній конфігурації системи розподілення обчислень є стабільно мінімальним. Виконання очевидних розрахунків дає середнє значення переваги ефективності ієрархічної організації над однорівневою на рівні 25,39 %.

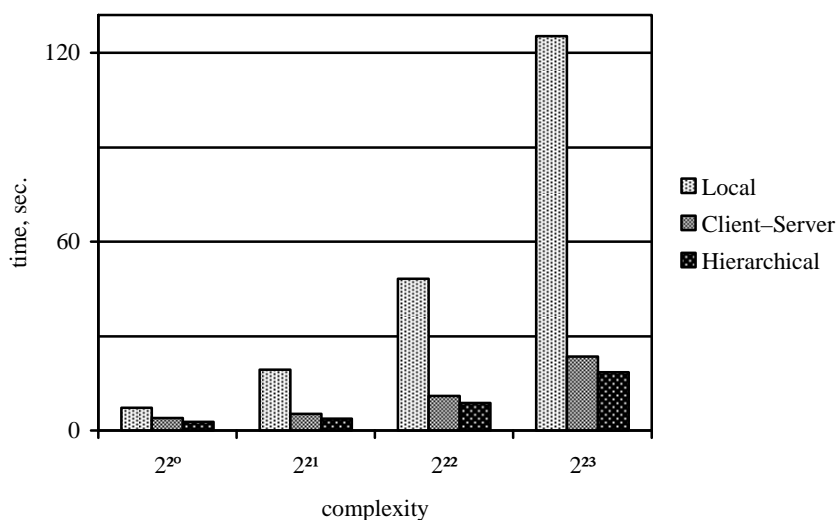


Рис. 11. Результати серії експериментів

## Висновки

Кожна з домінуючих сьогодні груп засобів реалізації розподілених і паралельних обчислень має свою область застосування, тому вибір оптимального рішення є достатньо складною задачею.

Запропоновані у межах цієї роботи принципово нові методи оцінки обчислювальної складності та часових затрат алгоритмів, що реалізуються системами розподілення обчислень, зробили можливими легкі порівняння та оцінку таких систем.

Обчислювальна складність алгоритмів, що реалізуються при ієрархічній організації систем розподілення обчислень, є, в загальному випадку, оптимальною.

1. *Параллельные вычисления.* — <http://ru.wikipedia.org/wiki/Параллельные%20вычисления>.
2. *Распределённые вычисления.* — <http://ru.wikipedia.org/wiki/Распределённые%20вычисления>.
3. Гофф М. К. *Сетевые распределённые вычисления: достижения и проблемы: Пер. с англ.* — М.: КУДИЦ–Образ, 2005. — 320 с.
4. Топорков В. В. *Модели распределённых вычислений.* — М.: Физматлит, 2004. — 320 с.
5. Yuriy Semchyshyn, Dmytro Fedasyuk. *Analysis of Computational Complexity and Time Losses of the Distributed Computing Systems // Proceedings of the IX<sup>th</sup> International Conference CADSM–2007.* — 2007. — pp. 415–417.
6. Эндрюс Г. Р. *Основы многопоточного, параллельного и распределённого программирования: Перевод с английского.* — М.: Вильямс, 2003. — 512 с.
7. Скосир О., Шолох А. *Підсистема виконання завдань розподіленої системи паралельних обчислень // Матеріали 1-ї Міжнародної конференції молодих науковців CSE–2006.* — 2006. — С. 70–71.
8. Коваленко В., Корягин Д. *Организация grid: есть ли альтернативы?.* — <http://www.osp.ru/text/302/184888/>.
9. Ткач Ю., Скосир О. *Розподілена система паралельних обчислень для розв'язку задач великої розмірності // Матеріали 1-ї Міжнародної конференції молодих науковців CSE–2006.* — 2006. — С. 80–81.
10. Воеводин В. В., Воеводин В. В. *Параллельные вычисления.* — Санкт-Петербург: ВHV-Петербург, 2002. — 608 с.