

ЛЕКЦІЯ 1. ЕВОЛЮЦІЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ: ВІД МАШИНИ ЧАРЛЬЗА БЕБІДЖА ДО ПЕРШИХ ГЛОБАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Два корені мереж передачі даних

Історія будь-якої галузі науки або техніки дозволяє не тільки задовольнити природню цікавість, але й глибше зрозуміти сутність основних досягнень у цій галузі, а також виявити тенденції й правильно оцінити перспективність тих або інших напрямків розвитку.

Мережі передачі даних, називані також обчислювальними або комп'ютерними мережами, є результатом еволюції двох найважливіші науково-технічні галузей сучасної цивілізації — комп'ютерних і телекомунікаційних технологій:

1. З одного боку, мережі передачі даних являють собою окремий випадок розподілених обчислювальних систем, у яких група комп'ютерів узгоджено виконує набір взаємозалежних завдань, обмінюючись даними в автоматичному режимі.

2. З іншого боку, комп'ютерні мережі можуть розглядатися як засіб передачі інформації на більші відстані, для чого в них застосовуються методи кодування й мультиплексування даних, що одержали розвиток у різних телекомунікаційних системах.

Отже, комп'ютерна мережа — це набір комп'ютерів, зв'язаних комунікаційною системою й постачених відповідним програмним забезпеченням, яке надає користувачам мережі доступ до ресурсів цього набору комп'ютерів; мережу можуть утворювати комп'ютери різних типів — невеликі мікропроцесори, робочі станції, міні-комп'ютери, персональні комп'ютери або суперкомп'ютери; передачу повідомлень між будь-якою парою комп'ютерів мережі забезпечує комунікаційна система, яка може включати кабелі, повторювачі, комутатори, маршрутизатори й інші пристрої; комп'ютерна мережа дозволяє користувачеві працювати зі своїм комп'ютером, як з автономним, і додає до цього можливість доступу до інформаційних і апаратних ресурсів інших комп'ютерів мережі.

Поява перших обчислювальних машин

Ідея комп'ютера була запропонована англійським математиком Чарльзом Бебіджем (Charles Babbage) у середині дев'ятнадцятого століття. Однак його механічна "аналітична машина" по-справжньому так і не заробила.

Справжнє народження цифрових обчислювальних машин відбулося незабаром після закінчення другої світової війни. У середині 40-х були створені перші лампові обчислювальні пристрої. Для цього періоду характерно наступне:

- комп'ютер являв собою скоріше предмет дослідження, а не інструмент для розв'язку яких-небудь практичних завдань із інших областей;
- та сама група людей брала участь і в проектуванні, і в експлуатації, і в програмуванні обчислювальної машини;
- програмування здійснювалося винятково машинною мовою ;

- не було ніякого системного програмного забезпечення, крім бібліотек математичних і службових підпрограм;

- операційні системи ще не з'явилися, усі завдання організації обчислювального процесу вирішувалися вручну кожним програмістом з пульта керування.

Із середини 50-х років почався наступний період у розвитку обчислювальної техніки, пов'язаний з появою нової технічної бази — напівпровідникових елементів. У цей період:

- виросла швидкодія процесорів, збільшилися обсяги оперативної й зовнішньої пам'яті;
- комп'ютери стали більш надійними;
- з'явилися перші алгоритмічні мови, і, таким чином, до бібліотек математичних і службових підпрограм додався новий тип системного програмного забезпечення — транслятори;
- були розроблені перші системні керуючі програми — монітори, які автоматизували всю послідовність дій оператора по організації обчислювального процесу.

Програмні монітори — перші операційні системи

Програмні монітори з'явилися прообразом сучасних операційних систем, вони стали першими системними програмами, призначеними не для обробки даних, а для керування обчислювальним процесом.

У ході реалізації моніторів була розроблена формалізована мова керування завданнями, за допомогою якого програміст повідомляв систему й операторові, які дії й у якій послідовності він праг би виконати на обчислювальній машині. Типовий набір директив звичайно включала ознака початку окремої роботи, виклик транслятора, виклик завантажника, ознаки початку й кінця вихідних даних.

Оператор становив пакет завдань, які надалі без його участі послідовно запускалися на виконання монітором. Крім того, монітор був здатний самостійно обробляти найпоширеніші аварійні ситуації, що виникають при роботі користувацьких програм, такі як відсутність вихідних даних, переповнення регістрів, розподіл на нуль, звертання до неіснуючої області пам'яті і т.д.

Мультипрограмування

Наступний важливий період розвитку операційних систем ставиться до 1965-1975 рокам. У цей час у технічній базі обчислювальних машин відбувся перехід від окремих напівпровідникових елементів типу транзисторів до інтегральних мікросхем, що відкрило шлях до появи наступного покоління комп'ютерів, представником якого є, наприклад, IBM/360.

У цей період були реалізовані практично всі основні механізми, властиві сучасним ОС: мультипрограмування, мультипроцессирование, підтримка багатотермінального багатокористувацького режиму, віртуальна пам'ять, файлові системи, розмежування доступу й мережна робота. У ці роки починається розквіт системного програмування. З напрямку прикладної математики, що представляє інтерес для вузького кола фахівців, системне програмування перетворюється в галузь індустрії, що виявляє безпосередній вплив на практичну діяльність мільйонів людей.

В умовах різко зрослих можливостей комп'ютера, пов'язаних з обробкою й зберіганням даних, виконання тільки однієї програми в кожний момент часу виявилось вкрай неефективним.

Почалися розробки в області мультипрограмування.

Мультипрограмування — спосіб організації обчислювального процесу, при якому в пам'яті комп'ютера перебуває одночасно кілька програм, що поперемінно виконуються на одному процесорі.

Мультипрограмування було реалізовано у двох варіантах:

- пакетна обробка;
- поділ часу.

Системи пакетної обробки призначали для розв'язку завдань в основному обчислювального характеру, що не вимагають швидкого одержання результатів. Головною метою й критерієм ефективності систем пакетної обробки є максимальна пропускна здатність, тобто розв'язок максимального числа завдань в одиницю часу.

Для досягнення цієї мети в системах пакетної обробки використовується наступна схема функціонування: на початку роботи формується пакет завдань, кожне **завдання** містить вимога до системних ресурсів; із цього пакета завдань формується мультипрограмний набір, тобто безліч одночасна виконуваних завдань. Для одночасного виконання вибираються завдання, що пред'являють до ресурсів різні вимоги, так, щоб забезпечувалося збалансоване завантаження всіх будов обчислювальної машини. Наприклад, у мультипрограмному наборі бажана присутність і обчислювальних завдань, і завдань із інтенсивним введенням-виводом. Таким чином, вибір нового завдання з пакета завдань залежить від внутрішньої ситуації, що складається в системі, тобто вибирається "вигідне" завдання. Отже, в обчислювальних системах, що працюють під керуванням **пакетних ОС**, неможливо гарантувати виконання того або іншого завдання протягом певного періоду часу.

У системах пакетної обробки перемикання процесора з одним завдання на іншу відбувається з ініціативи самого активного завдання, наприклад, коли вона "відмовляється" від процесора через необхідність виконати операцію вводу-виводу. Тому існує висока ймовірність того, що одне завдання може надовго зайняти процесор, і виконання інтерактивних завдань стане неможливим. Взаємодія користувача з обчислювальною машиною, на якій установлена система пакетної обробки, зводиться до того, що користувач приносить завдання, віддає його диспетчерові-операторові, а наприкінці дня після виконання всього пакета завдань одержує результат. Очевидно, що такий порядок підвищує ефективність функціонування апаратури, але знижує ефективність роботи користувача.

У системах поділу часу користувачам (або одному користувачеві) надається можливість інтерактивної роботи відразу з декількома додатками. Для цього кожний додаток повинний регулярно взаємодіяти з користувачем. Зрозуміло, що в пакетних системах можливості діалогу користувача з додатком обмежені.

У системах поділу часу ця проблема вирішується за рахунок того, що ОС примусово періодично припиняє додатка, не чекаючи, коли вони самі звільнять процесор. Усім додаткам поперемінно виділяється квант процесорного часу, таким чином, користувачі, що запустили програми на виконання, одержують можливість підтримувати з ними діалог.

Системи поділу часу покликано виправити основний недолік систем пакетної обробки — ізоляцію користувача-програміста від процесу виконання завдань. Кожному користувачеві в цьому випадку надається термінал, з якого він може вести діалог зі своєю програмою. Тому що в системах поділу часу кожному завданню виділяється тільки квант процесорного часу, жодна завдання не займає процесор надовго, і час відповіді виявляється прийнятним. Якщо квант невеликий, то у всіх користувачів, що одночасно працюють на одній і тій же машині, складається враження, що кожний з них використовує машину одноосібно.

Ясно, що системи поділу часу мають меншу пропускну здатність, що системи пакетної обробки, тому що на виконання ухвалюється кожна запущена користувачем завдання, а не та, яка "вигідна" системі. Крім того, продуктивність системи знижується через додаткову витрату обчислювальної потужності на більш часте перемикання процесора із завдання на завдання. Це цілком відповідає тому, що критерієм ефективності систем поділу часу є не максимальний пропускна здатність, а зручність і ефективність роботи користувача. Разом з тим, мультипрограмне виконання інтерактивних додатків підвищує й пропускну здатність комп'ютера (нехай і не в такому ступені, як пакетні системи). Апаратура завантажується краще, оскільки поки один додаток чекає повідомлення користувача, інші додатки можуть оброблятися процесором.

Багатотермінальні системи — прообраз мережі

Термінали, вийшовши за межі обчислювального центру, розосередилися по всьому підприємству. Багатотермінальний режим використовувався не тільки в системах поділу часу, але й у системах пакетної обробки. При цьому не тільки оператор, але й усі користувачі одержували можливість формувати свої завдання й управляти їхнім виконанням зі свого терміналу. Такі операційні системи одержали назву систем вилученого введення завдань.

Термінальні комплекси могли розташовуватися на великій відстані від процесорних стійок, з'єднуючись із ними за допомогою різних глобальних зв'язків — модемних з'єднань телефонних мереж або виділених каналів. Для підтримки вилученої роботи терміналів в операційних системах з'явилися спеціальні програмні модулі, що реалізують різні (у той час, як правило, нестандартні) протоколи зв'язку. Такі обчислювальні системи з вилученими терміналами зберігаючи централізований характер обробки даних, у якійсь мірі були прообразом сучасних комп'ютерних мереж, а відповідне системне програмне забезпечення — прообразом мережних операційних систем.

Багатотермінальні централізовані системи вже мали всі зовнішні ознаки локальних обчислювальних мереж, однак по суті ними не були, тому що зберігали сутність централізованої обробки даних автономно працюючого комп'ютера.

Дійсно, рядовий користувач роботи за терміналом мейнфрейма сприймав приблизно так само, як зараз сприймає роботу за підключеним до мережі персональним комп'ютером. Користувач міг одержати доступ до загальних файлів і периферійним пристроям, при цьому в нього створювалася повна ілюзія одноособового володіння комп'ютером, тому що він міг запустити потрібну йому програму в будь-який момент і майже відразу ж одержати результат. (Деякі далекі від обчислювальної техніки користувачі навіть були впевнені, що всі обчислення виконуються усередині їхнього дисплея.)

Перші мережі — глобальні

Хоча теоретичні роботи зі створення концепцій мережної взаємодії велися майже з моменту появи обчислювальних машин, значимі практичні результати по об'єднанню комп'ютерів у мережі були отримані лише наприкінці 60-х, коли за допомогою глобальних зв'язків і техніки комутації пакетів удалось реалізувати взаємодія машин класу мейнфреймов і суперкомп'ютерів. Ці дорогі комп'ютери зберігали унікальні дані й програми, обмін якими дозволив підвищити ефективність їх використання.

Але ще до реалізації зв'язків " комп'ютер-комп'ютер", було вирішено більш просте завдання — організація зв'язку " вилучений термінал -комп'ютер". Термінали, що перебувають від комп'ютера на відстані багатьох сотень, а то й тисяч кілометрів, з'єднувалися з комп'ютерами через телефонні мережі за допомогою модемів. Такі мережі дозволяли численним користувачам одержувати дистанційний доступ до поділюваних ресурсів декількох потужних комп'ютерів класу супер-евм.

І тільки потім були розроблені засоби обміну даними між комп'ютерами в автоматичному режимі. На основі цього механізму в перших мережах були реалізовані служби обміну файлами, синхронізації баз даних, електронної пошти й інші, що стали тепер традиційними, мережні служби.

В 1969 році міністерство оборони США ініціювало роботи з об'єднання в загальну мережу суперкомп'ютерів оборонних і науково-дослідних центрів. Ця мережа, що одержала назву ARPANET послужила відправною крапкою для створення першої й найвідомішої нині глобальної мережі — Internet. Мережа ARPANET поєднувала комп'ютери різних типів, що працювали під керуванням різних ОС із додатковими модулями, що реалізують комунікаційні протоколи, загальні для всіх комп'ютерів мережі. Такі ОС можна вважати першими мережними операційними системами .

Мережні ОС на відміну від багатотермінальні дозволяли не тільки розосередити користувачів, але й організувати розподілене зберігання й обробку даних між декількома комп'ютерами, зв'язаними електричними зв'язками. Будь-яка мережна операційна система, з одного боку, виконує всі функції локальної операційної системи, а з іншого сторони, має деякі додаткові засоби, що дозволяють їй взаємодіяти по мережі з операційними системами інших комп'ютерів. Програмні модулі, що реалізують мережні функції, з'являлися в операційних системах поступово, у міру розвитку мережних технологій, апаратної бази комп'ютерів і виникнення нових завдань, що вимагають мережної обробки.

В 1974 році компанія IBM оголосила про створення власної мережної архітектури для своїх мейнфреймов, що одержала назва SNA (System Network Architecture, системна мережна архітектура). У це ж час у Європі активно велися роботи зі створення й стандартизації мереж X.25.

Таким чином, хронологічно першими з'явилися глобальні мережі (Wide Area Networks, WAN), тобто мережі, що поєднують територіально розосереджені комп'ютери, можливо, що перебувають у різних містах і країнах. Саме при побудові глобальних мереж були вперше запропоновані й відпрацьовано багато основних ідей і концепції сучасних обчислювальних мереж, такі, наприклад, як багаторівнева побудова комунікаційних протоколів, технологія комутації пакетів і маршрутизація пакетів у складених мережах.

Спадщина телефонних мереж

Глобальні комп'ютерні мережі дуже багато чого успадкували від інших, набагато більш старих і глобальних мереж — телефонних.

Головним результатом створення перших глобальних комп'ютерних мереж була відмова від принципу комутації каналів, протягом багатьох десятиріч, що успішно використовувався в телефонних мережах.

Виділюваний на увесь час сеансу зв'язки складений канал з постійною швидкістю не міг ефективно використовуватися пульсуючим трафіком комп'ютерних даних, у якого періоди інтенсивного обміну чергуються із тривалими паузами. Експерименти й математичне моделювання показали, що пульсуючий і в значній мірі не чутливий до затримок комп'ютерний трафік набагато ефективніше передається по мережах, що використовують принцип комутації пакетів, коли дані розділяються на невеликі порції, які самостійно переміщаються по мережі за рахунок вбудовування адреси кінцевого вузла в заголовок пакета.

Тому що прокладка високоякісних ліній зв'язку на більші відстані обходиться дуже дорого, у перших глобальних мережах часто використовувалися вже існуючі канали зв'язку, споконвічно призначені зовсім для інших цілей. Наприклад, протягом багатьох лет глобальні мережі будувалися на основі телефонних каналів тональної частоти, здатних у кожний момент часу вести передачу тільки однієї розмови в аналоговій формі. Оскільки швидкість передачі дискретних комп'ютерних даних по таких каналах була дуже низькою (десятки кілобіт у секунду), набір надаваних послуг у глобальних мережах такого типу звичайно обмежувався передачею файлів, переважно у фоновому режимі, і електронною поштою.

Крім низької швидкості такі канали мають і інший недолік — вони вносять значні викривлення в передані сигнали. Тому протоколи глобальних мереж, побудованих з використанням каналів зв'язки низької якості, відрізняються складними процедурами контролю й відновлення даних. Типовим прикладом таких мереж є мережі X.25, розроблені ще на початку 70-х, коли низькоскоростні аналогові канали, орендовані в телефонних компаніях, були переважним типом каналів, що з'єднують комп'ютери й комутатори глобальної обчислювальної мережі.

Розвиток технології глобальних комп'ютерних мереж багато в чому визначалося прогресом телефонних мереж. З кінця 60-х років у телефонних мережах усе частіше стала застосовуватися

передача голосу в цифровій формі, що привело до появи високошвидкісних цифрових каналів, що з'єднують АТС, що й дозволяють одночасно передавати десятки й сотні розмов. Була розроблена спеціальна технологія плезиохронної цифрової ієрархії (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH), призначена для створення так званих первинних, або опорних, мереж. Такі мережі не надають послуг кінцевим користувачам, вони є фундаментом, на якому будуються швидкісні цифрові канали "крапка-крапка", що з'єднують устаткування іншої (так званої накладеної) мережі, яка вже працює на кінцевого користувача.

Спочатку технологія PDH, що підтримує швидкості до 140 Мбит/з, була внутрішньою технологією телефонних компаній. Однак згодом ці компанії стали здавати частину своїх каналів PDH в оренду підприємствам, які використовували їх для створення власних телефонних і глобальних комп'ютерних мереж.

Що з'явився наприкінці 80-х років технологія синхронної цифрової ієрархії (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) розширила діапазон швидкостей цифрових каналів до 10 Гбит/с, а технологія спектрального мультиплексування DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) — до сотень гигабит і навіть декількох терабит у секунду.