

До рівня обробки належить прикладне програмне забезпечення, а до рівня даних – дані, з якими доводиться працювати.

1.3. Особливості розподілених систем

1.3.1. Переваги розподілених систем

Розрізняють низку причин, які зумовлюють заміну централізованих систем розподіленими:

- розподілені системи легко масштабуються, тобто нові вимоги до інформаційної системи у разі розширення підприємства можуть бути легко реалізованими;

- наявні рішення інтегруються, тобто такі системи можуть використовуватися системними компонентами, що приєдналися, без розробки по-новому системи з новою функціональністю;

- поступове системне розширення мінімізує ризик перевантаження окремих системних компонентів;

- організаційне керування потужністю розподіленої системи зумовлює ефективну, з погляду вартості, реалізацію, при цьому система гнучка й легко адаптується;

- власник ресурсу має можливість самостійно керувати цим компонентом та вільно втручатися й реконфігурувати систему в своїх інтересах;

- окремі складові частини розподіленої системи повністю автономні, тобто у разі помилки або навіть випадання одного з компонентів системи інші елементи можуть, не перериваючись, продовжувати роботу й, за потреби, розв'язувати проблеми, що виникають;

- розподілені системи дають можливість спільно використовувати дані та пристрої, одночасно утворюючи ілюзію безпосереднього під'єднання цих ресурсів до комп'ютера кожного користувача, тобто гнучко розподілити роботи в усій системі;

- розподілені системи забезпечують користувачам оперативний доступ до великої кількості корпоративної інформації незалежно від місця їх перебування.

Переваги розподілених апаратних рішень, які використовуються в сучасному обчислювальному обладнанні, такі:

- більш прості модулі, поєднання яких забезпечує необхідний ресурс, їх сумарна дешевизна порівняно з єдиним, більш складним, модулем;
- підвищення надійності, оскільки вихід з ладу одного модуля не призведе до необхідності ремонту чи заміни обладнання, його функції розподіляться між іншими, в результаті чого зменшиться лише продуктивність загальної схеми;
- для збільшення продуктивності загальної системи не потрібно розробляти нових апаратних елементів;
- полегшене тепловідведення – блоки «розкидано» на опорній платі;
- зменшується диференціація температурних зон і абсолютні значення температур.

1.3.2. Недоліки розподілених систем

Поряд із цими (й багатьма іншими) перевагами розподілені системи мають також і недоліки, які передусім зумовлені організацією ефективної взаємодії окремих частин розподіленої системи.

По-перше, це труднощі зумовлені програмним забезпеченням – операційними системами і прикладним програмним забезпеченням. Програмування для розподілених систем суттєво відрізняється від програмування для централізованих систем. Так, мережна операційна система, виконуючи в загальному випадку всі функції керування локальними ресурсами комп'ютера, ще й вирішує численні завдання щодо надання доступу до мережних служб. Розробка мережного прикладного програмного забезпечення ускладнюється через необхідність організувати спільну роботу його частин, які виконуються на різних машинах.

По-друге, багато проблем виникає через транспортування повідомлень каналами зв'язку між комп'ютерами, при цьому основним завданням є забезпечення надійності (щоб передані дані не губилися і не спотворювалися) та продуктивності (щоб обмін даними відбувався з прийнятними затримками). У структурі загальних витрат на обчислювальну мережу витрати на вирішен-

ня «транспортних питань» становлять велику частину, в той час як у централізованих системах таких проблем не виникає.

По-третє, проблемними є питання, зумовлені необхідністю гарантування безпеки інформації, яка циркулює в мережі, що набагато складніше вирішувати в обчислювальній мережі, ніж у централізованій системі.

Недоліки розподілених апаратних рішень, які використовують у сучасному обчислювальному обладнанні, такі:

- необхідність розробки і введення модулів синхронізації;
- необхідність розробки й реалізації алгоритмів перехоплення функцій блоків, які вийшли з ладу, ідентифікування та ізоляції некоректно працюючих блоків;
- збільшення розмірів опорних плат разом з підвищенням сумарної потужності, оскільки зростає кількість модулів.

1.4. Класифікація розподілених систем

Класифікація розподілених систем залежить від апаратного і програмного забезпечення. Розглянемо класифікацію, в основі якої лежить апаратне забезпечення. Виходячи з того, яким чином окремі компоненти розподіленої системи з'єднані між собою і як вони взаємодіють. Виходячи з цього, можливі різні підходи до класифікації.

Комп'ютери, як основні складові апаратного забезпечення, поділяють на звичайні (однопроцесорні), паралельні (багатопроцесорні) та суперкомп'ютери.

Паралельний комп'ютер – це набір процесорів, здатних спільно працювати під час розв'язання обчислювальних задач. Таке визначення достатньо широке, охоплює як паралельні суперкомп'ютери, що мають сотні або тисячі процесорів, так і мережі робочих станцій.

Суперкомп'ютер – це пристрій, який зводить проблему обчислень до проблеми введення/виведення, тобто те, що раніше довго обчислювали, іноді записуючи щось на диск, на суперкомп'ютері може виконатися миттєво, в

результаті чого найбільш неефективними стають порівняно повільні пристрої введення/виведення.

Важливою ознакою багатьох паралельних архітектур є те, що доступ до локальної пам'яті процесора дешевший, ніж доступ до віддаленої пам'яті (інших процесорів мережі). Отже, з погляду ефективності обчислень бажано, щоб доступ до локальних даних був більш частим, ніж доступ до віддалених даних. Таку властивість програмного забезпечення називають локальністю (locality), яка поряд з паралелізмом і масштабованістю є основною вимогою до паралельного програмного забезпечення.

Архітектури паралельних комп'ютерів можуть значно відрізнитися одна від одної. Паралельні комп'ютери містять три основні компоненти: процесори, модулі пам'яті, комутаційну мережу.

Комутаційна мережа з'єднує процесори один з одним та іноді також і з модулями пам'яті. Процесори, що використовуються в паралельних комп'ютерах, зазвичай такі самі, як і процесори однопроцесорних систем, хоча сучасна технологія дозволяє розмістити на мікросхемі не лише один процесор. На мікросхемі разом із процесором можуть міститися інші складові, які дають змогу підвищити ефект під час паралельних обчислень.

Однією з властивостей, за якими розрізняють паралельні комп'ютери, є кількість можливих потоків команд. Відомим прикладом є поділ на послідовні («єдиний») і паралельні («множинний») інструкції й потоки даних, що зумовило виокремлення чотирьох класів комп'ютерів:

1. Класичний von Neumann – комп'ютер позначають як SISD (Single Instruction Single Data), де використовується єдина інструкція та єдиний потік даних.

2. Паралельні й розподілені архітектури з MIMD (Multiple Instruction Multiple Data), де використовуються множинні інструкції та паралельні потоки даних.

3. Змішані форми, що належать одному з класів SIMD (єдина інструкція – паралельний потік даних) або, рідше, MISD (множинні інструкції – єдиний потік даних).

Відповідно до наведеної класифікації розрізняють такі архітектури комп'ютерів: SIMD (Single Instruction Multiple Data), MIMD (Multiple Instruction Multiple Data).

Single Instruction Multiple – комп'ютер має N ідентичних синхронно працюючих процесорів, N потоків даних і один потік команд. Кожен процесор володіє власною локальною пам'яттю. Мережа, яка з'єднує процесори, зазвичай має регулярну топологію.

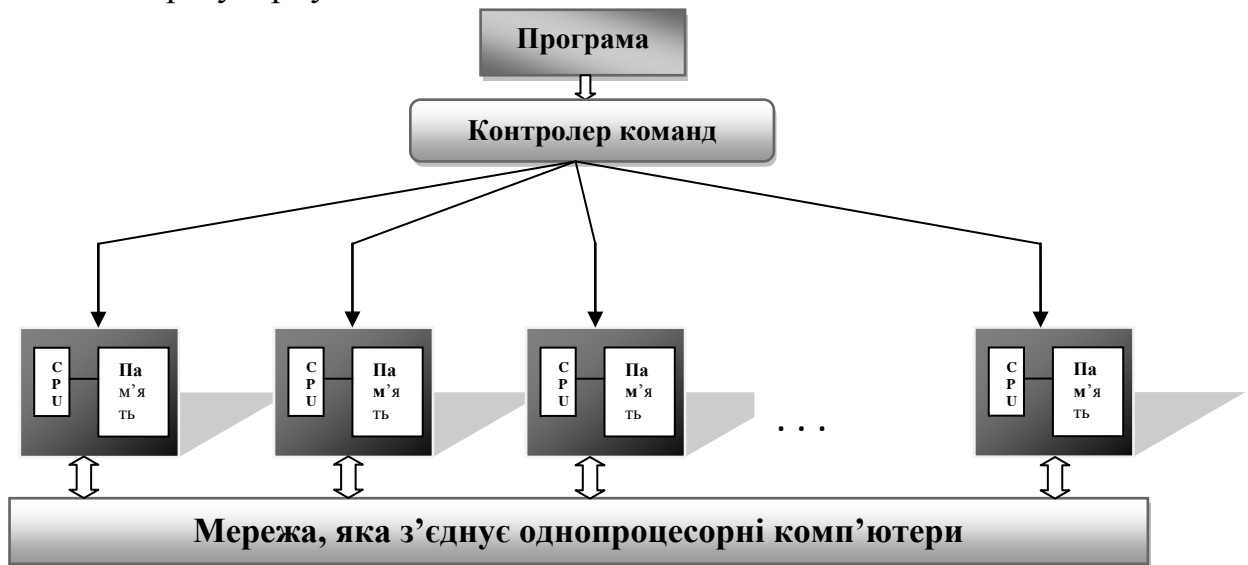


Рис. 1.2. Архітектура SIMD комп'ютера

Процесори інтерпретують адреси даних або як локальні адреси власної пам'яті, або як глобальні адреси, іноді модифіковані додаванням локальної базової адреси. Процесори отримують команди від одного центрального контролера команд і працюють синхронно, тобто на кожному кроці всі процесори виконують одну команду над даними з власної локальної пам'яті.

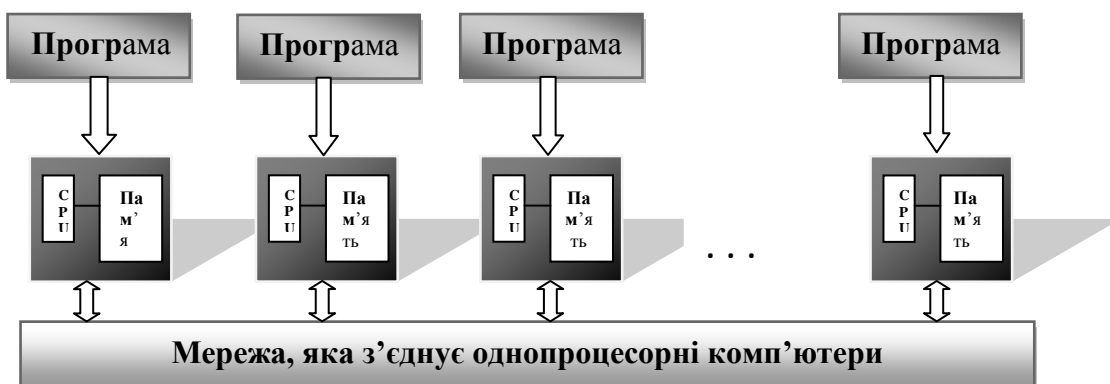


Рис. 1.3. Архітектура MIMD комп'ютера

Multiple Instruction Multiple – комп'ютер має N процесорів, N потоків команд і N потоків даних. Кожен процесор функціонує під керуванням власного потоку команд, тобто такий комп'ютер може паралельно виконувати зовсім різні програми.

Архітектури MIMD класифікують також за фізичною організацією пам'яті, способом доступу до модулів пам'яті (тобто залежно від того, чи має процесор власну локальну пам'ять, чи звертається до інших блоків пам'яті, використовуючи комутаційну мережу, чи комутаційна мережа об'єднує всі процесори із загальнодоступною пам'яттю). Виходячи з методів доступу до пам'яті, її організації, розрізняють такі типи паралельних (MIMD) архітектур:

1. Комп'ютери з розподіленою пам'яттю (distributed memory), у яких кожен процесор має доступ лише до локальної, власної пам'яті, процесори об'єднані в мережу, а доступ до віддаленої пам'яті можливий тільки за допомогою системи обміну повідомленнями.

2. Комп'ютери зі спільною пам'яттю (true shared memory) – всі процесори спільно звертаються до загальної пам'яті переважно через шини або ієрархію шин.

3. Комп'ютери з віртуальною спільною пам'яттю (virtual shared memory) – у таких системах загальної пам'яті немає, кожен процесор має власну локальну пам'ять і може звертатися до локальної пам'яті інших процесорів, використовуючи глобальну адресу. Якщо глобальна адреса вказує не на локальну пам'ять, то доступ до пам'яті реалізується за допомогою повідомлень, які пересилаються мережею, що з'єднує процесори, з малою затримкою.

Паралельні обчислювальні засоби класу MIMD утворюють три підкласи: симетричні мультипроцесори (SMP), кластери, масово паралельні системи (MPP). В основу цієї класифікації покладено структурно-функціональний підхід.

Симетричні мультипроцесори складаються із сукупності процесорів, що мають однакові можливості доступу до пам'яті й зовнішніх пристроїв і функціонують під керуванням однієї операційної системи. Частковим випадком SMP є однопроцесорні комп'ютери. Усі процесори SMP мають розділювану загальну пам'ять з єдиним адресним простором.

Кластерна система утворюється з модулів, об'єднаних системою зв'язку або розділюваними пристроями зовнішньої пам'яті, наприклад дисковими масивами. Нині для створення кластерних систем використовуються спеціалізовані фірмові засоби (наприклад, MEMORY CHANNEL фірми DEC, AWS фірми NCR), або такі універсальні локальні та глобальні мережі, як Ethernet, FDDI (Fiber Distributed Data Interface), й інші мережі, наприклад, які працюють з протоколами TCP/IP, або дискові масиви з високошвидкісними широкими подвійними (Wide/Fast) і квадро PCI SCSI контролерами. Розмір кластера варіюється від декількох до декількох десятків модулів.

Масово паралельні системи, на відміну від кластерів, мають більш швидкісні, зазвичай спеціалізовані, канали зв'язку між обчислювальними модулями, а також широкі можливості з масштабування. Крім того, у MPP фіксується деякий досить високий рівень інтерфейсу прикладних програм (API), підтримуваний розподіленою операційною системою. Однак підтримку працездатності й оптимізацію завантаження процесорів у MPP менш розвинуто порівняно з кластерами через різноманітність виконуваних програм і те, що функціональних зв'язків між програмами немає.

Приклад. Прикладом систем зі спільною пам'яттю може бути багатоядерний центральний процесор сімейства Intel Core, що має один корпус і встановлюється в один роз'єм на системній платі комп'ютера, але операційна система сприймає кожне його обчислювальне ядро як окремий процесор з повним набором обчислювальних ресурсів. Кеш-пам'ять першого рівня у кожного ядра своя, а кеш-пам'ять другого рівня поділювана – кеш розміщений на одному кристалі, так само, як обидва ядра, та доступний кожному з них у повному обсязі. На сьогодні основні виробники процесорів – Intel і AMD – визнали подальше збільшення кількості ядер процесорів одним з пріоритетних напрямів збільшення продуктивності. Вже освоєно виробництво 4, 6-ядерних процесорів для домашніх комп'ютерів, а також 8 і 10-ядерних у серверних системах.

Системи з розподіленою пам'яттю лідирують за показником пікової продуктивності, оскільки будь-які нові однопроцесорні (або багатопроцесорні на основі пам'яті) системи можуть бути легко об'єднані мережею і використані як багатопроцесорні комплекси з розподіленою пам'яттю.

До систем із розподіленою пам'яттю належать:

- трансп'ютер – паралельний обчислювальний прискорювач для комп'ютера загального призначення (HOST). Як хост-системи можуть бути робочі станції типу Sun та персональні комп'ютери IBM PC;

- гібридні системи, в основу яких покладено трансп'ютерні канали зв'язку, набули поширення, але втрачають свої позиції через недостатню пропускну здатність мережі.

- кластери робочих станцій – об'єднання певної кількості персональних комп'ютерів і/або робочих станцій.

Приклад. Прикладом систем з розподіленою пам'яттю можуть бути багатоядерні центральні процесори сімейства Athlon 64 X2 (3-10) або багатопроцесорні материнські плати для одноядерних процесорів, які обробляють задачі конвеєрно. У процесі виконання команд у конвеєрі зміщуються етапи виконання для декількох команд (тобто в конвеєрі одночасно міститься декілька команд) на різних стадіях. Кожний етап конвеєрного обчислення виконується за один машинний цикл. Зрозуміло, що виконання окремої команди на послідовному процесорі (де команда виконується зразу за один машинний цикл) може бути швидшим, аніж у конвеєрній організації, але за рахунок зміщення виконання різних команд загальна швидкодія істотно збільшується.

З погляду архітектури комп'ютера розрізняють *вільнозв'язані* й *сильнозв'язні* системи. У сильнозв'язних системах потрібно класифікувати затримку під час передачі повідомлення від одного CPU до другого як низьку, тому реалізується висока швидкість передачі. У вільноз'єднаній системі навпаки швидкість передачі низька та можливі триваліші затримки. Прикладом такої системи є два комп'ютери, з'єднані модемом і телефонною мережею. Сильнозв'язні системи оснащені зазвичай shared memory (поділюваною пам'яттю), їх називають мультипроцесорними, оскільки вони використовують паралельне розв'язання окремого завдання і можуть розглядатися як система. Обробляючи декілька незалежних завдань, необхідно використовувати мультикомп'ютерну систему з неподілюваною пам'яттю, яка і є справжньою розподіленою системою.

Кожна із цих категорій може на основі використовуваної структури мережі поділятися на шинно-базовані й switch-базовані. Під **шинно-базованою** розуміють окрему мережу, кабель або інший засіб передачі інформації, що зв'язує всі комп'ютери. **Switch-базовані** системи не мають у своєму розпоря-

дженні такої мережі, а натомість підтримують окремі зв'язки між комп'ютерами, тому в кожному вузлі мережі має міститися пристрій для здійснення процесу маршрутизації.

У мультикомп'ютерній системі значно зменшується вихід повідомлень, тому що локальна пам'ять не так завантажена. Для зменшення кількості затримок усі процесори не зв'язуються Switch безпосередньо, але можуть лише опосередковано обмінюватися повідомленнями з іншим процесором. Приклади розглянутих топологій наведено на рис. 1.4.

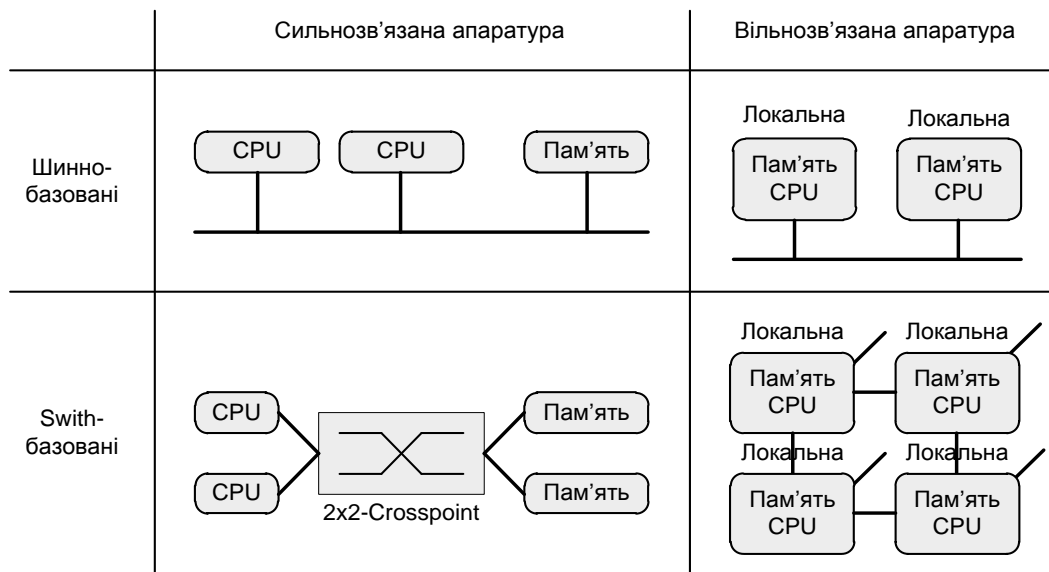


Рис. 1.4. Шинно- і switch-базовані системи зі спільною пам'яттю і без неї

Таким чином, класифікацію здійснено винятково за ознаками реалізації апаратної частини; системи поділено на чотири групи: шинно- й відповідно Switch-базовані, вільноз'єднані або сильнозв'язні.

Аналогічно до класифікації за апаратною складовою, використовують класифікацію, в основу якої покладено характеристики програмного забезпечення, за ступенем його зв'язності. Залежно від їх архітектури системи поділяють на **вільнозв'язані** та **сильнозв'язні**.

Вільнозв'язане програмне забезпечення дозволяє комп'ютерам і користувачам розподіленої системи насправді виконувати незалежну одну від іншої роботу й тільки в деяких випадках, якщо буде потреба, сумісно використовувати обладнання.

Приклад: оператори персонального комп'ютера із власним CPU, власною пам'яттю й операційною системою, які спільно використовують лазерний принтер.

Сильнозв'язне програмне забезпечення реалізує одну програму на різних комп'ютерах одночасно.

Для практичної реалізації розподілених систем було створено спочатку **мережну операційну систему**, потім **мультипроцесорну операційну систему** й **розподілену операційну систему**.

Мережна операційна система передбачає, що кожний користувач має робочу станцію (Workstation) із власною операційною системою, в цьому разі комунікація використовується для доступу до спільних файлів.

Мультипроцесорну операційну систему використовують часто для спеціальних цілей, зокрема для системи ведення банку даних. Характерною ознакою цієї системи є наявність окремого процесу в спільній пам'яті. Комунікація між окремими компонентами такої системи відбувається для узгодження процесів інформаційного обміну.

Розподілена операційна система створює для користувача ілюзію, що вся мережа – це єдиний великий комп'ютер, де зберігаються вся інформація й усі прикладні програми. Комунікація в такій системі необхідна для обміну повідомленнями.

Розподілені системи поділяють на такі категорії:

Периферійні системи, які являють собою групу машин, що мають спільне функціональне призначення і зв'язані з однією (зазвичай більш великою) машиною. Периферійні обчислювальні процеси поділяють своє навантаження із центральним процесором і переадресовують йому всі звертання до операційної системи. Мета периферійної системи полягає у підвищенні загальної продуктивності мережі й у наданні можливості виділення процесора для одного процесу в операційному середовищі. Система запускається як окремий модуль і на відміну від інших моделей розподілених систем, не має реальної автономії, за винятком процесів диспетчизації та розподілення локальної пам'яті.

Розподілені системи типу «Newcastle», які дозволяють налагоджувати дистанційний зв'язок за іменами дистанційних файлів у бібліотеці. Дистанційні файли мають специфікацію (складне ім'я), яка у вказівнику шляху

пошуку містить спеціальні символи або додатковий компонент імені, яка передує кореню файлової системи. Реалізують цей метод без внесення змін у ядро системи, внаслідок чого він більш простий, ніж інші методи, але менш гнучкий.

Абсолютно прозорі розподілені системи, в яких для звертання до файлів, розташованих на інших машинах, достатньо вказати стандартні складні імена файлів, розпізнання цих файлів як дистанційних є функцією ядра. Маршрути пошуку файлів вказано в їх складних іменах.

1.5. Характеристики розподілених систем

Розподілені системи мають такі характерні риси:

- просторова розподіленість компонент розподіленої системи, тобто вони взаємодіють або локально, або віддалено;
- компоненти розподіленої системи можуть працювати паралельно, через що швидкість роботи зростає порівняно з послідовною роботою;
- кожний стан компонента розглядається локально, тобто з погляду певного обчислювального процесу, запущеного з локального робочого місця.
- компоненти працюють окремо й можуть «випадати», не руйнуючи системи в цілому, незалежно одна від одної, таким чином розподілені системи підлягають частковому системному «випаданню»;
- система працює асинхронно, процеси комунікації й обробки не керуються глобальним системним часом, змінні й процеси синхронізуються;
- у розподіленій системі функції керування розподіляються між різними автономними компонентами, оскільки жодна окрема компонента не може здійснювати весь контроль, що гарантує певний рівень автономії;
- розподілена система може утворюватися як об'єднання наявних систем, тобто, потрібно контекстно-повне керування іменами, що дає можливість однозначно інтерпретувати найменування в рамках адміністративної або технологічної області – такий випадок вважають федеративним керуванням іменами;
- для підвищення потужності розподіленої системи, програми й дані можна переміщувати між різними вузлами, таку концепцію називають **міграці-**