

# Інфокомунікаційні системи

УДК 004.75

Б.Г. Айрапетян

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків*

## РІЗНОВИДИ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ. АРХІТЕКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

*Сучасні організації все більше і більше потребують виконувати велику кількість складних (з точки зору обчислення) завдань на величезних обсягах даних. Такі завдання потребують значних обчислювальних ресурсів та не можуть бути вирішені на звичайному комп'ютері за прийнятний час. Для вирішення подібних завдань використовують суперкомп'ютери або розподілені обчислювальні системи. Метою даної роботи є висвітлення підходів до конструювання розподілених обчислювальних систем, а також виявлення їх переваг та недоліків.*

**Ключові слова:** розподілена обчислювальна система, кластер, GRID, гетерогенна система, комп'ютерна мережа.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В наш час інформаційні технології використовуються всюди. Вони проникли у всі сфери нашого життя. Саме вони дають нам безкрайні можливості в різних задачах обробки інформації. З плином часу задачі, які ми виконуємо за допомогою інформаційних технологій, стають все більшими і більшими, а способи їх вирішення стають все складніше. Це значно підвищує вимоги до обчислювальної техніки і зумовлює її стрімкий розвиток.

Сучасні організації, в незалежності від того комерційні вони чи ні, потребують виконувати все більше і більше складних (з точки зору обчислювань) задач на величезних обсягах даних. Такі задачі потребують значних обчислювальних ресурсів і не можуть бути виконані на звичайному комп'ютері за прийнятний час (в деяких випадках цей час становить роки).

Для вирішення подібних завдань використовуються спеціально спроектовані суперкомп'ютери, але створення справжнього суперкомп'ютера технічно складна задача, яка потребує багато часу та значних витрат, тому до цього рішення прибігають у крайній необхідності. Якщо задача розбивається на велику кількість завдань, які слабо пов'язані між собою та можуть виконуватись паралельно, то для вирішення таких задач можна використовувати розподілені обчислювальні системи.

Розподілена обчислювальна система являє собою віртуальний суперкомп'ютер, що складається з вузлів (nodes), які об'єднані мережею. Для обробки задачі на розподіленій системі необхідно розділити одну велику задачу на багато значно менших завдань, кожне завдання розділити на ще менші (діли-

ти доти, доки не буде досягнутий потрібний рівень атомарності) і побудувати взаємозв'язок між ними. Тільки після цього система зможе коректно розподілити завдання між вузлами та в правильній послідовності їх виконати.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідність розділяти обчислювальні завдання і виконувати їх одночасно (паралельно) виникла задовго до появи перших обчислювальних машин.

Наприкінці XVIII століття у Франції під керівництвом Гаспара де Проні було розпочато роботу з уточнення логарифмічних і тригонометричних таблиць у зв'язку з переходом на метричну систему. Для її виконання був необхідний величезний на той час обсяг обчислень. Виконавці проекту були розбиті на три рівні:

- кваліфіковані фахівці-обчислювачі, від яких була потрібна акуратність при проведенні обчислень;
- організатори розподілу завдань та обробки отриманих результатів;
- організатори підготовки математичного забезпечення та узагальнення отриманих результатів (вищий рівень, до складу якого входили Адрієн Лезандр і Лазар Карно).

Роботу не було закінчено через революційні події 1799 року, однак ідеї де Проні підштовхнули Чарльза Беббіджа до створення аналітичної машини.

У 1973 році Джон Шох і Джон Хапп з каліфорнійського науково-дослідного центру Херох PARC написали програму, яка ночами запускалася в локальній мережі PARC і примушувала працюючі комп'ютери виконувати обчислення.

У 1978 році радянський математик В.М. Глушков працював над проблемою макроконверсних роз-

поділених обчислень. В своїй роботі «Словарь по кибернетике» [1] він запропонував ряд принципів розподілу роботи між процесорами. На базі цих принципів їм була розроблена ЕОМ ЄС-2701.

Фундаментальний внесок у теорію і практику обчислювальних і телекомунікаційних систем, комп'ютерних мереж і паралельних обчислювальних технологій внесли радянські та російські вчені, серед яких: В.В. Бурзін [2], В.С. Бурцев [3], В.В. Васильєв [4], В.В. Воєводін [5], Е.В. Євреїнов [6], І.В. Прангішвілі [7] та інші.

Величезний внесок у теорію та практику розподілених систем вносить книга Ендрю Таненбаума та Мартіна ван Стеена «Розподілені системи. Принципи та парадигми» [8].

У 1988 році Арьєн Ленстра і Марк Менес написали програму для факторизації довгих чисел. Для прискорення процесу програма могла запускатися на декількох машинах, кожна з яких обробляла свій невеликий фрагмент. Нові блоки завдань розсилалися на комп'ютери учасників з центрального сервера проекту по електронній пошті. Для успішного розкладання на множники числа завдовжки в сто знаків цій системі було потрібно два роки і кілька сотень персональних комп'ютерів.

З появою і бурхливим розвитком інтернету все більшої популярності стала отримувати ідея добровільного використання для розподілених обчислень комп'ютерів пересічних користувачів, з'єднаних через інтернет.

У січні 1996 року стартував проект GIMPS з пошуку простих чисел Мерсенна, використовуючи комп'ютери простих користувачів як добровільну обчислювальну мережу.

4 вересня 1998 року Ларі Пейдж та Сергій Брін засновують пошукову систему GoogleInc., яка використовує розподілені обчислення для пошуку сторінок, що відповідають умовам запиту в всесвітній мережі Інтернет.

17 травня 1999 на базі платформи BOINC був запущений проект SETI@home, який займається пошуком позаземного розуму шляхом аналізу даних з радіотелескопів, використовуючи добровільну обчислювальну мережу на базі GRID.

**Постановка задачі.** На сьогоднішній день для спрощення процесу організації та управління розподіленими обчисленнями створено безліч програмних комплексів, як комерційних, так і заснованих на відкритому коді. Але наступні проблеми не мають повного вирішення:

– повнота інфраструктури – існуючі системи не надають повної інфраструктури, а лише інструменти для побудови компонентів;

– балансування навантаження – більшість існуючих систем не забезпечують рівномірного балансування навантаження;

– надання простого та прозорого способу розширення системи – існуючі системи надають лише інструменти, які можуть використовувати розробники;

– автоматичне розгортання без вимкнення – більшість існуючих систем потребують вимкнення для модифікації.

**Метою даної роботи** є висвітлення підходів до конструювання розподілених обчислювальних систем, а також виявлення їх переваг та недоліків. Також описуються архітектурні особливості різноманітних розподілених обчислювальних систем.

## Розподілені обчислення

Розподілені обчислення або розподілена обробка даних – спосіб розв'язання трудомістких обчислювальних завдань з використанням двох і більше комп'ютерів, об'єднаних в мережу.

Розподілені обчислення є окремим випадком паралельних обчислень, тобто одночасного розв'язання різних частин одного обчислювального завдання декількома процесорами одного або кількох комп'ютерів. Тому необхідно, щоб завдання, що розв'язується, було сегментоване – розділене на менші задачі, що слабо пов'язані між собою та можуть обчислюватися паралельно. При цьому для розподілених обчислень доводиться також враховувати можливу відмінність в обчислювальних ресурсах, які будуть доступні для розрахунку різних задач. Проте, не кожне завдання можна «розпаралелити» і прискорити його розв'язання за допомогою розподілених обчислень, але в таких випадках розподілена система може виконувати багато таких завдань паралельно.

Послідовні обчислення в розподілених системах виконуються з урахуванням одночасного виконання декількох задач.

Особливістю розподілених обчислювальних систем, на відміну від локальних суперкомп'ютерів, є можливість майже необмеженого приросту продуктивності за рахунок горизонтального масштабування.

Розподілені обчислювальні системи можуть класифікуватися за наступними ознаками:

- організація;
- рівень зв'язаності компонентів;
- однорідність компонентів.

За типом організації розподілені обчислювальні системи можна розділити на:

- централізовані;
- децентралізовані;
- кластеризовані.

За рівнем зв'язаності компонентів розподілені обчислювальні системи можна розділити на:

- слабо зв'язані;
- сильно зв'язані.

За однорідністю компонентів їх можна розділити на

- гомогенні;
- гетерогенні.

Той чи інший тип обирається в залежності від загального призначення системи та завдань, які вона буде вирішувати.

Гетерогенні слабо зв'язані централізовані розподілені обчислювальні системи зазвичай називають GRID системами.

### Cloudcomputing та розподілені обчислювальні системи

Розподілена обчислювальна система являє собою віртуальний суперкомп'ютер для вирішення комплексних завдань, що можуть бути розбиті на велику кількість малих задач з слабким зв'язком між собою, які можна виконувати паралельно. Зовнішній користувач передає завдання в систему, а вже система розбиває завдання на менші задачі та вирішує, який саме вузол (елемент розподіленої системи) буди виконувати певну задачу.

На відміну від цього Cloud представляє собою технологію надання простого мережевого доступу за запитом до загального пулу конфігуруємих обчислювальних ресурсів. Частіше за все Cloud використовується для створення он-лайн сервісів, сховищ даних та побудови веб-ферм.

Таким чином Cloud не є розподіленою обчислювальною системою, але така система може бути побудована з використанням Cloud технології. В деяких випадках це може допомогти значно зменшити витрати на побудову розподіленої обчислювальної системи.

### Централізовані, децентралізовані та кластеризовані розподілені обчислювальні системи

Централізовані розподілені системи мають центр, який виконує розподілення задач між вузлами системи, контролює статуси виконання задач та керує їх пріоритетністю. Саме центр системи виступає її зовнішнім інтерфейсом, який приймає завдання та надає можливість зовнішнього впливу на систему.

Такі системи забезпечують дуже тісний контроль над процесом виконання задач. Також вони добре пристосовані до горизонтального масштабування в реальному часі без зупинки системи або втрат часу на переконфігурування.

Відмова звичайного вузла такої системи призведе до незначного зниження потужності, але система продовжить виконувати обчислення. Але очевидним слабким місцем є центр, втрата якого призведе до повної відмови усієї системи.

Через те, що центр відстежує виконання всіх завдань і задач системи, остаточна відповідь зовні-

шній системі, що ставила завдання, буде відправлена з затримкою. Такі системи найкраще підходять для вирішення великих завдань, для яких час, витрачений на відстежування завдання та повернення відповіді, не має значення.

Схема централізованої системи зображена на рис. 1.

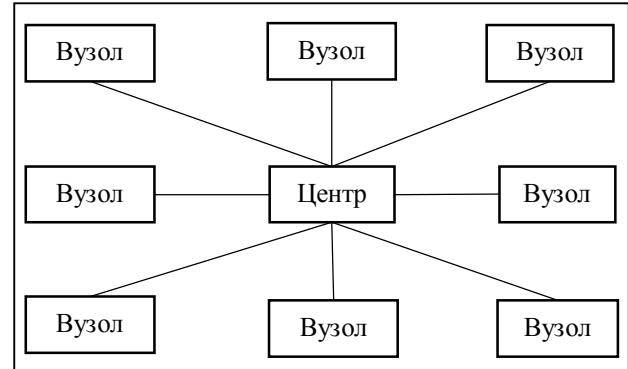


Рис. 1. Схема централізованої розподіленої обчислювальної системи

Децентралізовані або пірінгові розподілені обчислювальні системи не мають центру. Інтерфейсом системи може бути будь-який вузол, коли до вузла поступає завдання, він розбиває його на кілька задач та передає їх сусіднім вузлам. Звідси виникає невелика затримка при додаванні нового вузла, оскільки сусідні вузли повинні виявити його і сконфігурувати. Також в даному випадку є складності в проектуванні системи, де вузли мають різну конфігурацію, оскільки тоді складно відшукати вузол, що має певні ресурси.

Оскільки вузол-інтерфейс відстежує виконання невеликої кількості задач (на відміну від центру в централізованій системі, яка відстежує всі задачі системи), швидкість відповіді в таких системах максимальна, але це зменшує зовнішній контроль над процесом виконання.

Такі системи добре підходять для вирішення великої кількості однорідних задач на великому обсязі даних, коли швидкість відповіді критична (наприклад, пошук та індексація даних). Схема децентралізованої системи зображена на рис. 2.

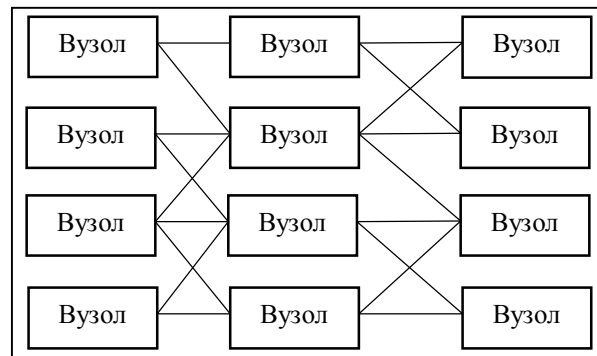


Рис. 2. Схема децентралізованої розподіленої обчислювальної системи

Кластеризовані розподілені обчислювальні системи є відокремленим різновидом централізованих розподілених систем, в яких існує поняття кластеру.

Кластером в даному випадку є частина розподіленої обчислювальної системи, призначена для виконання деякого обмеженого набору типів задач. Кластером може бути певна група спеціально сконфігурованих вузлів, або навіть окрема розподілена обчислювальна система. Це дозволяє більш раціонально використовувати доступні ресурси.

Кластеризовані системи мають значно більшу гнучкість, відмовостійкість та швидкість кінцевої відповіді, ніж звичайні централізовані системи. Але навіть при добре збалансованій конфігурації потребують моніторингу для виявлення найбільш зайнятих кластерів та переміщення ресурсів з менш зайнятих кластерів. Схема кластеризованої системи зображена на рис. 3.

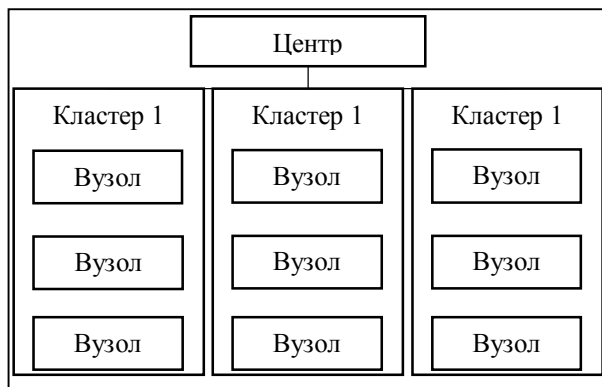


Рис. 3. Схема кластеризованої розподіленої обчислювальної системи

### Слабо зв'язані та сильно зв'язані розподілені обчислювальні системи

В слабо зв'язаних системах кожен вузол є окремим компонентом і не залежить від інших вузлів системи та не використовує спільні з ними ресурси (загальні сервіси та інші). Це значно збільшує відмовостійкість як окремого вузла, так і системи в цілому.

В сильно зв'язаних системах вузли використовують спільні ресурси. Це може спростити розробку системи, зменшити витрати на розробку та підвищити швидкість обробки завдань у випадку їх невеликої кількості. Але цього слід уникати, оскільки залежність вузлів від спільних ресурсів знижує відмовостійкість та стабільність системи. При цьому якщо навантаження на систему збільшується, то це приводить до того, що спільний ресурс не встигає обслуговувати усі залежні від нього вузли, що призводить до зниження продуктивності системи.

Отже, слабо зв'язані системи потребують більших витрат на розробку, але мають більшу продуктивність та відмовостійкість.

### Гомогенні та гетерогенні розподілені обчислювальні системи

Розподілена обчислювальна система може бути побудована на гомогенній або гетерогенній комп'ютерній мережі з використанням майже будь-яких мережевих протоколів.

Гомогенність системи означає, що всі вузли системи абсолютно ідентичні. В таких випадках конструювання кластеризованої системи не доцільне, оскільки всі вузли системи мають однакові ресурси. Але такий підхід значно спрощує розробку децентралізованих систем, оскільки в децентралізованих системах гостро постає питання про вибір, хто буде виконувати те чи інше завдання.

Такі системи дуже добре підходять для випадків, коли всі задачі одного завдання виконуються за допомогою невеликої кількості алгоритмів, що використовують одні й ті самі ресурси. Класичним випадком є пошук, коли один алгоритм виконується на великих обсягах даних, тоді розділення завдання на задачі зводиться до розділення усього обсягу даних на порції і їх паралельну обробку.

Гетерогенні системи, навпроти, складаються з вузлів, що мають різну конфігурацію та доступ до різних ресурсів. Це надає можливість виконувати більший спектр задач, але значно ускладнює побудову децентралізованої системи, оскільки в випадку з децентралізованими системами кожен вузол має доступ до обмеженої кількості сусідніх вузлів і не бачить усю систему, тому вибір вузла з потрібними ресурсами є складною задачею.

Гетерогенні системи у більшості випадків кластеризовані, оскільки окремі вузли системи забезпечені різними ресурсами. Відповідно, їх необхідно розбивати на групи (кластери). В таких системах кожна окрема група вирішує обмежений набір типів задач. Основною перевагою гетерогенних систем в порівнянні з гомогенними є більш ефективне використання ресурсів, оскільки для кожної окремої задачі використовується комп'ютер з групи найбільш пристосованих до вирішення задач даного типу.

В той же час, основним недоліком таких систем є їх централізація. Гетерогенним системам присутні недоліки централізованих систем, а саме:

- вони залежать від центру, відмова якого призводить до відмови всієї системи;

- швидкість остаточної відповіді значно нижча, ніж в децентралізованих системах, оскільки центр відстежує стан усієї системи (в децентралізованій системі вузол-інтерфейс відстежує стан лише декількох сусідніх вузлів).

Таким чином, гетерогенні системи більш універсальні, ніж гомогенні, але, в той же час, для вирішення завдань, які розбиваються на велику кількість однорідних задач, більш ефективним є використання гомогенних децентралізованих систем.

## Висновки

В ході даної роботи було детально розібрано основні сучасні методи побудови розподілених обчислювальних систем. Були розібрані архітектурні особливості, що виникають при використанні різних підходів до побудови розподілених систем.

Також було наведено порівняння розподілених обчислювальних систем з реальними суперкомп'ютерами та з Cloud системами, при цьому було виявлено їх переваги та недоліки в порівнянні з іншими методами обробки складних обчислювальних завдань.

В ході роботи було виявлено, що системи з сильною зв'язаністю компонентів мають значно меншу відмовостійкість, при цьому витрати на їх створення не суттєво менші, тому конструювання таких систем слід уникати.

Також було пояснено, чому децентралізовані (однорангові або пірінгові) розподілені системи мають менший час відгуку (повернення кінцевого результату) та більше підходять для вирішення великої кількості однорідних завдань, які розпадаються на такі ж завдання, але з меншим обсягом даних що слід обробити. Надано рекомендацію с приводу того, що децентралізовані системи повинні буди гомогенними.

Виходячи з результатів дослідження, кластеризовані системи мають значну перевагу над звичайними централізованими системами, та являють собою їх модифікацію, направлену на більш ефективне використання ресурсів. Найбільш слабким місцем таких систем є центр, що обслуговую робочі вузли, саме це і призводить до затримок та збільшення часу відгуку. Для більш ефективного розподілу ресурсів такі системи повинні бути гетерогенними. Краще

за все вони підходять для вирішення великої кількості різноманітних завдань, де кожне завдання має власний тип та розбивається на різні (з логічної точки зору) задачі.

## Список літератури

1. Глушков В.М. Словарь по кибернетике; изд. 2-е / В.М. Глушков. – К.: Головна редакція Української Радянської енциклопедії імені М.П. Бажана, 1989. – 751 с. – ISBN 5-88500-008-5.
2. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и теория игр / Е.А. Берзин; под ред. Е.В. Золотова. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.
3. Бурцев В.С. Параллелизм вычислительных процессов и развитие архитектур суперЭВМ / В.С. Бурцев. – М.: ИВВС РАН, 1997.
4. Васильев В.В. Многопроцессорные вычислительные структуры для анализа задач на сетях / В.В. Васильев, А.Г. Додонов // Проблемы электроники и вычислительной техники. – 1976. – С. 85-97.
5. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, В.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
6. Евреинов Э.В. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности / Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. – Новосибирск: Наука. Сибирское отд-е, 1966. – 308 с.
7. Прангишвили И.В. Многопроцессорные управляющие вычислительные комплексы с перестраиваемой структурой / И.В. Прангишвили, В.В. Резанов. – М.: Препринт АН СССР, Институт точной механики и вычислительной техники. – 1977. – № 10.
8. Таненбаум Эндрю. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Эндрю Таненбаум, Мартин ван Стеен. – СПб.: Питер, 2003. – 877 с. – ISBN 5-272-00053-6.

Надійшла до редколегії 11.06.2013

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. В.М. Бондарев, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## РАЗНОВИДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ. АРХИТЕКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Б.Г. Айрапетян

*Современные организации все больше и больше требуют выполнения большого количества сложных (с точки зрения вычисления) заданий на огромных объемах данных. Такие задания нуждаются в значительных вычислительных ресурсах и не могут быть решены на обычном компьютере за приемлемое время. Для решения подобных заданий используют суперкомпьютеры или распределены вычислительные системы. Целью данной работы является освещение подходов к конструированию распределенных вычислительных систем, а также выявление их преимуществ и недостатков.*

**Ключевые слова:** распределена вычислительная система, кластер, GRID, гетерогенная система, компьютерная сеть.

## VARIETIES OF DISTRIBUTED SYSTEMS. ARCHITECTURAL FEATURES. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

B.G. Ayrapetyan

*Modern organizations growingly require implementation of plenty of difficult (from point of calculation) tasks on the enormous volumes of information. Such tasks need considerable calculable resources and can not be decided on an ordinary computer for acceptable time. For the decision of similar tasks utilize super computers or the computer systems are up-diffused. The purpose of this work is illumination of going near constructing of the distributed calculable systems, and also exposure of their advantages and failings.*

**Keywords:** the computer system, cluster, is up-diffused, GRID, heterogeneous system, computer network.