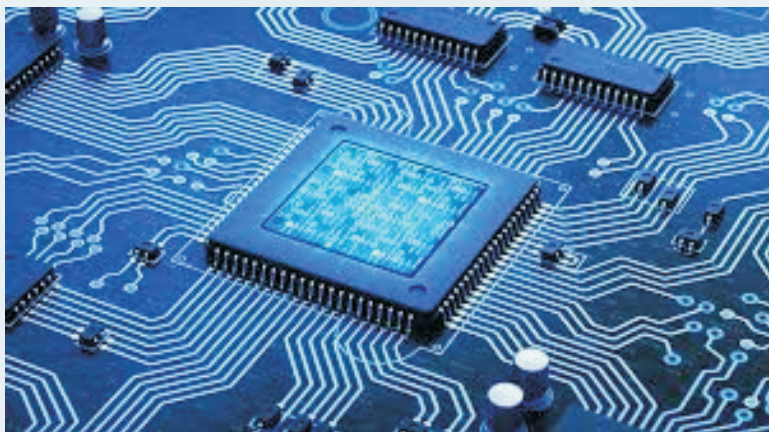


І.М. Данилюк



АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРІВ



Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

І.М. Данилюк

Архітектура комп'ютерів

Частина 1

Навчальний посібник



Чернівці
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
2024

УДК 004.2(075.8)

Д 183

Друкується за ухвалою Вченої ради
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
(протокол № 15 від 04.11.2024 р.)

Рецензенти:

А.Я. Бомба, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування;

В.П. Журавльов, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри вищої та прикладної математики Поліського національного університету.

Данилюк І.М.

Д 183 Архітектура комп'ютерів. Част. 1. : навч. посібник / І.М. Данилюк. –
Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2024. – 192 с.
ISBN 978-966-423-900-1

Посібник спрямований на те, щоб дати читачам як теоретичні знання, так і практичні навички, необхідні для розуміння, аналізу та оптимізації комп'ютерних систем.

Для студентів спеціальностей “113 – Прикладна математика”, “112 – Комп'ютерні науки”, “124 – Системний аналіз”, “014.09 – Середня освіта (Інформатика)”, “014.04 – Середня освіта (Математика)”.

УДК 004.2(075.8)

ISBN 978-966-423-900-1

© Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича, 2024

© Данилюк І.М., 2024

Зміст

Вступ.....	7
1. Основи архітектури комп'ютера.....	9
2. Історичний розвиток комп'ютерної архітектури.....	31
3. Принципи побудови комп'ютерів.....	104
4. Материнська плата.....	135
5. Еволюція чіпсетів материнських плат.....	152
Висновки.....	187
Список літератури.....	189

Розширений зміст

Вступ.....	7
1. Основи архітектури комп'ютера.....	9
1.1. Визначення.....	9
1.2. Основні складові.....	9
1.2.1. Процесор (Центральний процесорний блок, CPU).....	9
1.2.2. Пам'ять.....	10
1.2.3. Вхідні/вихідні пристрої.....	10
1.2.4. Шини.....	11
1.2.5. Інтерфейси.....	11
1.2.6. Материнська плата.....	12
1.3. Основні принципи архітектури комп'ютерів.....	12
1.3.1. Принцип поділу ієрархії.....	12
1.3.2. Принцип універсальності.....	13
1.3.3. Принцип паралелізму.....	13
1.3.4. Принцип абстракції.....	14
1.3.5. Принцип модульності.....	14
1.3.6. Принцип надійності та відмовостійкості.....	14
1.4. Основні цілі.....	15
1.4.1. Продуктивність.....	15
1.4.2. Ефективність.....	16
1.4.3. Масштабованість.....	16
1.4.4. Вартість.....	17
1.5. Представлення даних у комп'ютері.....	17
1.5.1. Типи даних.....	18
1.5.2. Формати представлення чисел.....	19
1.5.3. Кодування символів (ASCII, Unicode).....	21
1.6. Операції над даними.....	23
1.6.1. Арифметичні операції.....	23
1.6.2. Логічні операції.....	26
1.6.3. Зсуви та ротації.....	28
2. Історичний розвиток комп'ютерної архітектури.....	31
2.1. Перші обчислювальні машини.....	31
2.1.1. Механічні обчислювачі.....	31
2.1.2. Аналогові комп'ютери.....	38
2.2. Ранні електронні комп'ютери.....	39
2.2.1. 1906 рік. Лі Ді Форест і вакуумний триод.....	39
2.2.2. Марк-1 (Harvard Mark I).....	40

2.2.3. Колоссус (Colossus).....	42
2.2.4. 1945 рік. Архітектура Джона фон Неймана.....	43
2.2.5. 1946 рік. Електронно-обчислювальна машина ENIAC.....	44
2.2.6. ROM-1 (ROMAC-1).....	45
2.2.7. Мінськ.....	47
2.3. Розвиток комп'ютерної архітектури в 1950-1960-х.....	48
2.3.1. Упровадження транзисторів.....	48
2.3.2. Інтегральні схеми.....	55
2.4. Перехід до мікропроцесорів і персональних комп'ютерів.....	63
2.4.1. Мікропроцесори.....	63
2.4.2. Персональні комп'ютери.....	72
2.5. Розвиток архітектури у 1990-х та 2000-х роках.....	91
2.5.1. Мультипроцесорні системи.....	91
2.5.2. Віртуалізація.....	94
2.6. Сучасні тенденції та майбутнє комп'ютерної архітектури.....	97
2.6.1. Паралельні обчислення.....	97
2.6.2. Квантові комп'ютери.....	99
2.6.3. Хмарні обчислення.....	102
3. Принципи побудови комп'ютерів.....	104
3.1. Архітектура фон Неймана.....	104
3.1.1. Основні компоненти.....	104
3.1.2. Принципи роботи.....	105
3.2. Альтернативні архітектури.....	107
3.2.1. Гарвардська архітектура.....	107
3.3. Основні компоненти комп'ютера.....	118
3.3.1. Центральний процесор (ЦП).....	118
3.3.2. Пам'ять.....	119
3.3.3. Пристрої вводу-виводу.....	121
3.4. Взаємодія компонентів.....	121
3.4.1. Системна шина.....	121
3.4.2. Взаємодія між ЦП і пам'яттю.....	123
3.4.3. Взаємодія з пристроями вводу-виводу.....	124
3.5. Паралельна та розподілена архітектура.....	125
3.5.1. Мультипроцесорні системи.....	125
3.5.2. Кластерні системи.....	127
3.5.3. Грід-обчислення.....	128
3.6. Енергозбереження й оптимізація.....	130
3.6.1. Енергоефективні процесори.....	130
3.6.2. Оптимізація використання ресурсів.....	133
4. Материнська плата.....	135
4.1. Класифікація системних плат за форм-фактором.....	135

4.2. Обмін даними на материнській платі.....	137
4.3. Основи материнської плати.....	138
4.4. Чіпи.....	139
4.5. Роз'єми (сокети).....	139
4.6. Конектори та порти.....	140
4.7. Процесор.....	142
4.8. Шини.....	145
4.9. Набір мікросхем (чіпсет).....	147
4.9.1. Північний міст.....	148
4.9.2. Південний міст.....	149
4.10. Різні варіанти чіпсетів.....	149
5. Еволюція чіпсетів материнських плат.....	152
5.1. Чіпсет i440BX.....	154
5.2. Чіпсети i810/i815.....	154
5.3. Чіпсет i875P.....	157
5.4. Чіпсет i925.....	158
5.5. Збільшення пропускної здатності для оперативної пам'яті.....	160
5.6. 2005 – s478, 945G, Pentium 4, Pentium D, Celeron D, Core 2 Duo, Pentium Dual-Core.....	162
5.7. 2007 – s775, P31 Express, Pentium Dual-Core, Core 2 Duo, Core 2 Quad.....	162
5.8. 2008 – LGA775, P45, Core 2 Duo, Core 2 Quad.....	163
5.9. 2010-2011 – Socket 1156, H57 Express, Lynnfield, Clarkdale.....	166
5.10. 2011-2012 – LGA 1155, Sandy Bridge and Ivy Bridge.....	168
5.11. 2013-2014 – LGA 1150, Haswell and Haswell.....	170
5.12. 2015 – LGA 1151, Skylake.....	171
5.13. 2017 – LGA 1151, KabyLake.....	172
5.14. 2018 – LGA 1151, Coffee Lake - S.....	174
5.15. 2020 – LGA 1200, Rocket Lake.....	176
5.16. 2022 – LGA 1700, Raptor Lake.....	177
5.17. 2008 – AM2+, AMD K10, чіпсет AMD 790GX+SB750.....	179
5.18. 2011 – FM2+, AMD Kaveri, чіпсет A88X.....	180
5.19. 2011 – AM3+, AMD Bulldozer/Piledriver, чіпсет AMD 990FX + SB950.....	180
5.20. 2017 – AM4, AMD Ryzen, чіпсет x370.....	182
5.21. 2022 – AM5, AMD Ryzen Zen 4, чіпсет X670E.....	183
5.22. Порівняння останніх чіпсетів Intel і AMD.....	183
Висновки.....	187
Список літератури.....	189

Вступ

Архітектура комп'ютерів – одна з найбільш фундаментальних і водночас складних дисциплін у галузі інформаційних технологій. Вона визначає структуру та принципи роботи всіх обчислювальних систем, забезпечуючи основу для розуміння того, як працюють комп'ютери, які технології стоять за ними, і як ці технології розвивалися та вдосконалювалися з часом.

Уявіть собі комп'ютер як багатошарову систему, де кожен шар виконує свою специфічну функцію, але водночас взаємодіє з іншими шарами, створюючи складний, але злагоджений механізм. Саме архітектура комп'ютера визначає, як ці шари поєднуються між собою, як інформація передається, обробляється і зберігається, а також які принципи дозволяють цьому процесу бути надійним, ефективним і масштабованим.

Цей посібник є спробою дати вичерпне уявлення про комп'ютерну архітектуру – від її базових понять до сучасних технологічних досягнень. На початку книги розглядаються основи архітектури комп'ютера, що охоплюють визначення основних складових, таких як центральний процесор (CPU), пам'ять, вхідні/вихідні пристрої, шини, інтерфейси та материнська плата. Розуміння цих основних елементів є ключовим для побудови подальших знань.

Посібник також детально розглядає принципи, які складають основу побудови комп'ютерних систем. Це принципи поділу ієрархії, універсальності, паралелізму, абстракції, модульності, надійності та відмовостійкості. Кожен із цих них відіграє важливу роль у забезпеченні високої продуктивності, ефективності, масштабованості та економічної доцільності сучасних комп'ютерних систем.

Особливу увагу приділено історичному розвитку комп'ютерної архітектури, що дозволяє простежити еволюцію технологій від перших механічних обчислювачів і аналогових комп'ютерів до сучасних складних систем; від ранніх електронних обчислювальних машин, таких як Марк-1, Колоссус та ENIAC, до впровадження транзисторів, інтегральних схем і появи мікропроцесорів – кожен етап історії містить важливі відкриття, що змінили напрямок розвитку цієї галузі.

Завдяки ретельному аналізу історії комп'ютерної архітектури читачі зможуть зрозуміти, як комп'ютери пройшли шлях від простих обчислювальних пристроїв до потужних персональних комп'ютерів, здатних виконувати мільярди операцій за секунду. Це знання не лише розширить уявлення про технологічний прогрес, але й дозволить ліпше розуміти, чому сучасні комп'ютерні системи мають саме такі характеристики та можливості.

Окремий розділ посібника присвячено принципам побудови комп'ютерів, де розглядається архітектура фон Неймана, яка є класичною моделлю обчислювальних систем, а також альтернативні архітектури, такі як гарвардська архітектура. Розділ також містить опис основних компонентів комп'ютера, їхньої взаємодії, а також розглядає питання паралельної та розподіленої архітектури, які є важливими для сучасних мультипроцесорних і кластерних систем.

Материнська плата як основна платформа для всіх компонентів комп'ютера розглядається в окремому розділі. Тут докладно описано класифікацію системних плат за форм-фактором, особливості обміну даними на материнській платі, а також різні типи чіпів, роз'ємів, конекторів і портів. Розділ містить аналіз різних варіантів чіпсетів, що визначають характеристики та можливості материнських плат.

Еволюція чіпсетів є ключовим аспектом розвитку комп'ютерної архітектури. Розділ, присвячений цій темі, охоплює широкий спектр чіпсетів – від перших моделей до сучасних рішень. Описано різні архітектурні рішення, що застосовувалися у процесорах Intel і AMD, їхні особливості та вплив на загальну продуктивність комп'ютерних систем.

Посібник спрямований на те, щоб дати читачам як теоретичні знання, так і практичні навички, необхідні для розуміння, аналізу і оптимізації комп'ютерних систем. Рекомендований студентам спеціальностей “113 – Прикладна математика”, “112 – Комп'ютерні науки”, “124 – Системний аналіз”, “014.09 – Середня освіта (Інформатика)”, “014.04 – Середня освіта (Математика)”. Він також стане цінним ресурсом для студентів, викладачів, дослідників та інженерів, які прагнуть поглибити свої знання у сфері комп'ютерної архітектури та бути в курсі останніх тенденцій і досягнень у цій галузі.

1. Основи архітектури комп'ютера

1.1. Визначення

Архітектура комп'ютера – це концептуальна модель, яка визначає організацію та взаємодію різних компонентів комп'ютерної системи, охоплюючи апаратне та програмне забезпечення. Основною метою архітектури є забезпечення ефективної та надійної обробки даних, управління ресурсами та виконання обчислювальних завдань.

Архітектура комп'ютера визначає, як компоненти комп'ютера (процесор, пам'ять, шини, інтерфейси) працюють разом для виконання обчислень і обробки інформації [1 – 7, 18, 19].

1.2. Основні складові

1.2.1. Процесор (Центральний процесорний блок, CPU)

Процесор, або центральний процесорний блок (CPU), є серцем комп'ютера, який виконує обчислення й управляє всіма іншими компонентами системи [11]. Основні його складові:

- **Арифметично-логічний блок (ALU):** ALU виконує основні арифметичні (додавання, віднімання, множення, ділення) та логічні операції (AND, OR, XOR, NOT). Наприклад, при виконанні арифметичної операції $5 + 3$, ALU обчислює результат 8 .
- **Блок управління (CU):** Блок управління контролює виконання інструкцій, отриманих з пам'яті, і управляє роботою ALU. CU забезпечує декодування інструкцій та їх виконання у правильному порядку.
- **Регістри:** Регістри – це невеликі осередки пам'яті всередині процесора, що зберігають дані, які активно використовуються під час обчислень. Наприклад, регістри можуть зберігати значення змінних при виконанні математичних операцій.
- **Кеш-пам'ять:** Кеш-пам'ять є швидшою формою пам'яті, розташованою близько до процесора. Вона зберігає часто

використовувані дані та інструкції, що дозволяє значно зменшити час доступу до основної пам'яті.

1.2.2. Пам'ять

Пам'ять комп'ютера розділяється на оперативну і постійну [11]. Кожен її тип має свої особливості та функції.

- **Оперативна пам'ять (RAM):** використовується для тимчасового зберігання даних, які активно використовуються процесором. Це динамічна пам'ять, що втрачає інформацію при вимкненні живлення. Обсяг RAM безпосередньо впливає на можливість одночасного запуску програм і обробки даних.
- **Постійна пам'ять:** передбачає різні види зберігання даних:
 - **Жорсткий диск (HDD):** магнітний накопичувач, що забезпечує великий обсяг зберігання при відносно низькій вартості. Наприклад, 1 ТБ HDD може зберігати величезну кількість файлів і програм.
 - **Твердотільний накопичувач (SSD):** використовує флеш-пам'ять, що забезпечує швидший доступ до даних у порівнянні з HDD. SSD може суттєво прискорити завантаження операційної системи і запуск програм.

1.2.3. Вхідні/вихідні пристрої

Пристрої вводу/виводу (I/O) є інтерфейсом між комп'ютером і зовнішнім світом [11].

- **Пристрої вводу:**
 - **Клавіатура** – пристрій для введення текстових даних і команд. Клавіатури можуть мати різні розкладки і функції, такі як мультимедійні клавіші.
 - **Миша** – вказівний пристрій для маніпуляцій на екрані. Миші можуть бути з різними типами сенсорів, включаючи оптичні та лазерні.

- **Сканер** – застосовується для перетворення фізичних документів в цифровий формат. Сканери можуть бути плоскими або багатофункціональними.
- **Пристрої виводу:**
 - **Монітор** – відображає інформацію у вигляді тексту та зображень. Монітори можуть бути різних типів, таких як LCD, LED або OLED.
 - **Принтер** – виводить інформацію на папір. Може бути лазерним або струменевим, з різними можливостями друку (чорно-білий, кольоровий, двосторонній друк).

1.2.4. Шини

Шини є каналами для передачі даних між різними компонентами комп'ютера [11].

- **Шина даних:** передає інформацію між процесором, пам'яттю та периферійними пристроями. Ширина шини даних визначає кількість бітів, які можуть передаватися одночасно. Наприклад, 64-бітна шина може передавати дані у обсязі 8 байт за раз.
- **Шина адреси:** визначає, які конкретні ділянки пам'яті або пристрої будуть використовуватися для читання або запису даних. Наприклад, 32-бітна адресна шина може адресувати до 4 ГБ пам'яті.
- **Шина керування:** передає сигнали управління, які контролюють процеси вводу/виводу і операції з пам'яттю, управляє синхронізацією між різними компонентами системи.

1.2.5. Інтерфейси

Інтерфейси забезпечують взаємодію між компонентами комп'ютера та периферійними пристроями [11].

Інтерфейси вводу/виводу:

- **USB (Universal Serial Bus)** – сучасний стандарт для з'єднання периферійних пристроїв. USB підтримує гаряче з'єднання та різні швидкості передачі даних (USB 2.0, USB 3.0, USB 3.1).

- **HDMI (High-Definition Multimedia Interface)** – інтерфейс для передачі відео- і аудіосигналів високої якості, використовується для з'єднання моніторів і телевізорів.

Інтерфейси зовнішньої пам'яті:

- **SATA (Serial ATA)** – стандарт для з'єднання жорстких дисків і SSD. SATA забезпечує високу швидкість передачі даних і є сумісним з багатьма пристроями зберігання.
- **PCIe (Peripheral Component Interconnect Express)** – шина для підключення розширювальних карт, таких як відеокарти, звукові карти, мережеві карти. PCIe забезпечує високу швидкість передачі даних і масштабованість.

1.2.6. Материнська плата

Материнська плата є основною платою, на якій розміщені всі ключові компоненти комп'ютера [11]. Основні компоненти, що приєднуються до материнської плати:

- **Сокет для процесора** – місце для встановлення процесора. Сокет визначає сумісність з певними типами процесорів та їх поколіннями.
- **Слоти пам'яті (DIMM)** – місця для модулів оперативної пам'яті. Різні типи слотів можуть підтримувати різні стандарти пам'яті (DDR3, DDR4, DDR5).
- **Слоти розширення (PCI/PCIe)** – місця для установки додаткових карт, таких як відеокарти, звукові карти або мережеві адаптери.

1.3. Основні принципи архітектури комп'ютерів

Архітектура комп'ютера базується на кількох основних принципах [4], які визначають організацію та функціонування системи. Ці принципи допомагають забезпечити ефективність, продуктивність і надійність комп'ютера. До основних принципів архітектури комп'ютера входять:

1.3.1. Принцип поділу ієрархії

Принцип поділу ієрархії полягає в організації компонентів комп'ютера в кілька рівнів, що дозволяє зменшити складність системи і підвищити її ефективність.

- **Ієрархія пам'яті:** Комп'ютерна пам'ять організована в ієрархічній структурі. На найнижчому рівні розташована кеш-пам'ять (L1, L2, L3), яка є найшвидшою, але має обмежений обсяг. Далі йде оперативна пам'ять (RAM), яка є більш об'ємною, але повільнішою. На найвищому рівні знаходяться довготривалі накопичувачі даних, такі як жорсткі диски та SSD. Ця ієрархія забезпечує баланс між швидкістю доступу до даних та їх обсягом.
- **Ієрархія обробки:** Процесор може мати кілька ядер, кожне з яких виконує свої інструкції паралельно. Ця ієрархічна організація дозволяє підвищити загальну продуктивність системи за рахунок паралельної обробки завдань.

1.3.2. Принцип універсальності

Принцип універсальності передбачає, що комп'ютер може виконувати широкий спектр завдань завдяки своїй програмовності та гнучкості.

- **Загальне призначення:** Сучасні комп'ютери є універсальними і можуть виконувати різноманітні обчислювальні завдання, від математичних розрахунків до обробки мультимедіа. Це досягається завдяки можливості запуску різних програм і операційних систем.
- **Програмування:** Принцип універсальності дозволяє комп'ютерам виконувати різні завдання завдяки програмуванню. Написання програмного забезпечення для різних цілей дозволяє змінювати функціональність комп'ютера без зміни його апаратного забезпечення.

1.3.3. Принцип паралелізму

Принцип паралелізму полягає у виконанні кількох завдань одночасно для підвищення швидкості обробки даних.

- **Багатоядерні процесори:** Сучасні процесори мають кілька ядер, що дозволяє виконувати паралельну обробку кількох потоків даних. Наприклад, процесор з чотирма ядрами може одночасно обробляти чотири різних завдання або потоки інструкцій.
- **Паралельна обробка:** Архітектура комп'ютера охоплює різні рівні паралелізму – від паралельних обчислень у

процесорі до паралельної обробки на рівні системи. Це дозволяє одночасне виконання декількох інструкцій (інструкційна конвеєризація) та розподіл завдань між декількома процесорами або вузлами у кластері.

1.3.4. Принцип абстракції

Принцип абстракції передбачає створення рівнів абстракції, які спрощують взаємодію між різними компонентами системи і дозволяють розробникам і користувачам працювати на різних рівнях деталізації.

- **Абстракція апаратного забезпечення:** Апаратне забезпечення абстрагується через використання операційних систем та драйверів, які забезпечують інтерфейс для взаємодії з апаратними компонентами. Це дозволяє програмістам писати код без прямої взаємодії з апаратним забезпеченням.
- **Абстракція даних:** Принцип абстракції також застосовується до обробки даних. Системи зберігання даних забезпечують абстрагування від фізичних аспектів зберігання, надаючи логічний інтерфейс для роботи з даними.

1.3.5. Принцип модульності

Принцип модульності полягає в організації системи з окремих модулів або компонентів, які можуть бути незалежно розроблені, протестовані та замінені.

- **Модульна архітектура:** дозволяє розробляти і тестувати різні частини системи окремо. Це включає в себе компоненти, такі як процесор, пам'ять, шини і периферійні пристрої, які можуть бути замінені або оновлені без впливу на інші частини системи.
- **Розширення і модернізація:** Модульність спрощує розширення і модернізацію системи. Наприклад, додавання нової відеокарти або збільшення обсягу оперативної пам'яті можна виконати без заміни всієї системи.

1.3.6. Принцип надійності та відмовостійкості

Принцип надійності та відмовостійкості забезпечує стабільну і безпечну роботу системи навіть у разі збою або поломки.

- **Виправлення помилок:** Важливими аспектами є наявність механізмів для виявлення і виправлення помилок, таких як перевірка паритету пам'яті або механізми корекції помилок в кеш-пам'яті.
- **Відмовостійкість:** Для забезпечення відмовостійкості використовуються різні стратегії, включаючи резервування компонентів, автоматичне відновлення системи після збою і створення резервних копій даних.

1.4. Основні цілі

Архітектура комп'ютера має кілька ключових цілей [3, 4], які визначають ефективність і продуктивність комп'ютерної системи. Основними цілями є продуктивність, ефективність, масштабованість і вартість. Кожна з них має свої специфічні аспекти і вимоги.

1.4.1. Продуктивність

Продуктивність визначає здатність комп'ютера швидко і ефективно виконувати обчислення і обробляти дані. Це є критичним аспектом для будь-якої обчислювальної системи, оскільки швидкість обробки даних безпосередньо впливає на загальну продуктивність системи.

- **Швидкість виконання обчислень і операцій:** Продуктивність досягається завдяки високій швидкості виконання арифметичних і логічних операцій. Важливими параметрами є тактова частота процесора (вимірюється в герцах) і кількість ядер, які можуть паралельно обробляти інструкції. Наприклад, сучасні процесори можуть мати тактову частоту понад 4 ГГц і до 16 ядер, що дозволяє одночасно обробляти безліч потоків даних.
- **Оптимізація компонентів і їх взаємодії:** Щоб досягти високої продуктивності, потрібно оптимізувати не тільки сам процесор, але й інші компоненти системи, такі як оперативна пам'ять, кеш-пам'ять і системна шина. Наприклад, швидкість доступу до кеш-пам'яті може суттєво вплинути на загальну продуктивність системи. Зменшення затримок у передачі даних між процесором і пам'яттю також сприяє підвищенню швидкості виконання завдань.

1.4.2. Ефективність

Ефективність зосереджується на оптимізації використання ресурсів комп'ютера для досягнення максимальних результатів з мінімальними витратами. Це охоплює як енергетичну, так і ефективність використання пам'яті.

- **Оптимізація використання ресурсів:** Для досягнення високої ефективності необхідно оптимізувати як апаратні, так і програмні ресурси. Наприклад, у багатозадачних операційних системах важливо, щоб ресурси процесора і пам'яті використовувалися якомога ефективніше для запобігання перевантаження та забезпечення плавної роботи системи.
- **Енергетична ефективність:** Сучасні процесори та інші компоненти проєктуються з урахуванням енергетичної ефективності. Наприклад, процесори можуть використовувати різні режими енергозбереження, які автоматично знижують споживання електроенергії, коли система не під навантаженням.
- **Ефективність використання пам'яті:** Ефективність пам'яті забезпечується через використання різних типів кеш-пам'яті (L1, L2, L3) і технологій стиснення даних. Розширення обсягу оперативної пам'яті та застосування алгоритмів управління пам'яттю, таких як заміна сторінок (paging) і сегментація, також допомагають у підвищенні ефективності.

1.4.3. Масштабованість

Масштабованість визначає здатність системи розширюватися для підтримки більших навантажень або додавання нових функцій без утрати продуктивності чи ефективності.

- **Можливість розширення:** Система повинна бути здатною до розширення, що дозволяє додавати нові компоненти, такі як додаткові процесори, модулі пам'яті або накопичувачі даних, без потреби в повній заміні існуючих елементів. Наприклад, сучасні сервери можуть бути масштабовані за рахунок додавання нових процесорних вузлів або розширення обсягу пам'яті.

- **Розширення для нових функцій:** Архітектура повинна підтримувати додавання нових функціональних можливостей. Це може бути розширення можливостей графічної обробки, інтеграцію нових типів периферійних пристроїв або оновлення програмного забезпечення для підтримки нових стандартів і технологій.

1.4.4. Вартість

Вартість ураховує балансування між витратами на компоненти та їх продуктивністю. Економічна ефективність є важливим аспектом при виборі компонентів системи.

- **Балансування витрат і продуктивності:** При проектуванні архітектури комп'ютера важливо знайти оптимальне співвідношення між витратами на компоненти та їх продуктивністю. Наприклад, вибір між різними типами процесорів або обсягами пам'яті може суттєво вплинути на загальну вартість системи.
- **Вибір компонентів:** Вибір компонентів системи, таких як процесор, оперативна пам'ять, накопичувачі та периферійні пристрої, повинен відповідати бюджету і потребам користувача. Наприклад, для високопродуктивних обчислювальних завдань можуть бути обрані дорогі сервери з високою продуктивністю, тоді як для офісних застосувань можна обрати більш доступні рішення.

1.5. Представлення даних у комп'ютері

Комп'ютери працюють з різноманітними типами даних, які повинні бути подані у зрозумілій для машини формі. Правильне представлення даних є ключовим аспектом обчислювальних процесів, оскільки воно впливає на точність, ефективність і швидкість роботи комп'ютерних систем. Тож розглянемо основні типи даних, формати представлення чисел у різних системах числення, а також способи кодування символів, такі як ASCII та Unicode, що дозволяють обробляти текстову інформацію в цифровій формі. Детальнішу інформацію можна знайти у [1, 7, 9].

1.5.1. Типи даних

Прості типи даних

Прості типи даних є базовими елементами, з яких будуються більш складні структури даних. Вони містять:

- **Цілі числа (Integer)** є одними з найпоширеніших типів даних у комп'ютерах. Вони можуть бути знаковими (з урахуванням позитивних і негативних значень) або беззнаковими (тільки позитивні значення). Залежно від розміру, цілі числа можуть займати різну кількість байтів у пам'яті (наприклад, 8-бітове, 16-бітове, 32-бітове або 64-бітове представлення).
- **Дійсні числа (Floating-Point Numbers)** використовуються для представлення чисел з дробовою частиною. Вони зберігаються в пам'яті у вигляді мантиси та експоненти відповідно до стандарту IEEE 754. Вони можуть бути представлені у форматах одинарної (32 біти) або подвійної (64 біти) точності.
- **Логічний тип (Boolean)** даних використовується для представлення двох можливих значень – істина (True) або хибно (False). Він зазвичай займає 1 біт пам'яті, хоча часто для його зберігання використовують 1 байт.
- **Символьний тип (Character)** даних представляє окремі символи, такі як літери, цифри або інші знаки. Найпоширенішим способом їхнього кодування є таблиці символів, такі як ASCII або Unicode. Символи зазвичай займають 1 байт (ASCII) або більше (Unicode) у пам'яті.

Складені типи даних

Складені типи даних складаються з комбінації простих типів даних і містять такі категорії:

- **Масиви (Arrays)** – колекції елементів одного типу, розташовані послідовно у пам'яті. Вони можуть бути одновимірними або багатовимірними. Кожен елемент масиву доступний за індексом.
- **Структури (Structures)** – дозволяють об'єднувати кілька різних типів даних в один логічний блок. Наприклад, структура може містити цілочислове значення, дійсне

число та символ. Цей тип даних часто використовується для організації складних даних.

- **Об'єкти (Objects)** – базові одиниці в об'єктно зорієнтованому програмуванні, які поєднують в собі дані та методи для їхньої обробки. Об'єкти дозволяють організовувати програмний код у модульні та повторно використовувані компоненти.
- **Переліки (Enumerations)** – тип даних, що є набором пов'язаних між собою значень. Кожне значення в переліку має унікальне ім'я й асоційоване з ним цілочислове значення.

Типи даних, залежні від контексту

Окрім базових і складених типів даних, є ще типи, специфічні для певного контексту, такі як:

- **Вказівники (Pointers)** – спеціальні змінні, які зберігають адреси інших змінних або функцій у пам'яті. Вони широко використовуються в низькорівневому програмуванні для динамічного розподілу пам'яті та створення складних структур даних, таких як списки, дерева або графи.
- **Посилання (References)** – подібні до вказівників, але з деякими відмінностями у синтаксисі та використанні. Вони часто застосовуються в об'єктно зорієнтованому програмуванні для роботи з об'єктами.
- **Бітові поля (Bit Fields)** – дозволяють зберігати кілька логічних значень в одному байті або групі байтів, ефективно використовуючи пам'ять для представлення логічних станів.

1.5.2. Формати представлення чисел

Розуміння різних форматів представлення чисел є ключовим для ефективної роботи з даними в комп'ютері. Знання двійкової, вісімкової, десяткової та шістнадцяткової систем числення дозволяє програмістам та інженерам працювати на різних рівнях абстракції, від низькорівневих обчислень до зручного представлення даних для користувачів. Кожна числова система має свою базу (основу) і використовується для різних цілей у

обчисленнях та програмуванні. Розглянемо кожну з них детальніше.

Двійкова система числення (Binary System)

Основа: 2

Цифри: 0, 1

Двійкова система числення є найважливішою для комп'ютерної техніки, оскільки комп'ютери працюють з інформацією у вигляді бітів, кожен з яких може мати значення або 0, або 1. Усі дані в комп'ютері зберігаються, передаються і обробляються у двійковому вигляді. Кожна двійкова цифра називається бітом, а послідовність бітів утворює байт (8 біт), слово (16, 32 або 64 біти залежно від архітектури) та інші одиниці даних.

Наприклад, число 13 у двійковій системі подається як 1101, де:

$$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

Вісімкова система числення (Octal System)

Основа: 8

Цифри: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Вісімкова система числення використовується як компактне подання двійкових чисел, оскільки кожна вісімкова цифра відповідає трьом двійковим. Вона була особливо популярна у ранніх комп'ютерних системах для відображення машинного коду, але зараз використовується рідше.

Наприклад, число 13 у вісімковій системі подається як 15, де:

$$1 \times 8^1 + 5 \times 8^0 = 8 + 5 = 13$$

Десяткова система числення (Decimal System)

Основа: 10

Цифри: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Десяткова система є найпоширенішою і використовується людьми у повсякденному житті. Вона складається з десяти цифр від 0 до 9 і має базу 10. Десяткові числа зазвичай використовуються для подання результатів обчислень у зручній для користувача формі.

Наприклад, число 13 у десятковій системі просто залишається як 13, де:

$$1 \times 10^1 + 3 \times 10^0 = 10 + 3 = 13$$

Шістнадцяткова система числення (Hexadecimal System)

Основа: 16

Цифри: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

Шістнадцяткова система числення використовується для компактного подання двійкових чисел, оскільки кожна шістнадцяткова цифра відповідає чотирьом двійковим. Це особливо зручно при роботі з великими обсягами даних або при низькорівневому програмуванні (наприклад, у роботі з пам'яттю або адресами).

Наприклад, число 13 у шістнадцятковій системі подається як D, де:

D = 13 (у десятковій системі)

Також, наприклад, число 255 у шістнадцятковій системі подається як FF, де:

$$F \times 16^1 + F \times 16^0 = 15 \times 16 + 15 = 240 + 15 = 255$$

1.5.3 Кодування символів (ASCII, Unicode)

Кодування символів є основоположним процесом у комп'ютерній техніці, який забезпечує перетворення символів тексту в цифровий формат, зрозумілий для комп'ютерів. Дві найпоширеніші системи кодування символів, які використовуються сьогодні, – це ASCII та Unicode.

ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

Діапазон: 7 біт (або 8 біт з розширенням)

Кількість символів: 128 (або 256 з розширенням)

ASCII був одним із перших стандартів кодування символів і залишається одним із найбільш упізнаваних. Його основна мета полягала у забезпеченні стандартного способу подання текстових символів, таких як літери, цифри, знаки пунктуації та керуючі символи, у цифровому вигляді.

Основні характеристики ASCII:

- Кожен символ кодується 7-бітовим числом, що дозволяє закодувати до 128 різних символів.
- Кодування охоплює символи латинського алфавіту (великі і малі літери), цифри (0-9), основні знаки пунктуації, спеціальні символи та кілька керуючих символів (таких як табуляція, переведення рядка тощо).
- Розширений варіант ASCII використовує 8-бітове кодування, що дозволяє додати додаткові 128 символів, включаючи графічні символи та символи різних мов.

Приклад:

- Буква A в ASCII кодується числом 65.
- Цифра 1 кодується числом 49.
- Пробіл кодується числом 32.

ASCII став основою для багатьох інших стандартів кодування і залишається важливим в історії розвитку обчислювальних систем.

Unicode

Діапазон: До 32 біт

Кількість символів: Понад 143,000 символів

Unicode є сучасним стандартом кодування символів, який був створений для подолання обмежень ASCII та інших ранніх систем кодування. Основною метою Unicode було забезпечити універсальний спосіб подання тексту в будь-якій мові світу, включаючи мови з великими алфавітами, такі як китайська, японська та корейська, а також спеціальні символи, емодзі та технічні знаки.

Основні характеристики Unicode:

- Unicode підтримує декілька форматів кодування, найпоширеніші з яких – UTF-8, UTF-16 та UTF-32. Вони відрізняються довжиною кодування символу.
- **UTF-8:** Використовує змінну довжину кодування (від 1 до 4 байт) і зберігає сумісність із ASCII. Це найбільш популярний формат, особливо в інтернеті.

- **UTF-16:** Використовує 2 або 4 байти для кодування символів. Широко використовується у системах Windows та Java.
- **UTF-32:** Використовує постійно 4 байти для кодування кожного символу, що спрощує обробку, але збільшує обсяг даних.

Приклад:

- Буква А в Unicode кодується так само, як в ASCII – U+0041.
- Китайський ієрогліф 你 кодується як U+4F60.
- Емодзі 😊 кодується як U+1F60A.

Unicode став глобальним стандартом для кодування тексту, забезпечуючи єдність і сумісність даних між різними мовами та системами.

1.6. Операції над даними

Операції над даними фундаментальні для виконання будь-яких обчислень у комп'ютері. Вони дозволяють маніпулювати числами, логічними значеннями, а також змінювати послідовності бітів, що становлять дані [7, 11]. Розглянемо основні арифметичні операції, які забезпечують виконання математичних обчислень, логічні операції, що керують умовними переходами і прийняттям рішень, а також операції зсувів і ротацій, які дозволяють ефективно обробляти двійкові дані на рівні окремих бітів.

1.6.1. Арифметичні операції

Арифметичні операції є основними математичними операціями, які виконуються над числами в комп'ютерах. Ці операції слугують основою більшості обчислювальних процесів, починаючи від простих підрахунків і закінчуючи складними алгоритмами. Основні арифметичні операції, які виконуються в комп'ютерних системах: додавання, віднімання, множення, ділення та інші спеціалізовані операції, такі як модуль та інкремент/декремент.

Додавання (Addition)

Додавання є базовою операцією, яка об'єднує два числа для отримання їх суми. У двійковій системі додавання виконується за

тими ж правилами, що і в десятковій, але з використанням лише цифр 0 і 1.

Правила додавання у двійковій системі:

- $0 + 0 = 0$
- $0 + 1 = 1$
- $1 + 0 = 1$
- $1 + 1 = 10$

тобто 0 з перенесенням 1 в наступний старший розряд)

Приклад: Додавання чисел 1011 (11 у десятковій) і 1101 (13 у десятковій):

```
  1011
+ 1101
-----
 11000  (24 у десятковій)
```

Віднімання (Subtraction)

Віднімання є операцією, яка обчислює різницю між двома числами. Як і додавання, ця операція виконується за правилами, подібними до десяткової системи, але з урахуванням специфіки двійкової арифметики.

Правила віднімання у двійковій системі:

- $0 - 0 = 0$
- $1 - 0 = 1$
- $1 - 1 = 0$
- $0 - 1 = 1$
із позиченням 1 із
наступного старшого
розряду

Приклад: Віднімання числа 1011 (11 у десятковій) від 1101 (13 у десятковій):

```
  1101
- 1011
-----
  0010  (2 у десятковій)
```

Множення (Multiplication)

Множення у двійковій системі є повторюваним додаванням. Кожен біт множника використовується для множення всього множника, а результати потім сумуються з урахуванням зсуву розрядів.

Правила множення у двійковій системі:

- $0 \times 0 = 0$
- $0 \times 1 = 0$
- $1 \times 0 = 0$
- $1 \times 1 = 1$

Приклад: Множення чисел 101 (5 у десятковій) і 11 (3 у десятковій):

```
  101
×  11
-----
  101   (5)
+ 1010  (10, зсув на один розряд вліво)
-----
 1111   (15 у десятковій)
```

Ділення (Division)

Ділення є операцією, яка знаходить частку двох чисел. У двійковій системі ділення виконується подібно до десяткового ділення, але з урахуванням специфіки двійкових чисел.

Приклад: Ділення числа 1100 (12 у десятковій) на 10 (2 у десятковій):

$$1100 \div 10 = 110 \text{ (6 у десятковій)}$$

Модуль (Modulo)

Операція модуль (залишок від ділення) використовується для отримання залишку від ділення одного числа на інше. Вона часто застосовується в різних алгоритмах, зокрема для перевірки парності, циклічних обчислень тощо.

Приклад: Результат $13 \bmod 5$ у двійковій системі (де 13 у десятковій – це 1101, а 5 – 101):

$13 \bmod 5 = 3$ (у двійковій 3 – це `11`)

Інкремент і декремент (Increment and Decrement)

Ці операції використовуються для збільшення або зменшення числа на одиницю. Вони часто використовуються в циклах та інших ітеративних процесах.

- **Інкремент** (збільшення на 1): $x = x + 1$
- **Декремент** (зменшення на 1): $x = x - 1$

Приклад: Якщо $x = 5$ (у двійковій 101), то після операції інкременту $x = 6$ (у двійковій 110).

1.6.2. Логічні операції

Логічні операції є основними інструментами для маніпуляції бітовими даними в комп'ютерних системах. Вони застосовуються не лише в арифметичних обчисленнях, а й у процесах прийняття рішень, управління програмними потоками, маніпуляції з масками бітів і багатьма іншими задачами. Основні логічні операції охоплюють **AND** (логічне "І"), **OR** (логічне "АБО"), **NOT** (логічне "НЕ"), **XOR** (виняткове "АБО"), а також операції зсуву.

Логічне "І" (AND)

Операція AND порівнює відповідні біти двох операндів і повертає 1, якщо обидва біти дорівнюють 1, і 0 в іншому випадку.

Правила:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| • $1 \text{ AND } 1 = 1$ | • $0 \text{ AND } 1 = 0$ |
| • $1 \text{ AND } 0 = 0$ | • $0 \text{ AND } 0 = 0$ |

Приклад:

```
1101
AND 1011
-----
1001
```

Результат: 1001 (у десятковій системі 9)

Логічне "АБО" (OR)

Операція OR порівнює відповідні біти двох операндів і повертає 1, якщо принаймні один з бітів дорівнює 1.

Правила:

- $1 \text{ OR } 1 = 1$
- $0 \text{ OR } 1 = 1$
- $1 \text{ OR } 0 = 1$
- $0 \text{ OR } 0 = 0$

Приклад:

```
1101
OR 1011
-----
1111
```

Результат: 1111 (у десятковій системі 15)

Логічне "НЕ" (NOT)

Операція NOT є унарною операцією, яка інвертує значення кожного біта операнда. Якщо біт дорівнює 1, він змінюється на 0, і навпаки.

Правила:

- $\text{NOT } 1 = 0$
- $\text{NOT } 0 = 1$

Приклад:

```
NOT 1101
-----
0010
```

Результат: 0010 (у десятковій системі 2, при 4-бітному уявленні)

Виключне "АБО" (XOR)

Операція XOR порівнює відповідні біти двох операндів і повертає 1, якщо значення бітів відрізняються, і 0, якщо вони однакові.

Правила:

- $1 \text{ XOR } 1 = 0$
- $1 \text{ XOR } 0 = 1$
- $0 \text{ XOR } 1 = 1$
- $0 \text{ XOR } 0 = 0$

Приклад:

1101

XOR 1011

0110

Результат: 0110 (у десятковій системі 6)

1.6.3. Зсуви та ротації

Зсуви та ротації – це базові операції з маніпуляції бітовим поданням даних, які широко використовуються в комп'ютерних системах. Ці операції переміщують біти в числі вліво або вправо, змінюючи так їхнє значення, або забезпечують циклічний рух бітів у межах слова даних. Зсуви та ротації використовуються в багатьох алгоритмах, зокрема в криптографії, графіці, та оптимізації коду.

Зсуви (Shifts)

Зсуви бувають двох основних типів: **логічні** та **арифметичні**.

Логічний зсув (Logical Shift)

Логічний зсув переміщує біти числа вліво або вправо, заповнюючи звільнені біти нулями.

Логічний зсув уліво (Logical Shift Left, LSL): Переміщує всі біти вліво на певну кількість позицій. Біти, що виходять за межі, викидаються, а звільнені позиції заповнюються нулями. Це еквівалентно множенню числа на 2 для кожного зсуву на одну позицію.

Приклад:

0010 (2 в десятковій) $\ll 1 = 0100$ (4 в десятковій)

Логічний зсув управо (Logical Shift Right, LSR): Переміщує всі біти вправо на певну кількість позицій. Біти, що виходять за межі, викидаються, а звільнені позиції зліва

заповнюються нулями. Це еквівалентно діленню числа на 2 для кожного зсуву на одну позицію.

Приклад:

0100 (4 в десятковій) $\gg 1 = 0010$ (2 в десятковій)

Арифметичний зсув (Arithmetic Shift)

Арифметичний зсув також переміщує біти вліво або вправо, але враховує знак числа, зберігаючи старший біт (знаковий біт) при зсуві вправо.

Арифметичний зсув уліво (Arithmetic Shift Left, ASL):

Подібний до логічного зсуву вліво. Бітові значення переміщуються вліво, а звільнені біти заповнюються нулями. Арифметичний зсув вліво еквівалентний множенню числа на 2.

Приклад:

0011 (3 в десятковій) $\ll 1 = 0110$ (6 в десятковій)

Арифметичний зсув управо (Arithmetic Shift Right, ASR):

Переміщує біти вправо, зберігаючи знак числа. Це означає, що старший біт (знаковий біт) залишається незмінним, а звільнені біти заповнюються його значенням. Це еквівалентно діленню числа на 2 з округленням униз.

Приклад:

1100 (-4 в десятковій) $\gg 1 = 1110$ (-2 в десятковій)

Ротації (Rotations)

Ротації забезпечують циклічний зсув бітів у межах фіксованої довжини слова даних. На відміну від зсувів, при ротації біти, що виходять за межі, повертаються на протилежний кінець числа.

Ротація вліво (Rotate Left, ROL)

Ротація вліво переміщує всі біти числа вліво на певну кількість позицій, а біти, що виходять за межі зліва, повертаються на правий кінець числа.

Приклад:

1011 (в початковому стані) $\ll 1 = 0111$

0111 (після першої ротації) $\ll 1 = 1110$

Ротація вправо (Rotate Right, ROR)

Ротація вправо переміщує всі біти вправо на певну кількість позицій, а біти, що виходять за межі справа, повертаються на лівий кінець числа.

Приклад:

1011 (в початковому стані) $\gg 1 = 1101$

1101 (після першої ротації) $\gg 1 = 1110$

2. Історичний розвиток комп'ютерної архітектури

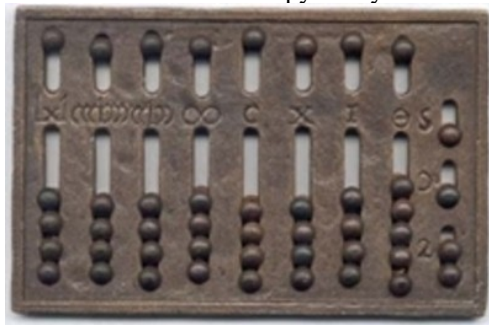
2.1. Перші обчислювальні машини

2.1.1. Механічні обчислювачі

Механічні обчислювачі стали першим кроком у розвитку обчислювальних машин [1 – 3]. Вони використовували механічні компоненти для виконання арифметичних і логічних операцій, що забезпечувало можливість автоматизації розрахунків і підвищення точності обчислень. Ці пристрої були важливими попередниками сучасних електронних комп'ютерів.

Рахівниці й абак

Абак, або рахівниця, є однією з найдавніших форм механічного обчислювального інструменту.



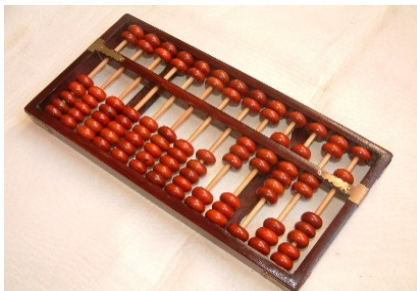
Римський абак (рахівниця)

Його використання відзначає ранні спроби автоматизації обчислень і управління числовими даними.

Абак складається з рамки, в якій розміщені ряди дротяних чи дерев'яних стержнів, що містять кульки або диски. Кожен ряд представляє різний розряд числа (одиниці, десятки, сотні і т.д.). Переміщуючи кульки по стержнях, користувач може виконувати арифметичні операції.

Абак використовується для додавання, віднімання, множення і ділення чисел. Рух кульок у ряді забезпечує результат обчислень завдяки змінам у положенні кульок.

Абак використовувався у стародавніх цивілізаціях, таких як Месопотамія, Єгипет, Греція і Рим. Це був основний інструмент для виконання числових обчислень до появи більш складних механічних калькуляторів. З часом абак модифікувався для різних культурних і технологічних потреб, включаючи китайський суан-пан та японський соробан.



Китайський абак – суан-пан

Рахівниці (або рахівниці для підрахунку) є простими механічними інструментами, що використовуються для виконання основних арифметичних обчислень. Це також ранні прикладами механічних обчислювачів.



Рахівниця

Рахівниці складаються з ряду кульок або пластинок, розміщених на рахівниці, яка може бути виготовлена з дерева чи металу. Кульки можуть рухатися вздовж стержнів або рейок, їх позиція вказує на числові значення.

Як і абак, рахівниці використовуються для виконання основних арифметичних операцій. Рух кульок або пластинок дозволяє користувачеві зчитувати результати обчислень і здійснювати арифметичні операції.

Рахівниці широко використовувалися в середньовіччі, особливо в торгівлі та бухгалтерії, де вони забезпечували швидкий і зручний спосіб виконання арифметичних обчислень. З розвитком технологій рахівниці поступово були замінені більш складними обчислювальними інструментами, але вони залишаються важливим етапом в історії механічних обчислювачів.

Абак і рахівниці є важливими прикладами ранніх механічних обчислювачів, які забезпечили основи для подальшого розвитку обчислювальної техніки. Їх використання продемонструвало ранні спроби автоматизації обчислень і управління числовими даними, що в подальшому вплинуло на розробку більш складних механічних і електронних обчислювальних систем. Хоча насправді рахівниці і абак – більше інструмент для запам'ятовування чисел, а не для обчислення.

Механічні годинники

Механічні годинники, які розвивалися з середньовіччя, є важливим етапом в історії механічних обчислювачів. Вони продемонстрували, як точність і автоматизація можуть бути досягнуті за допомогою складних механічних систем. Розробка годинників також показала можливості для створення автоматичних систем, що з часом вплинули на розробку обчислювальних машин.

Принципи роботи

- **Механізм годинника:** Механічні годинники використовують складні механічні системи для вимірювання часу. Основні їхні компоненти – балансувальні колеса, спіральні пружини та зубчасті колеса. Балансувальне колесо забезпечує точність за рахунок регулярного коливання, яке синхронізується з іншим механізмом годинника через зубчасті передачі.
- **Автоматизація:** Механічні годинники продемонстрували можливість автоматизації процесу вимірювання часу без

необхідності ручного втручання. Це було досягнуто завдяки точним механізмам, які регулюють рух стрілок.



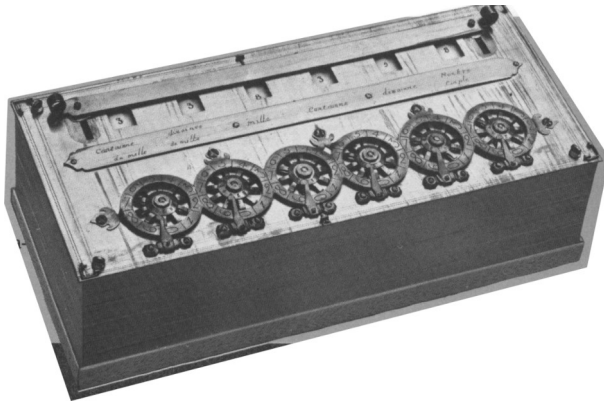
Вплив на розвиток обчислювальних машин

- **Точність і регулярність:** Механічні годинники стали одним з перших прикладів використання точності і регулярності в механічних системах. Принципи, такі як регулювання коливань і зубчасті передачі, були адаптовані для розробки перших обчислювальних машин. Чарльз Беббідж, наприклад, використовував подібні принципи у своїй Аналітичній машині.
- **Механічні обчислювачі:** Годинники показали, як складні механічні системи можуть бути використані для автоматизації завдань. Це надихнуло розробників механічних обчислювачів, таких як Беббідж, на створення систем, які могли б виконувати складні обчислення за допомогою подібних принципів.

Механічні годинники є важливим прикладом ранньої механізації й автоматизації, що продемонстрували можливості досягнення високої точності і регулярності в механічних системах. Їх розвиток відіграв важливу роль у формуванні концепцій, які пізніше були використані для створення обчислювальних машин. Принципи точності, автоматизації та механічної складності, продемонстровані в годинниках, значно вплинули на розвиток комп'ютерної техніки.

Обчислювальна машина Паскаля (Pascaline)

Обчислювальна машина Блеза Паскаля, розроблена вченим у 1642 році, є однією з перших механічних обчислювальних машин. Вона була створена для спрощення арифметичних розрахунків, які Паскаль виконував у своїй батьківській компанії, що займалася фінансами.



Машина Паскаля використовувала механічні та зубчаті колеса для виконання арифметичних операцій. Користувачі могли ввести числа за допомогою ручок, які повертали колеса для відображення результату на індикаторах. Ця машина могла виконувати додавання і віднімання.

Машина Паскаля стала важливим кроком у розвитку обчислювальних пристроїв. Хоча її можливості були обмежені, вона продемонструвала ідею автоматизації обчислень і надала основи для подальших розробок у цій сфері.

Ткацький станок Жозефа-Марі Жаккара

Ткацький станок Жозефа-Марі Жаккара — одне з найвизначніших досягнень у галузі автоматизації, яке мало великий вплив на розвиток технологій, що пізніше стали основою для обчислювальних машин. Розроблений на початку XIX століття, цей станок використовував перфокарти для керування процесом ткацтва, що стало важливим кроком до концепції програмування.

Станок використовував перфокарти, на яких були пробиті отвори, що управляли різними частинами механізму ткацького

станка. Це дозволяло створювати складні візерунки на тканині без ручного втручання. Перфокарти визначали, які нитки мають бути підняті чи опущені в процесі ткацтва.



Станок Жаккара був однією з перших реалізацій ідеї програмування. Принцип перфокарт, використаний для автоматизації ткацького процесу, став важливим для подальшого розвитку обчислювальних машин. Це продемонструвало, що механічні системи можуть бути налаштовані для виконання різних завдань на основі змінних параметрів, закладених у програму.

Ідея використання перфокарт була пізніше адаптована для перших обчислювальних машин. Чарльз Беббідж, наприклад, використовував подібну концепцію. Це стало основою для програмування комп'ютерів, яке використовується і в сучасних системах.

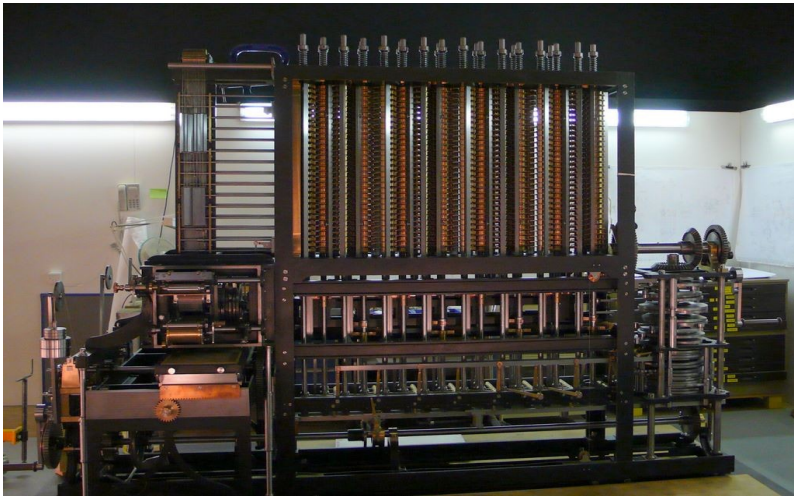
Ткацький станок Жаккара показав, як автоматизація може зменшити потребу в людському втручанні та підвищити ефективність виробництва. Це стало важливим етапом на шляху до створення комп'ютерних систем, які можуть виконувати складні обчислення без безпосередньої участі людини.

Ткацький станок Жозефа-Марі Жаккара є важливим історичним прикладом механічної автоматизації, яка заклала основи для

розробки перших обчислювальних машин. Його принципи, такі як використання перфокарт, значно вплинули на подальший розвиток технологій та концепцій, що сформували сучасну комп'ютерну архітектуру.

Машина Беббіджа

Машина Беббіджа, розроблена Чарльзом Беббіджем у середині XIX століття, є однією з найзначніших ранніх обчислювальних машин. Вона була спроектована для виконання складних математичних розрахунків і могла виконувати множення, ділення та інші операції.



Машина Беббіджа мала два основних компоненти: Машина для обчислень і Програмована обчислювальна машина (Аналогова машина). Машина для обчислень була спроектована для автоматичного виконання поліноміальних обчислень, тоді як Програмована обчислювальна машина могла виконувати різні інструкції за допомогою перфокарт.

Хоча машина Беббіджа ніколи не була повністю реалізована за життя її винахідника, її концепції та принципи пізніше стали основою для розвитку сучасних комп'ютерів. Концепція програмування й автоматизації обчислень, закладена у цій машині, мала величезний вплив на розвиток комп'ютерної архітектури.

2.1.2. Аналогові комп'ютери

Аналогові комп'ютери, такі як механічний аналоговий комп'ютер Германа Пфлюгера (Hermann Pflüger) або аналогові обчислювальні машини, використовувалися для інженерних розрахунків і моделювання фізичних систем.

Ці комп'ютери використовували механічні або електричні компоненти для моделювання фізичних явищ. Наприклад, вони могли використовувати потенціометри, конденсатори і резистори для моделювання різних електричних або механічних систем.

Аналогові комп'ютери були важливими для розв'язання складних інженерних задач до розвитку цифрових комп'ютерів. Вони забезпечували інженерам можливість візуалізації й аналізу складних систем без використання числових методів.

Аналоговий комп'ютер Міллера

Аналоговий комп'ютер Міллера, розроблений Вільямом Міллером у середині 20-го століття, був одним з найбільш відомих аналогових комп'ютерів для обробки сигналів і розрахунків.

Комп'ютер використовував резистори, конденсатори й операційні підсилювачі для виконання обчислень і моделювання різних фізичних процесів. Цей тип комп'ютера дозволяв розв'язувати диференціальні рівняння і проводити обчислення в реальному часі.

Аналоговий комп'ютер Міллера продемонстрував потенціал аналогових систем у наукових і інженерних розрахунках і став основою для подальших розробок в аналогових обчислювальних технологіях.

Бакстерський аналоговий комп'ютер

Бакстерський аналоговий комп'ютер, розроблений Робертом Бакстером у 1950-х роках, використовував аналогову обробку для розв'язання складних технічних і наукових задач.

Комп'ютер використовував електричні кола для симуляції математичних моделей і розв'язання диференціальних рівнянь. Це дозволяло моделювати різноманітні фізичні системи та процеси.

Бакстерський комп'ютер був важливим для розвитку аналогових обчислювальних систем та їх застосування у наукових дослідженнях.

Ці приклади показують різноманітність і вплив аналогових комп'ютерів на розвиток обчислювальних технологій. Вони ілюструють, як механічні й електричні системи можуть бути використані для виконання обчислень і моделювання фізичних процесів до появи цифрових комп'ютерів.

Хоча аналогові комп'ютери не є основними у масовому обчисленні завдань, вони продовжують використовуватися і розвиватися у специфічних застосуваннях. Вони відіграють важливу роль у розумінні та моделюванні фізичних систем, а також у поєднанні з цифровими технологіями для створення потужних обчислювальних розв'язків.

2.2. Ранні електронні комп'ютери

2.2.1. 1906 рік. Лі Ді Форест і вакуумний триод

У 1906 році американський винахідник Лі Ді Форест (Lee DeForest) запатентував вакуумний триод, який став важливим етапом у розвитку електронних комп'ютерів.



Вакуумний триод є електронним пристроєм, що має три електроди: катод, анод і решітку. Він працює в умовах вакууму і дозволяє управляти потоком електронів між катодом і анодом за допомогою напруги, яка подається на решітку.

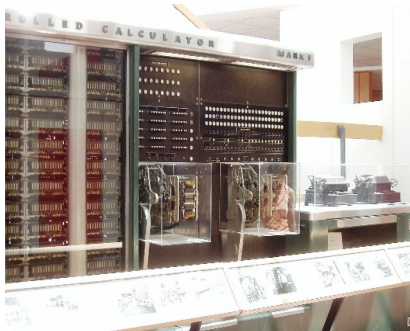
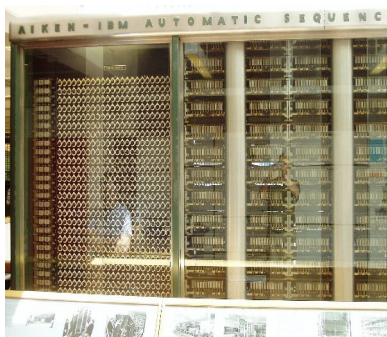
Вакуумний триод використовується як перемикач або підсилювач електричних сигналів. Він може регулювати і посилювати електричні сигнали, що робить його корисним для обробки і передачі інформації.



Вакуумні триоди були ключовими компонентами перших електронних комп'ютерів, таких як ENIAC і EDVAC. Вони використовувалися для обробки даних і виконання обчислень, забезпечуючи значний приріст швидкості обробки в порівнянні з механічними пристроями.

2.2.2. Марк-1 (Harvard Mark I)

Harvard Mark I, також відомий як IBM Automatic Sequence Controlled Calculator (ASCC), був одним з перших програмованих електромеханічних комп'ютерів. Розроблений у 1940-х роках, цей комп'ютер став важливою віхою в історії обчислювальної техніки.



Марк-1 розроблений під керівництвом Гарвардського університету, зокрема під наглядом професора Говарда Ейкена (Howard Aiken). Технічна розробка проводилася у співпраці з IBM, яка забезпечила основні компоненти комп'ютера.

Комп'ютер був запущений у 1944 році, після кількох років розробки та складання.

Технічні характеристики

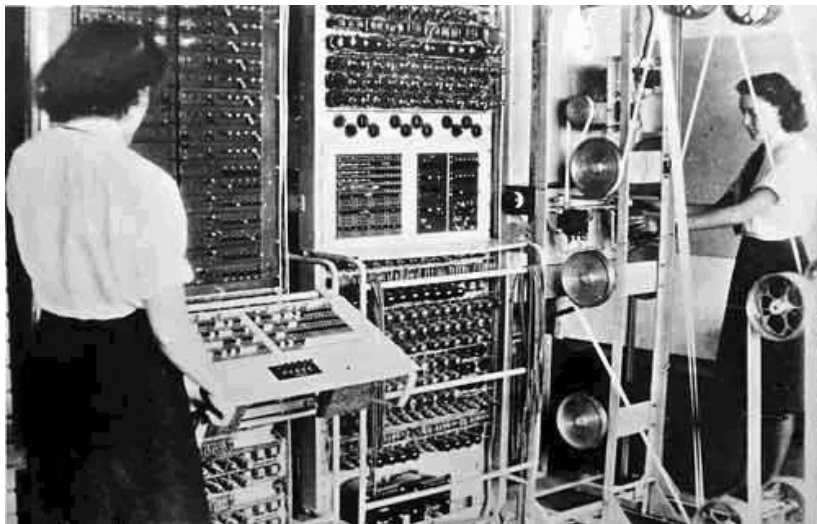
- **Конструкція:** Марк-1 був електромеханічним комп'ютером, що використовував електромагнітні реле і механічні перемикачі для обробки даних. Ці реле були використані для зберігання та маніпулювання двійковими даними.
- **Програмування:** Він підтримував програмування за допомогою перфокарт. Команди вводилися в комп'ютер за допомогою перфокарт і оброблялися в послідовному порядку.
- **Пам'ять:** Марк-1 мав здатність зберігати до 72 чисел у своїй пам'яті. Кожне число подавалося 23 знаками у системі числення з плаваючою крапкою.
- **Обчислювальна швидкість:** Швидкість виконання обчислень становила близько 3 операцій в секунду, що було значним досягненням для того часу.
- **Розміри:** Комп'ютер мав довжину близько 16 метрів і складався з понад 750 тисяч елементів, включаючи реле і перемикачі.

Важливість і вплив

- **Наукові досягнення:** Марк-1 став першим комп'ютером, що був використаний для складних наукових розрахунків. Він використовувався для розрахунків у наукових дослідженнях, включаючи роботи з ядерної фізики.
- **Військове використання:** Під час Другої світової війни комп'ютер використовувався для розрахунків артилерійських таблиць та інших військових завдань.
- **Вплив на подальші розробки:** Марк-1 надихнув на подальший розвиток електронних та програмованих комп'ютерів. Його конструкція і принципи програмування стали основою для розробки наступних поколінь комп'ютерів, включаючи електронні комп'ютери, такі як ENIAC та UNIVAC.

2.2.3. Колоссус (Colossus)

Колоссус (Colossus) був першим програмованим електронним комп'ютером, розробленим під час Другої світової війни для розшифровки закодованих повідомлень. Хоча створення Колоссуса не було безпосередньо пов'язане з Аланом Тюрінгом, його робота мала важливий вплив на розвиток обчислювальної техніки та теоретичну комп'ютерну науку.



Історія та розробка

- **Автори:** Колоссус розроблений Бредлі Вестоном, Джоном Шеффілдом і командою інженерів Британської розвідки (Government Code and Cypher School) на Блетчлі-Парку, де працював також Алан Тюрінг, чия теоретична робота з криптографії вплинула на розвиток комп'ютерних технологій.
- **Запуск:** Колоссус був уведений в експлуатацію в 1944 році.

Технічні характеристики

- **Конструкція:** Колоссус був електронним комп'ютером, що використовував вакуумні лампи для обробки даних. Він

мав 2000 вакуумних ламп, що робило його одним з перших великих електронних комп'ютерів.

- **Програмування:** Колоссус не був універсальним комп'ютером і не використовував зберігання програми в традиційному сенсі. Його програми були закодовані в його електронних схемах, що робило його спеціалізованим інструментом для конкретних завдань.
- **Виконання завдань:** Колоссус був спроектований для розшифровки закодованих повідомлень, зокрема тих, що були зашифровані німецькою машиною Lorenz SZ40/42. Це був один з перших випадків застосування комп'ютерів для криптографії.
- **Швидкість:** Колоссус міг обробляти до 5000 бітів за секунду, що було значним досягненням на той час.

Важливість і вплив

- **Науковий і технічний вплив:** Колоссус є значним досягненням в історії обчислювальної техніки і криптографії. Він продемонстрував можливості електронних комп'ютерів і заклав основу для подальших розробок у цій галузі.
- **Розшифровка повідомлень:** Робота Колоссуса над розшифруванням закодованих повідомлень зробила важливий внесок у перемогу союзників у Другій світовій війні.
- **Призначення:** Хоча Колоссус спочатку використовувався для розшифровки військових повідомлень, його технології та концепції вплинули на подальший розвиток комп'ютерних систем і програмування.

2.2.4. 1945 рік. Архітектура Джона фон Неймана

Джон фон Нейман (John Von Neumann) написав у 1945 році статтю "**First Draft of a Report on the EDVAC**", яка стала визначальним документом для розвитку сучасних комп'ютерних архітектур [7, 13, 14]. У цій статті описано концепцію **архітектури фон Неймана**, яка є основою для більшості сучасних комп'ютерів.

Основні аспекти архітектури фон Неймана

- **Зберігання програми:** Один із ключових принципів, запропонованих фон Нейманом, полягав у зберіганні програми в пам'яті разом з даними. Це дозволяло комп'ютерам бути програмованими для виконання різних завдань без необхідності фізичного перепрограмування або зміни апаратного забезпечення.
- **Уніфіковане зберігання даних та інструкцій:** Архітектура фон Неймана передбачає, що дані і команди зберігаються в одній і тій же пам'яті. Це забезпечує простоту програмування та гнучкість.
- **Центральний процесор (ЦП):** Основний елемент комп'ютера, який виконує команди програми. Це охоплює арифметичні та логічні операції, а також управління виконанням програми.
- **Вхід/вихід і пам'ять:** Архітектура фон Неймана передбачає використання вводу/виводу для взаємодії із зовнішнім світом і використання пам'яті для зберігання даних і програм.
- **Послідовне виконання інструкцій:** Інструкції виконуються по черзі, одна за одною, що спрощує розробку і тестування програм.

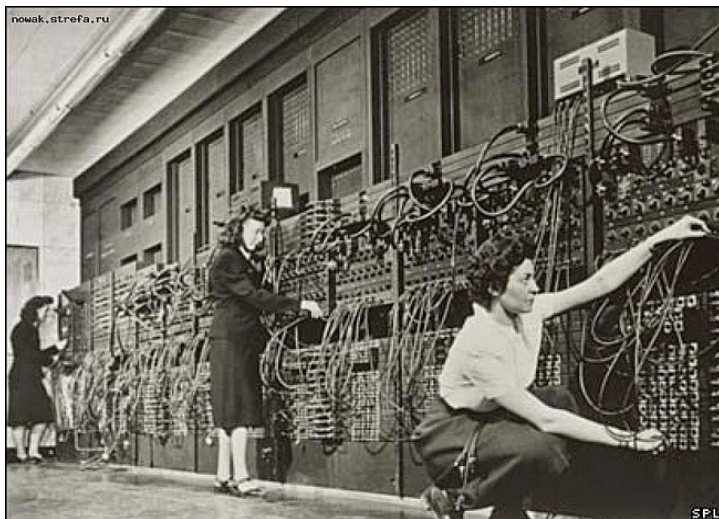
2.2.5. 1946 рік. Електронно-обчислювальна машина ENIAC

ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) – одна з перших електронних універсальних обчислювальних машин. Створена Джоном Мошлі (John Mauchly) і Дж. Преспером Екертом (J. Presper Eckert), ENIAC відіграла важливу роль в історії комп'ютерних технологій.

Основні аспекти ENIAC

- **Конструкція:** ENIAC використовував близько 18000 вакуумних ламп, які забезпечували його функціонування. Це робило його одним з перших повністю електронних комп'ютерів.
- **Програмування:** У ENIAC програми були закодовані шляхом фізичного під'єднання дрітів і перемикачів, що

робило програмування складним і трудомістким процесом. Лише пізніше, після вдосконалення, ENIAC отримав можливість бути перепрограмованим для виконання різних завдань.

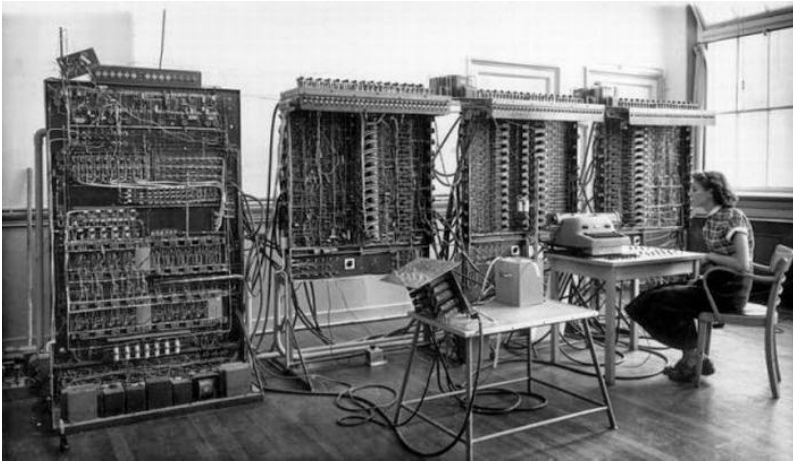


- **Розмір і швидкість:** Машина займала величезний об'єм приміщення і споживала велику кількість електроенергії. Вона могла виконувати приблизно 5000 операцій на секунду.
- **Використання:** ENIAC використовувався для розрахунків у рамках військових і наукових проєктів, таких як розрахунки траєкторій снарядів для армії США.
- **Вплив:** ENIAC продемонстрував потенціал електронних комп'ютерів і став основою для подальших розробок у цій галузі. Його розробка стала важливим кроком у напрямку створення універсальних програмованих комп'ютерів.

2.2.6. POM-1 (ROMAC-1)

POM-1 (ROMAC-1), розроблений у 1955 році, став важливою віхою в історії комп'ютерів як один з перших

комп'ютерів, що використовував електронні компоненти і мав досить високий рівень програмованості.



Назва "РОМ-1" часто асоціюється з комп'ютером, розробленим у Радянському Союзі, який є важливим етапом у розвитку обчислювальної техніки.

Історія та розробка

- **Розробники:** РОМ-1 розроблений у рамках дослідницької програми радянського Інституту точних приладів під керівництвом Олександра Петровича Лебедева і Юрія Васильовича Левітанова.
- **Запуск:** РОМ-1 введений в експлуатацію у 1955 році. Це був один з перших комп'ютерів, що використовував технологію електронних ламп і вважається одним з ранніх представників радянської комп'ютерної техніки.

Технічні характеристики

- **Конструкція:** РОМ-1 був електронним комп'ютером, який використовував електронні лампи для обробки інформації. Це стало важливим кроком уперед від електромеханічних комп'ютерів того часу.

- **Програмування:** ROM-1 мав можливість програмування, що дозволяло виконувати різні обчислювальні завдання. Він використовував спеціальні програми, які вводилися за допомогою перфокарт або інших носіїв.
- **Пам'ять:** ROM-1 мав обмежений обсяг пам'яті у порівнянні з сучасними стандартами, але для свого часу це було значним досягненням.
- **Швидкість:** Комп'ютер працював із відносно високою швидкістю для того часу, що дозволяло виконувати складні обчислення швидше, ніж попередні системи.

Важливість і вплив

- **Наукові та технічні досягнення:** ROM-1 став важливим інструментом для наукових досліджень і технічних розробок у Радянському Союзі. Він використовувався для різних наукових обчислень і розрахунків.
- **Вплив на подальші розробки:** ROM-1 вплинув на подальший розвиток комп'ютерної техніки в СРСР, ставши основою для наступних моделей і систем.

2.2.7. Мінськ

“Мінськ” — сімейство радянських цифрових ЕОМ, призначених для використання у вищій освіті та науці.



Розроблялися і випускалися, як впливає з назви, в м. Мінську з 1959 року по 1975 рік на Мінському заводі ЕОМ імені Орджонікідзе. Також було налагоджено виробництво в містах Гомель і Брест. Конструкторське бюро НДІ ЕОМ (СКБ) і завод були створені одночасно (наприкінці 1950-х років) і працювали у тісній співпраці один з одним, що пояснює як високу якість машин, так і рекордно короткі строки їх запуску у виробництво.

Всього було випущено понад 4000 машин серії Мінськ, що становило близько 70% парку машин у СРСР на той час. У 1970 році розробникам і виробникам ЕОМ серії Мінськ було присуджено Державну премію СРСР.

Машинами першого покоління під маркою Мінськ є лампова ЕОМ Мінськ-1 і її спеціалізовані модифікації: Мінськ-11, Мінськ-12, Мінськ-14, Мінськ-16.

Мінськ-14 працювала в обчислювальному центрі ЧНУ до 1968 року. Це ЕОМ на ламповій основі. Система команд – двоадресна. Довжина слова – 31 біт. Оперативна пам'ять на феритових сердечниках об'ємом у 1024 слова. Швидкодія – 3000 операцій на секунду. Випускалася з 1960 по 1964 рік. Всього було випущено 36 машин цієї модифікації. Головний конструктор – Г. П. Лопато.

2.3. Розвиток комп'ютерної архітектури в 1950-1960-х

У 1950-1960-х роках комп'ютерна архітектура зазнала значних змін [4, 19] завдяки впровадженню транзисторів та інтегральних схем, які забезпечили зменшення розмірів, споживання енергії та збільшення надійності комп'ютерів. Виникнення мейнфреймів, таких як IBM System/360, і міні-комп'ютерів, таких як PDP-8, відкрило нові можливості для широкого використання комп'ютерних систем у бізнесі, науці і техніці, заклавши основи для подальшого розвитку обчислювальних технологій.

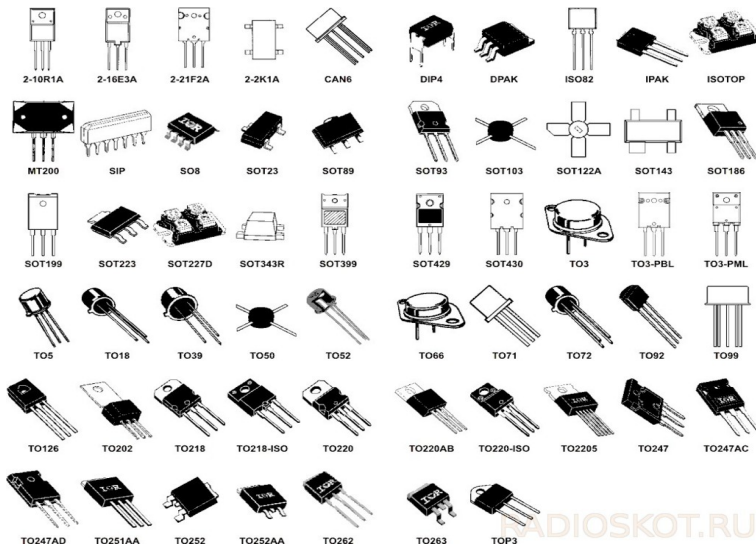
2.3.1. Упровадження транзисторів

У 1950-х роках транзистори почали замінювати вакуумні лампи у комп'ютерах. Транзистори, відкриті в 1947 році Джоном Бардином, Уолтером Братейном і Уільямом Шоклі, були меншими, надійнішими та більш енергозберігаючими порівняно з лампами. Їх

упровадження дозволило значно зменшити розміри комп'ютерів і зменшити споживання електроенергії, а також підвищити надійність і швидкість обчислень.

Переваги транзисторів:

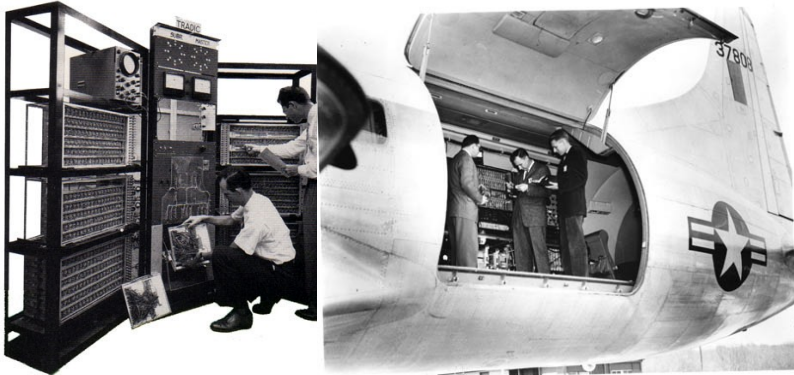
- **Менший розмір і вага:** Транзистори дозволили створювати менші та компактніші комп'ютери.
- **Менше споживання енергії:** Транзистори споживають значно менше електроенергії порівняно з вакуумними лампами.
- **Збільшена надійність:** Транзистори мали менше шансів на відмову і не потребували частих заміन, як вакуумні лампи.
- **Вища швидкість обробки:** Транзистори забезпечували швидше перемикання сигналів.



TRADIC

1955 р, Bell Labs (Laboratories of Bell Telephone Laboratories).

TRADIC була першим комп'ютером, повністю зібраним на транзисторах, без використання вакуумних ламп. Її розробили для авіаційної промисловості, зокрема для військових літаків.



Технічні характеристики:

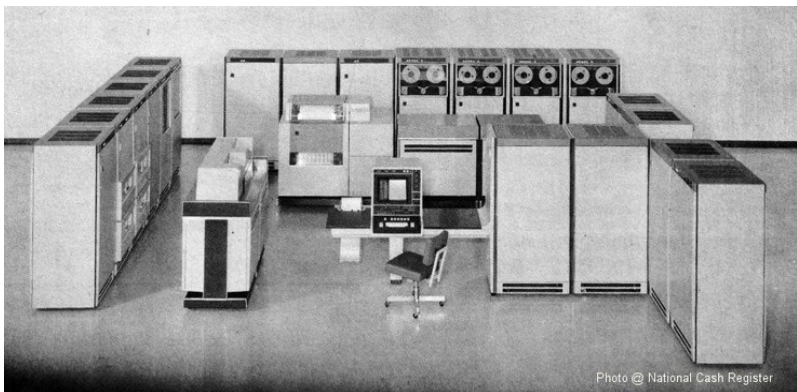
- **Процесор** – транзисторний, що забезпечило підвищену надійність і зменшене споживання енергії порівняно з попередніми моделями на вакуумних лампах.
- **Пам'ять** – традиційна для того часу, з використанням магнітних барабанів.
- **Основне застосування** – обробка даних для навігаційних систем літаків і контрольних систем.

Важливість TRADIC:

- **Вплив на розвиток комп'ютерів.** Запуск TRADIC відзначив перехід від вакуумних ламп до транзисторів у комп'ютерах, що сприяло подальшому розвитку комп'ютерних технологій. Це дозволило розробляти більш компактні, надійні й енергетично ефективні комп'ютери.
- **Технічні досягнення.** TRADIC продемонструвала можливість ефективного використання транзисторів у промислових обчислювальних системах, що підготувало ґрунт для появи нових поколінь комп'ютерів.

NCR 304

NCR 304 був одним із перших комерційних комп'ютерів, розроблених компанією National Cash Register (NCR) у 1957р.



Це також один з перших транзисторних комп'ютерів, що забезпечило його перевагу над попередніми комп'ютерами, які використовували вакуумні лампи. Це забезпечило підвищену надійність, зменшене споживання енергії та менші розміри.

Технічні характеристики:

- **Процесор** – транзисторний, що зменшувало розміри і підвищувало швидкість роботи в порівнянні з ламповими системами.
- **Пам'ять** – магнітні барабани або магнітні ядра залежно від конфігурації.
- **Основне призначення** – для комерційних додатків, таких як бухгалтерський облік та обробка транзакцій.

NCR 304 став важливим кроком у розвитку комерційних комп'ютерних систем, забезпечивши компанії нові можливості для автоматизації обробки даних.

Як один з перших транзисторних комп'ютерів NCR 304 продемонстрував переваги транзисторних технологій, зокрема зменшення розмірів і підвищення надійності, що зробило його популярним у комерційних застосуваннях.

RCA 501

RCA 501 – один із перших комерційних комп'ютерів, що використовував транзистори замість вакуумних ламп, розроблений компанією RCA (Radio Corporation of America) у 1958 р.



Технічні характеристики:

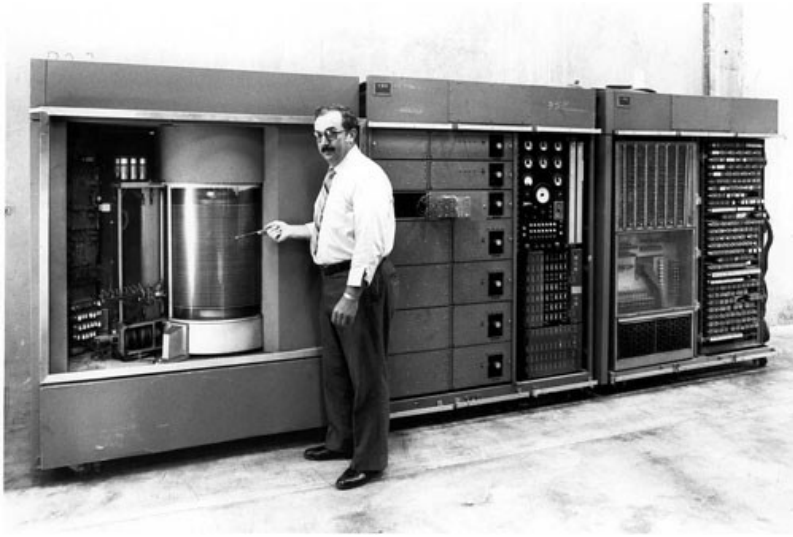
- **Процесор** – транзисторний, що забезпечувало кращу продуктивність і надійність у порівнянні з ламповими системами.
- **Пам'ять** – магнітні ядра, що були популярними в той час для зберігання даних.
- **Призначення** – для широкого спектра застосувань, включаючи наукові обчислення, інженерні розрахунки та комерційні додатки.
- **Вхідні/вихідні пристрої** – під'єднання до зовнішніх пристроїв, таких як перфокартки або стрічкові накопичувачі.

Упровадження транзисторів у RCA 501 забезпечило значне зменшення розмірів комп'ютера і підвищення надійності. Це сприяло розвитку комп'ютерних технологій і встановленню транзисторів як основного елемента в обчислювальних системах.

RCA 501 набув популярності серед комерційних і наукових установ завдяки своїм удосконаленим характеристикам у порівнянні з попередніми ламповими комп'ютерами.

IBM 305 RAMAC

Розроблений 1956 р. IBM (International Business Machines Corporation).



IBM 305 RAMAC – один із перших комп'ютерів, що використовував магнітний диск для зберігання даних, замість традиційних стрічкових накопичувачів і перфокарт. Це стало значним кроком уперед у розвитку комп'ютерних систем, оскільки магнітний диск дозволяв швидкий і випадковий доступ до даних.

Технічні характеристики:

- **Процесор** – транзисторний, що забезпечував вищу надійність і продуктивність.
- **Пам'ять** – основна пам'ять у формі магнітних барабанів.
- **Магнітний диск** – модель RAMAC постачалася з магнітним диском ємністю 5 МБ, значно більшим, ніж попередні засоби зберігання даних. Магнітний диск складався з кількох пластин, які оберталися для доступу до даних.
- **Операції:** Комп'ютер підтримував швидкий доступ до даних і зменшив час обробки завдань, які раніше вимагали більше часу через використання стрічкових накопичувачів або перфокарт.

Поява IBM 305 RAMAC означала початок нової ери в обчислювальних системах, оскільки він уперше використовував технологію магнітного диска для зберігання даних. Це забезпечило

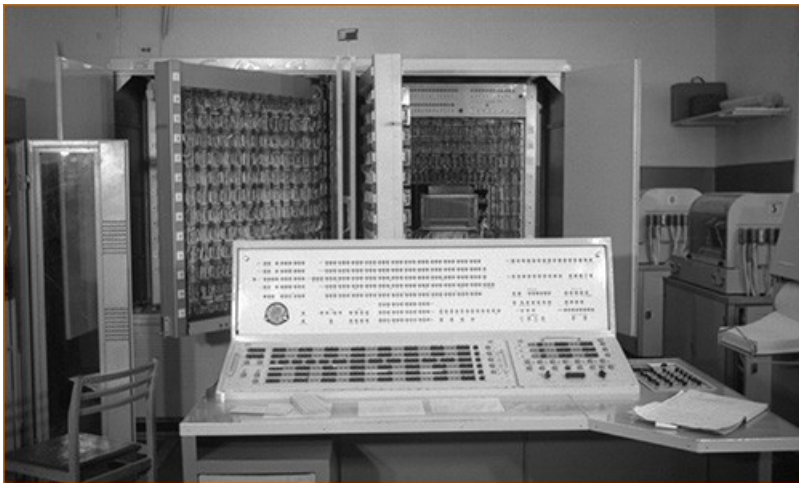
можливість здійснювати випадковий доступ до даних, що значно підвищило ефективність і швидкість обробки даних порівняно з лінійним доступом на стрічках.

IBM 305 RAMAC знайшов широке застосування в бізнесі і промисловості завдяки своїй здатності обробляти великі обсяги даних і забезпечувати швидкий доступ до них.

БЭСМ-4

БЭСМ-4 використовувала **напівпровідникову елементну базу** і була розроблена під керівництвом академіка Сергія Олексійовича Лебедева, одного з піонерів радянської обчислювальної техніки. Він очолював розробку багатьох ранніх моделей ЕОМ у СРСР, включаючи серії БЭСМ. Лебедєв та його команда з Інституту точної механіки та обчислювальної техніки відіграли ключову роль у створенні потужних і швидкодіючих машин, таких як БЭСМ-4.

Завдяки його науковому керівництву, БЭСМ-4 стала однією з найважливіших обчислювальних машин свого часу, використовуваною в широкому спектрі науково-технічних і оборонних програм. Зокрема вона працювала і в обчислювальному центрі ЧНУ ім. Ю. Федьковича.

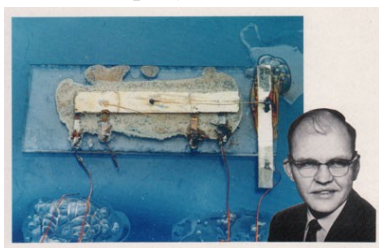


Основні характеристики БЭСМ-4:

- **Оперативна пам'ять** – машині було доступно до 4096 слів по 48 біт.
- **Швидкодія** – близько 40 тисяч операцій на секунду.
- **Призначення** – використовувалася в наукових дослідженнях, для розрахунків у сфері оборони, космонавтики та інженерних розрахунків.

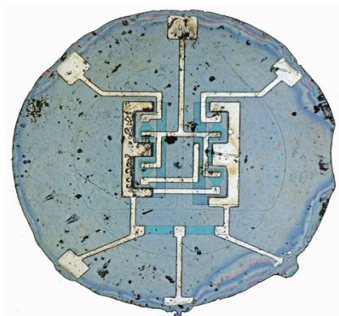
2.3.2. Інтегральні схеми

Після транзисторів наступним великим кроком були інтегральні схеми [1, 11], які стали можливими завдяки роботі Джека Кілбі і Роберта Нойса. ІС об'єднували велику кількість транзисторів на одному чіпі, що ще більше зменшило розміри комп'ютерів і підвищило їх продуктивність.



1958 рік. Джек Кілбі (Jack Kilby), працівник компанії Texas Instruments, створює першу інтегральну схему, що складається з транзисторів і конденсаторів на одній напівпровідниковій пластині.

1959 рік. Роберт Нойс (Robert Noyce) з компанії Fairchild Camera і Instrument Corp. створює інтегральну схему,



розташовуючи сполучні канали безпосередньо на кремнієвій пластині.

Переваги інтегральних схем:

- **Зменшення розміру** – інтегральні схеми дозволили вміщувати тисячі транзисторів на одному чіпі.
- **Вища надійність і менші витрати** – ІС зменшили кількість з'єднань і компонентів, що підвищило надійність і знизило витрати на виготовлення комп'ютерів.
- **Підвищення швидкості й ефективності** – інтегральні схеми дозволили зменшити затримки в обробці даних.

IBM System/360

IBM System/360 став першим великим сімейством комп'ютерів, яке забезпечувало сумісність [11, 12] між різними моделями та периферійними пристроями. Це означало, що програми, написані для однієї моделі, могли працювати на інших моделях у межах сімейства, що значно спростило розробку та впровадження програмного забезпечення. Це один з найзначніших етапів в історії комп'ютерних систем, що справив величезний вплив на розвиток обчислювальної техніки.

Анонсований 1964 р. IBM (International Business Machines Corporation)



Технічні характеристики:

- **Архітектура.** IBM System/360 – перший комп'ютер, що використовував архітектуру "сімейства комп'ютерів", яке охоплювало шість різних модифікацій з різними рівнями продуктивності, а також 40 різних периферійних пристроїв.
- **Продуктивність.** Продуктивність System/360 варіювалася залежно від моделі, але деякі з них досягали кілька мільйонів операцій у секунду, що було значним досягненням для свого часу.
- **Пам'ять.** Обсяг пам'яті System/360 значно перевищував пам'ять попередніх машин. Наприклад, перші моделі мали оперативну пам'ять від 8 КБ до 64 КБ, що було вражаючим досягненням на момент запуску.
- **Сумісність:** Один із ключових аспектів System/360 – забезпечення сумісності на рівні архітектури. Це означало, що програмне забезпечення могло бути адаптоване для роботи на різних моделях системи без необхідності переписування.
- **Програмне забезпечення.** IBM також розробила нові операційні системи, такі як OS/360, що забезпечували потужні функції управління ресурсами і програмами, а також дозволяли ефективне використання обчислювальних потужностей.

Важливість IBM System/360:

- **Стандартна архітектура.** IBM System/360 заклала основи для сучасної комп'ютерної архітектури, використовуючи концепцію сумісності та масштабованості. Це дозволило компаніям і організаціям упроваджувати різні моделі систем з урахуванням змін у потребах.
- **Вплив на індустрію.** System/360 значно вплинув на індустрію комп'ютерів і став стандартом для корпоративних обчислень. Він задав нові стандарти для проєктування комп'ютерних систем і програмного забезпечення.
- **Тривалий вплив.** Архітектура System/360 залишалася актуальною протягом багатьох років, і багато концепцій,

упроваджених у System/360, усе ще використовуються в сучасних комп'ютерних системах.

PDP-8: Перший успішний мінікомп'ютер

PDP-8, розроблений компанією Digital Equipment Corporation (DEC), є одним із найважливіших досягнень в історії комп'ютерної техніки. Випущений у 1965 році, PDP-8 став першим мінікомп'ютером, який здобув значну популярність і зробив великий вплив на розвиток обчислювальних технологій.

Технічні характеристики:

- **Процесор.** 12-бітний центральний процесор.
- **Пам'ять.** Від 4 К до 32 К слів пам'яті.
- **Швидкість.** Розв'язував арифметичні операції з додавання за 1,5 мікросекунди.
- **Інтерфейси.** Мав можливість з'єднання різних периферійних пристроїв.

Інноваційність і доступність

Однією з головних особливостей PDP-8 була його доступність. На відміну від великих мейнфреймів, які коштували сотні тисяч доларів і потребували спеціальних умов для експлуатації, PDP-8 коштував близько 18 000 доларів і був достатньо компактним, щоб розміститися в офісі або лабораторії.

PDP-8 знайшов широке застосування в різних галузях:

- **Наукові дослідження.** Використовувався для обробки даних і керування експериментами.
- **Промисловість.** Став основою для автоматизації виробничих процесів і керування обладнанням.
- **Освіта.** Був популярним у навчальних закладах для вивчення основ програмування й обчислювальної техніки.

PDP-8 став першим комерційно успішним мінікомп'ютером, що стимулювало розробку інших мінікомп'ютерів і призвело до зростання ринку цих пристроїв. Завдяки своєму успіху PDP-8 продемонстрував, що комп'ютери можуть бути доступними для малого і середнього бізнесу, що значно розширило їх застосування і прискорило комп'ютеризацію суспільства.



PDP-8 залишається одним з найбільш знакових комп'ютерів у історії завдяки своїй інноваційності, доступності і широкому застосуванню. Він започаткував епоху мінікомп'ютерів.

ЄС

У другій половині 20 століття СРСР та інші країни Ради Економічної Взаємодопомоги (РЕВ) активно займалися розробкою комп'ютерної техніки. У 1969 році була прийнята масштабна програма для створення комп'ютерів третього покоління.

Програма, прийнята у 1969 році, спрямовувалася на створення комп'ютерів, які б відповідали сучасним на той час вимогам і могли конкурувати із західними аналогами. Основними завданнями були розробка нових моделей обчислювальних машин, поліпшення технічних характеристик і впровадження нових технологій.

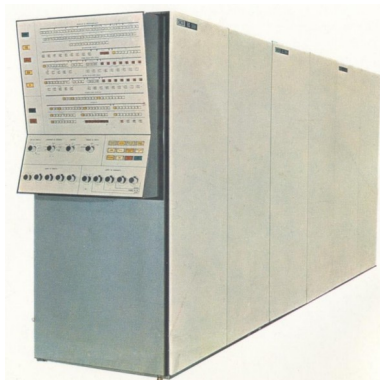
У 1971 році випущена перша модель Єдиної серії (ЄС) обчислювальних машин [2, 3]. ЄС-комп'ютери розроблені з урахуванням досвіду західних розробок, зокрема вони були сумісні з комп'ютерами IBM System/360, що дозволяло використовувати широку базу програмного забезпечення.



Програма, прийнята у 1969 році, спрямовувалася на створення комп'ютерів, які б відповідали сучасним на той час вимогам і могли конкурувати із західними аналогами. Основними завданнями були розробка нових моделей обчислювальних машин, поліпшення технічних характеристик і впровадження нових технологій.

У 1971 році випущена перша модель Єдиної серії (ЄС) обчислювальних машин [2, 3]. ЄС-комп'ютери розроблені з урахуванням досвіду західних розробок, зокрема вони були сумісні з комп'ютерами IBM System/360, що дозволяло використовувати широкую базу програмного забезпечення.

ЄС-1020 – це перша модель комп'ютера серії Єдиної Системи (ЄС). Випускалася в м. Мінськ з 1971 року. Керівником розробки цього комп'ютера був В.В. Пржіялковський.



ЕС-1020 – це перша модель комп'ютера серії Єдиної Системи (ЄС). Випускалася в м. Мінськ з 1971 року. Керівником розробки цього комп'ютера був В.В. Пржіялковський.



ЕС-1020 призначалася для вирішення науково-технічних та економічних завдань. Він міг працювати як автономно, так і в складі невеликих АСУ (автоматизованих систем управління). Комп'ютер був програмно сумісний з іншими моделями сімейства ЄС. Ця модель ЄС працювала в обчислювальному центрі ЧНУ ім. Ю. Федьковича (5 корпус).

З 1975 року почали з'являтися нові моделі ЄС-комп'ютерів, кожна з яких мала поліпшені технічні характеристики та розширену функціональність:

- **ЕС-1012:** Одна з перших моделей другої хвилі, призначена для загальних обчислень.

- **ЕС-1032:** Модель з поліпшеною продуктивністю та розширеними можливостями для комерційних і наукових застосувань.
- **ЕС-1033:** Удосконалена версія з додатковими функціями та підвищеною надійністю.
- **ЕС-1022:** Призначена для середніх обчислювальних завдань з акцентом на зниження вартості та підвищення енергоефективності.

В обчислювальному центрі ЧНУ ім. Ю. Федьковича (9 корпус) працювала теж ЕС-1045.



Модель **ЕС-1060** стала однією з найбільш потужних у серії і з'явилася трохи пізніше. Вона відрізнялася високою продуктивністю, великим обсягом пам'яті, здатністю обробляти складні наукові та інженерні завдання.

Розробка і впровадження комп'ютерів серії ЕС справили великий вплив на розвиток обчислювальної техніки в СРСР і країнах РЕВ. Вони забезпечували необхідні інструменти для автоматизації виробництва, наукових досліджень і управління різними галузями економіки. Хоча ці комп'ютери поступалися за деякими характеристиками західним аналогам, вони відіграли важливу роль у технологічному прогресі та підвищенні комп'ютерної грамотності в регіоні.

2.4. Перехід до мікропроцесорів і персональних комп'ютерів

2.4.1. Мікропроцесори

Мікропроцесор – це центральний компонент комп'ютерної системи, що виконує арифметичні, логічні й управлінські операції, необхідні для виконання програм [14, 15, 7]. Його ще називають "мозком" комп'ютера, оскільки він обробляє інформацію та виконує команди.

Основні функції мікропроцесора

1. **Арифметичні операції:** Виконання додавання, віднімання, множення та ділення.
2. **Логічні операції:** Обробка операцій порівняння, побітових операцій та умовних переходів.
3. **Управління:** Керування потоком виконання програм через команди керування (наприклад, цикли, умовні переходи).

Архітектурні особливості

1. **Інструкційний набір:** Набір команд, які мікропроцесор може виконувати.
2. **Регістр:** Внутрішні комірки пам'яті для тимчасового зберігання даних та інструкцій.
3. **Шина даних:** Канали, що забезпечують передачу даних між різними компонентами комп'ютера.

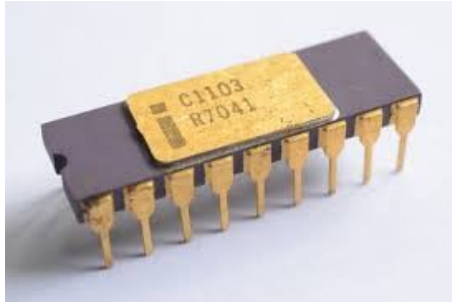
Мікропроцесори значно зменшили розміри і вартість обчислювальних пристроїв, що сприяло широкому розповсюдженню персональних комп'ютерів і електронних пристроїв у повсякденному житті.

Поява мікропроцесорів у 1970-х роках стала революційною подією в галузі обчислювальної техніки.

Intel 1103

У 1970 році Intel випустила мікросхему пам'яті Intel 1103 з місткістю 1 Кбіт.

Це був перший комерційно успішний DRAM (динамічна оперативна пам'ять) чіп, який забезпечував значно більшу щільність пам'яті порівняно з попередніми технологіями.



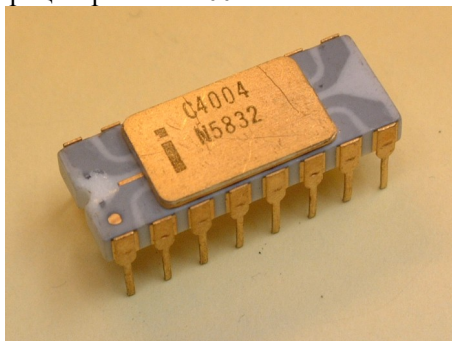
Його основні характеристики:

- Місткість: 1024 біт (1 Кбіт)
- Тип: Динамічна оперативна пам'ять (DRAM)
- Робоча напруга: 12 В
- Час доступу: 300 нс (наносекунд)

Вона була економічно вигідною альтернативою магнітним сердечникам, які використовувалися в основній пам'яті до цього. Ця мікросхема стала основою для подальшого розвитку більш потужних і ємних мікросхем пам'яті.

Intel 4004

1970 рік. У журналі Electronic News уперше з'явилася реклама мікропроцесорів Intel 4004.



Це був перший у світі мікропроцесор, що ознаменував нову еру в комп'ютерній техніці. Основні характеристики Intel 4004 такі:

- Розрядність: 4 біти
- Тактова частота: 740 кГц

- Кількість транзисторів: 2 300
- Продуктивність: Виконував до 92 000 операцій на секунду
- Технологія: PMOS (р-канальний метал-оксидний напівпровідник)
- Адресний простір: 640 байт програмної пам'яті і 256 байт даних

Intel 4004 був розроблений як частина проєкту замовника Busicom для використання в калькуляторах, але швидко знайшов широке застосування в різних електронних пристроях, прокладаючи шлях до створення сучасних мікропроцесорів.

ARPAnet

1970 рік. Уперше у світі здійснено зв'язок між двома комп'ютерами через мережу. У цей рік з'явилися перші чотири вузли ARPAnet (Advanced Research Projects Agency Network), розташовані в університетах і дослідницьких установах США. Зокрема, до мережі під'єдналися:

- **Університет Каліфорнії, Лос-Анджелес (UCLA).** Перший вузол мережі, де розташовувався Інтерфейсний Соціальний Сервіс (Network Measurement Center) під керівництвом професора Леонарда Кляйнрока. Саме тут 29 жовтня 1969 року надіслано перше повідомлення по ARPAnet.
- **Інститут Досліджень Стенфордського Дослідницького Інституту (SRI International).** Другий вузол, де працювала група Дугласа Енгельбарта, відомого розробкою миші та інших революційних комп'ютерних інтерфейсів.
- **Університет штату Юта.** Третій вузол, який брав активну участь у розробці графічних інтерфейсів і комп'ютерної графіки під керівництвом професора Івана Сазерленда, піонера в галузі графічних дисплеїв.
- **Університет Каліфорнії, Санта-Барбара (UCSB).** Четвертий вузол, де проводилися дослідження з мережевих протоколів і передачі даних.

Ці вузли стали першими компонентами мережі, що згодом еволюціонувала в сучасний Інтернет. Упровадження ARPAnet започаткувало нову еру в комунікаційних технологіях, дозволяючи дослідникам і студентам обмінюватися даними та інформацією незалежно від географічного розташування.

8-дюймова дискета

8-дюймова дискета розроблена компанією **IBM** і представлена в **1971 році**. Вона стала однією з перших популярних носіїв інформації для зберігання даних на комп'ютерах.



Ця дискета використовувалася в основному на мейнфреймах і великих комп'ютерах і була значно більша, ніж пізніші формати, такі як 5.25-дюймові та 3.5-дюймові дискети. 8-дюймові дискети могли зберігати до 80 кілобайт інформації на одній стороні, а пізніші версії забезпечували до 1.2 мегабайтів, завдяки двосторонньому зберігання даних.

HP-35

HP-35 – один із перших комерційно доступних портативних калькуляторів, розроблений компанією **Hewlett-Packard (HP)** і випущений у **1972 році**.



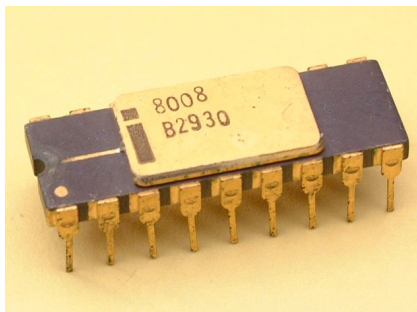
HP-35 відзначився у світі обчислювальних пристроїв завдяки своїм новаторським характеристикам:

1. **Перша модель наукового калькулятора.** HP-35 став першим науковим калькулятором, який міг виконувати функції, необхідні для розрахунків у науці та інженерії, охоплюючи обчислення тригонометричних, експоненціальних і логарифмічних функцій.
2. **Функція постійної пам'яті.** Калькулятор оснащений системою постійної пам'яті для зберігання програм і даних. Це дозволяло користувачам зберігати свої математичні формули і використовувати їх повторно без повторного введення.
3. **Екран та інтерфейс.** HP-35 використовував LED (світлодіодний) дисплей для відображення чисел, що було революційним для того часу. Калькулятор мав 10-дюймовий екран для чисел.
4. **Розміри та портативність.** Досить компактний для того часу і став популярним серед професіоналів завдяки своїй портативності. Забезпечував зручність для науковців і інженерів, які працювали в польових умовах.
5. **Технологія пам'яті.** У HP-35 використовували технологію "резистивної пам'яті", що дозволяла зберігати дані в пам'яті калькулятора навіть після його вимкнення.
6. **Механізм обчислень.** Калькулятор використовував технологію **напівпровідникових інтегральних схем** для здійснення обчислень, що дозволило зменшити розміри та вагу пристрою.

HP-35 справив великий вплив на розвиток портативних обчислювальних пристроїв і заклав основи для подальших інновацій у сфері наукових калькуляторів. Його успіх підтвердив важливість інтеграції складних функцій у компактні пристрої.

Intel 8008

Мікропроцесор **Intel 8008** дебютував у **1972 році** і став одним з перших комерційно доступних 8-розрядних процесорів. Він розроблений компанією **Intel**, яка на той час уже мала досвід у виробництві мікросхем пам'яті, таких як 3101 і 1101.



Основні характеристики Intel 8008:

1. **Архітектура.** Intel 8008 має 8-розрядну архітектуру, а це означає, що він може обробляти дані по 8 бітів за один такт. Це дозволяє процесору виконувати арифметичні та логічні операції над 8-бітними числами.
2. **Шина адреси та даних.**
 - **Шина адреси:** 14-бітна шина адреси дозволяла мікропроцесору адресувати до 16 Кбайт оперативної пам'яті.
 - **Шина даних:** 8-бітна шина даних, яка забезпечує обробку даних у 8-бітних блоках.
3. **Команди та інструкції.** Intel 8008 підтримує базовий набір інструкцій для арифметичних і логічних операцій, а також для керування програмою. Команди мають різну довжину і використовують різні формати для роботи з даними.
4. **Швидкість.** Початкова тактова частота Intel 8008 становила приблизно **500 КГц**, що забезпечувало достатню швидкість для багатьох застосувань на той час.
5. **Пам'ять.** Intel 8008 мав убудовані регістри і спеціалізовану пам'ять, але використовував зовнішню пам'ять для зберігання програм і даних. Він був сумісний із зовнішніми оперативними пам'ятями і ROM-чіпами.

Intel 8008 був використаний у багатьох ранніх комп'ютерах і системах, включаючи перші комерційні міні-комп'ютери і настільні системи. Одним з перших значних комерційних застосувань стала комп'ютерна система **Datapoint 2200**.



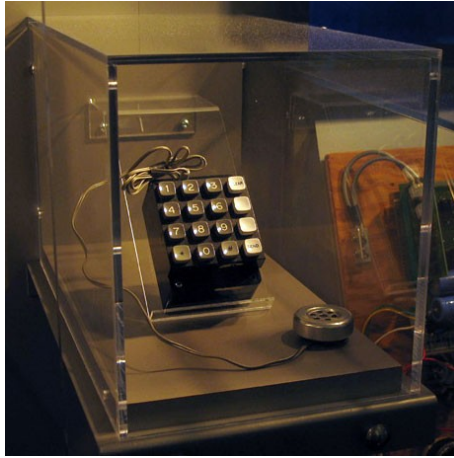
Intel 8008 послугував проміжним етапом на шляху до більш потужних процесорів.

Він був перевершений Intel 8080, який дебютував у 1974 році і набагато популярнішим завдяки своїй розширеній архітектурі та потужності.

Blue box

Стів Возняк (Steve Wozniak) створив "синій ящик" 1972 р, коли він ще був студентом. Цей пристрій, також відомий як "blue box", використовувався для генерації тональних частот, що дозволяло обійти оплату за телефонні дзвінки та здійснювати безкоштовні дзвінки через телефонні лінії.

"Синій ящик" використовував звукові частоти для маніпуляції з телефонними системами. Телефонні мережі на той час використовували тональні сигнали для передачі інформації про з'єднання дзвінків. Возняк і його друг Стів Джобс розробили схему, яка могла імітувати ці сигнали, дозволяючи користувачам обходити оплату за дзвінки.



Возняк і Джобс почали розподіл "синіх ящиків" серед друзів і знайомих, що стало їхньою першою спільною підприємницькою діяльністю. Вони також продавали "синій ящик" на вулицях і на ринку.

І хоча "синій ящик" був незаконним, його популярність продемонструвала інноваційний підхід Возняка до електроніки та інженерії. Цей досвід також відіграв роль у формуванні їхнього бачення технологій і бізнесу.

Цей досвід виявився важливим для подальшої кар'єри Возняка і Джобса. Їхні інноваційні ідеї та підприємницький дух згодом призвели до заснування компанії Apple і створення одного з найвпливовіших брендів у світі технологій.

"Синій ящик" став символом не лише технічного інноваційного духу, але й проявом молодіжного протесту проти встановлених систем і правил.

Ethernet

Роберт Меткалф (Robert Metcalfe) описав метод мережевого з'єднання, відомий як Ethernet, під час своєї роботи в дослідницькому центрі Xerox PARC (Palo Alto Research Center) у 1970-х роках.

Меткалф розпочав роботу над Ethernet в 1973 році. Ethernet розроблений як метод для з'єднання комп'ютерів у локальних

мережах (LAN). Він початково використовував коаксіальний кабель для передачі даних і забезпечував комунікацію між різними пристроями.

Перша публікація про Ethernet появилась в 1976 році, а стандарт IEEE 802.3 для Ethernet затверджений у 1980 році. Ethernet забезпечив надійний і економічний спосіб для створення мереж, що дозволило йому стати основною технологією для локальних мереж.

Ethernet постійно вдосконалювався з часом, переходячи від початкових швидкостей 10 Мбіт/с до сучасних стандартів, таких як 1 Гбіт/с, 10 Гбіт/с і навіть 100 Гбіт/с.

Xerox Alto

Дослідницький центр Лейкв'ю (Xerox PARC) справді зробив великий внесок у розвиток комп'ютерних технологій. Робоча станція, про яку йдеться, – це **Xerox Alto**, яка розроблена в 1973 році.

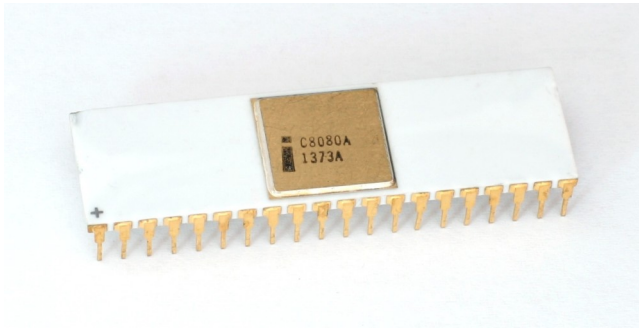


Херох Alto є одним з перших персональних комп'ютерів, які використовували графічний інтерфейс користувача (GUI) та мишу як пристрій введення. Ця система складалася з іконок, вікон, меню, а також можливості управляти вмістом екрана за допомогою миші. Робота над Alto стала основою для подальшого розвитку GUI, і концепції, які були реалізовані в Alto, пізніше були адаптовані і стали комерційно успішними в продуктах таких компаній, як Apple і Microsoft.

2.4.2. Персональні комп'ютери

Intel 8080

Мікропроцесор Intel 8080 випущений у 1974 році [8, 15].



Характеристики Intel 8080:

1. **Архітектура.** 8-бітний мікропроцесор.
2. **Шина даних.** 8-бітна шина даних.
3. **Шина адреси.** 16-бітна шина адреси, що дозволяє адресувати до 64 КБ оперативної пам'яті.
4. **Тактова частота.** Працював на частотах від 2 до 3 МГц.
5. **Команди.** Підтримував до 256 різних команд, що охоплювали арифметичні, логічні, керуючі команди та команди для управління пам'яттю.
6. **Регістри.** Має 6 8-бітних регістрів загального призначення (B, C, D, E, H, L) та один 16-бітний регістр (HL), а також регістр стану.
7. **Інтерфейси.** Підтримує прямий доступ до пам'яті (DMA) та введення/виведення через порти.

Intel 8080 здобув популярність завдяки своїй універсальності та здатності підтримувати різноманітні завдання. Він став наступником Intel 4004, першого комерційного мікропроцесора, і передував Intel 8086, який поклав початок 16-бітним процесорам.

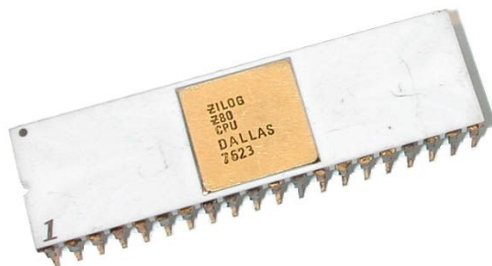
Цей процесор використаний у ранніх моделях персональних комп'ютерів, таких як Altair 8800, який мав великий вплив на розвиток комп'ютерних технологій та появу нових компаній у цій сфері.

Intel 8080 відіграв важливу роль у розвитку обчислювальних технологій, створивши основи для майбутніх 16-бітних і 32-бітних процесорів.



Zilog Z80

Мікропроцесор **Zilog Z80** розроблений компанією Zilog і випущений у 1976 році. Це один з найвідоміших 8-бітних процесорів, який послугував основою для багатьох комп'ютерів та електронних пристроїв у 1970-1980-х роках.



Основні характеристики Z80:

- **Архітектура.** 8-бітний процесор
- **Тактова частота.** Зазвичай 2-8 МГц (залежно від конкретної реалізації)
- **Команди.** Підтримує близько 158 команд і 40 адресних режимів

Частково сумісний з процесором Intel 8080, що дозволило легко перенести програмне забезпечення з 8080 на Z80.

Z80 використовувався в ряді популярних домашніх комп'ютерів і електронних пристроїв, таких як:

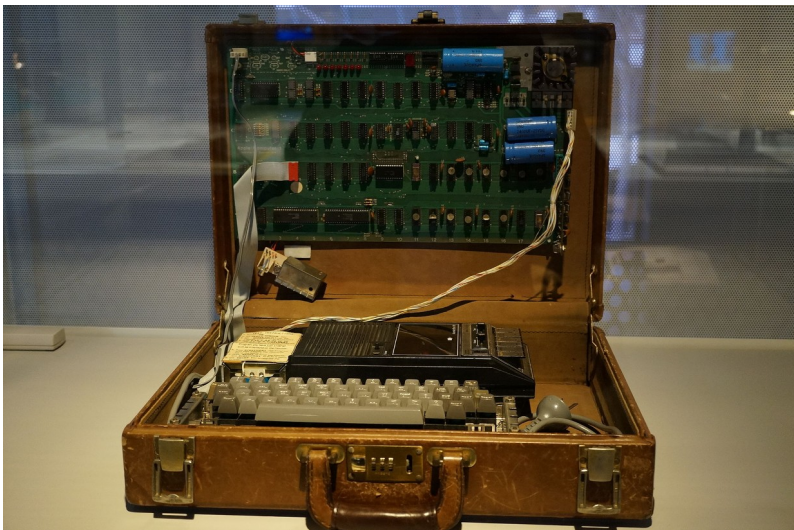
- Комп'ютери **Sinclair ZX Spectrum**, **TRS-80**, **Kaypro**
- Ігрові консолі, такі як **Sega Master System**
- Калькулятори і різноманітні вбудовані системи



Z80 став дуже популярним завдяки своїй простоті, доступності і потужності, що зробило його важливим елементом в історії обчислювальної техніки.

Apple I

Apple I – це один з перших персональних комп'ютерів, створений Стівом Возняком і Стівом Джобсом, що випущений компанією Apple Computer (сучасна Apple Inc.) у 1976 році. Apple I є знаковим у розвитку персональних комп'ютерів через свою простоту, доступність та інновації.



Основні характеристики Apple I

- **Процесор:** 6502, 1 МГц
- **Пам'ять:** Початково 4 КБ оперативної пам'яті, розширювана до 8 КБ
- **Зберігання даних:** Не було вбудованого зберігання; користувачі могли під'єднувати касетний рекордер або використати зовнішні пристрої зберігання
- **Графіка:** Текстовий режим з роздільною здатністю 40x24 символи

- **Відеовихід:** Під'єднання до телевізора через сигнал композитного відео
- **Ввід/Вивід:** Клавіатура (не входила в комплект), порти для під'єднання до телевізора і касетного рекордера
- **Живлення:** Працював від стандартного блоку живлення 5 В

Особливості конструкції

- **Схема:** Apple I постачався як набір для самостійної збірки, що містив тільки плату з компонентами. Користувачі повинні були самостійно забезпечити корпус, клавіатуру та монітор.
- **Процесор:** Використовував процесор MOS 6502, який став популярним у тих роках через свою просту архітектуру та доступну ціну.
- **Пам'ять:** Мав убудовану оперативну пам'ять, але не мав убудованих пристроїв зберігання, що вимагало використання зовнішніх пристроїв.
- **ПЗ:** Поставлявся з базовою версією моніторної програми, але користувачі могли завантажувати програмне забезпечення з касет.

Історичне значення

- **Ціна:** У момент запуску ціна Apple I становила \$666.66, що було конкурентоспроможною ціною для комп'ютерів того часу.
- **Продажі:** Було продано близько 200 одиниць Apple I, що не є великою кількістю, але достатньою для запуску компанії на ринку.
- **Вплив:** Apple I був першим продуктом компанії Apple, який допоміг закласти основу для подальших успіхів компанії, включаючи Apple II, який став значним комерційним успіхом.

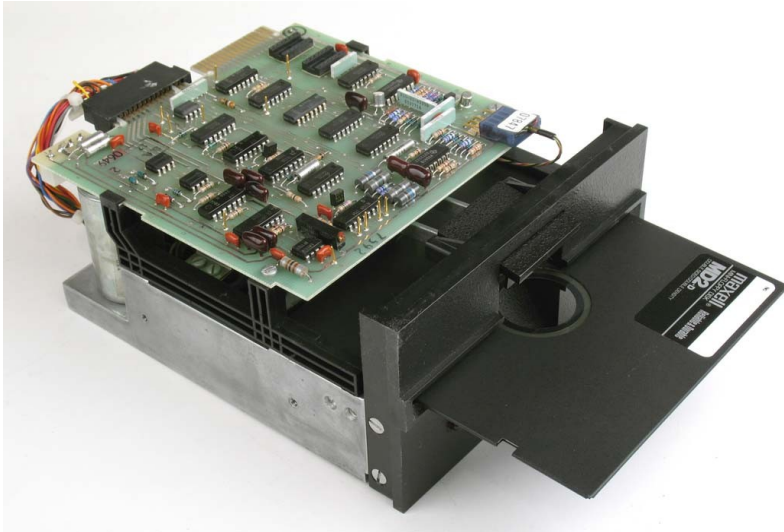
5,25-дюймовий гнучкий диск

Компанія **Shugart Associates** анонсувала перший 5,25-дюймовий гнучкий диск і дисковод у **1976 році**. Цей пристрій став важливим етапом в еволюції систем зберігання даних завдяки своїм

компактним розмірам і великій місткості порівняно з попередніми 8-дюймовими дисками.

Його початкова ємність – до 110 КБ, з плином часу з'явилися диски місткістю до 360 КБ і пізніше до 1,2 МБ

Дисковод для 5,25-дюймових дисків, який став стандартом для персональних комп'ютерів у 1980-х роках.



Apple II

Apple II – це один з перших успішних персональних комп'ютерів, розроблений компанією Apple Computer (тепер Apple Inc.). Він був анонсований у **1977 році** і став важливою віхою в історії комп'ютерних технологій завдяки своєму впливу на ринок ПК.

Основні характеристики Apple II

- **Процесор:** 8-бітний процесор MOS 6502, який працює на частоті 1 МГц.
- **Оперативна пам'ять (RAM):** Стандартна конфігурація починалася з 4 КБ, але могла бути розширена до 48 КБ.

- **Зберігання даних:** Використовував 5,25-дюймові флоппі-диски для зберігання даних і програм. На початку також підтримував касетний накопичувач.
- **Графіка:** Мав графічний режим з роздільною здатністю 280x192 пікселів з 16 кольорами.
- **Відео:** Підтримував текстовий режим з 40x24 символів і графічний режим з 280x192 пікселів.
- **Звук:** Мав простий звуковий генератор.
- **Порти вводу/виводу:** Мав порти для підключення клавіатури, монітора, дисководу, а також порти для під'єднання додаткових периферійних пристроїв.



Важливість і вплив

- **Доступність:** Apple II – один із перших персональних комп'ютерів, доступних широкій публіці.

Його вартість і можливості зробили його популярним серед домашніх користувачів, освітніх установ і малих бізнесів.

- **Розширюваність:** Модель Apple II спроектована з можливістю розширення, що дозволило додавати нові компоненти і розширення, такі як додаткові плати пам'яті та графічні карти.

- **Програмне забезпечення:** Apple II послуговував платформою для численних програм і ігор. Важливими програмами для Apple II стали вбудовані мовні інтерпретатори (AppleSoft BASIC) та численні комерційні додатки.

- **Успіх:** Apple II отримала величезний успіх, що допомогло Apple стати однією з провідних компаній на ринку комп'ютерів. Це також послужило основою для подальших розробок, таких як Apple II Plus, Apple IIe і Apple Iigs.

Apple II залишив великий слід в історії комп'ютерних технологій і відіграв важливу роль у популяризації персональних комп'ютерів серед споживачів.

Intel 8086

Intel 8086 представлений у 1978 році і став одним з перших 16-бітних процесорів. Це перший мікропроцесор сімейства x86, яке визначило основи архітектури для майбутніх процесорів Intel.

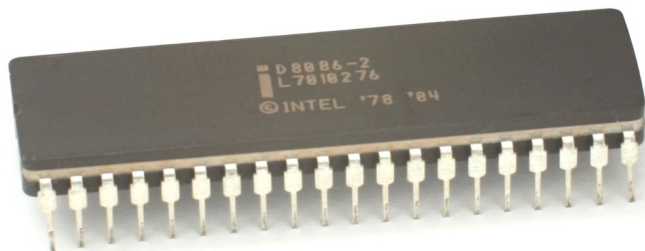
Основні характеристики Intel 8086

- **Архітектура:** 16-бітний процесор
- **Тактова частота:** Зазвичай 5, 8 або 10 МГц
- **Адресна шина:** 20 бітів, що дозволяє адресувати до 1 МБ пам'яті
- **Розрядність:** 16 бітів для регістрів і даних, 20 бітів для адрес

Регістри

- *Загальні* регістри: AX, BX, CX, DX.
- *Спеціальні* регістри: SP (Stack Pointer), BP (Base Pointer), SI (Source Index), DI (Destination Index).

- *Сегментні реєстри*: CS (Code Segment), DS (Data Segment), ES (Extra Segment), SS (Stack Segment).
- *Реєстр прапорців*: Flags Register (FLAGS).



Архітектурні особливості

- **Сегментація пам'яті**: Intel 8086 використовує сегментацію пам'яті, що дозволяє процесору працювати з 1 МБ адресного простору, розділеного на сегменти по 64 КБ.
- **Інструкції**: Підтримує великий набір інструкцій, включаючи арифметичні, логічні, контрольні інструкції, а також інструкції для роботи з рядками і вводу/виводу.
- **Режими адресації**: Має кілька режимів адресації – безпосередню, непряму, реєстрову і базову.

Використання

Intel 8086 був використаний у ряді ранніх комп'ютерів і систем, зокрема:

- **IBM PC (перше покоління)**
- **Compaq Portable**
- **Sistemas de Computación y Automatización (SCA)**
- **Кілька інших ранніх персональних комп'ютерів**

Цей процесор заклав основу для розвитку подальших 16-бітних процесорів Intel, таких як 80286, 80386, і пізніше для сучасних процесорів x86.

Intel 8088

Процесори Intel 8086 і 8088 були представлені як частина серії x86 і мали багато спільних характеристик, але існували й суттєві відмінності між ними. Процесор 8086 мав переваги в продуктивності завдяки 16-бітній шині даних, але 8088, з 8-бітною шиною даних, був більш економічно вигідним і сумісним із існуючими технологіями. Це зробило 8088 популярним у ринкових комп'ютерах того часу, таких як IBM PC.

Перший жорсткий диск для мікрокомп'ютерів

1980 рік. Компанія Seagate Technologies випустила перший жорсткий диск для мікрокомп'ютерів (20Мб).



IBM PC

IBM PC (або IBM Personal Computer) представлений компанією IBM у серпні 1981 року і став однією з найбільш знакових подій в історії персональних комп'ютерів. Він перший, який за встановленими стандартами забезпечив високу ступінь сумісності з іншими пристроями і програмами, що значно сприяло розвитку ринку ПК.

Основні характеристики IBM PC

- **Процесор:** 16-бітний процесор Intel 8088, що працював на частоті 4.77 МГц.

- **Оперативна пам'ять (RAM):** Початкова конфігурація становила 16 КБ, з можливістю розширення до 64 КБ.
- **Зберігання даних:** IBM PC використовував 5,25-дюймові флопі-диски як основний засіб зберігання даних, а також мав можливість підключення жорсткого диска (опціонально).
- **Графіка:** Мав текстовий режим з роздільною здатністю 80x25 символів і графічний режим CGA (Color Graphics Adapter) з роздільною здатністю 640x200 пікселів у 4 кольорах.
- **Операційна система:** IBM PC поставлявся з MS-DOS 1.0, розробленою Microsoft, яка стала основною операційною системою для ПК на багато років вперед.
- **Порти вводу/виводу:** Мав порти для під'єднання клавіатури, монітора, дисководу, а також стандартні порти RS-232 для зв'язку з периферійними пристроями.



Важливість і вплив

- **Сумісність:** IBM PC вперше встановив стандарт для персональних комп'ютерів, що включав відкриті специфікації та архітектуру. Це дозволило іншим виробникам створювати сумісні компоненти та програмне забезпечення, що допомогло розвинути ринок ПК.

- **Програмне забезпечення:** Поява IBM PC сприяла зростанню популярності MS-DOS, а також забезпечила розширене програмне забезпечення від третіх сторін, що зробило ПК більш універсальним інструментом для бізнесу та домашнього використання.
- **Операційні системи:** Хоча IBM PC спочатку постачався з MS-DOS, його сумісність з іншими ОС, такими як CPM/86, та пізніше версіями Windows, розширила його застосування.
- **Екосистема:** Завдяки відкритій архітектурі, комп'ютер IBM PC став основою для величезної кількості сумісних пристроїв, комплектуючих і розширень, що сприяло розвитку індустрії ПК.

IBM PC встановив багато стандартів для персональних комп'ютерів, які в подальшому стали основою для всього сучасного ринку ПК. Це також допомогло IBM закріпити свою позицію як одного з ключових гравців в індустрії комп'ютерних технологій.

Комп'ютер з першим графічним інтерфейсом користувача

1983 рік. Компанія Apple випустила комп'ютер Lisa з першим графічним інтерфейсом користувача.



1983 рік. Компанія Compaq Computer Corp. випустила перший клон комп'ютера IBM PC.

1984 рік. Компанія Apple почала випускати перший "приречений" на успіх комп'ютер з графічним інтерфейсом користувача, який приніс 1,5 млн. доларів тільки за цей рік.



IBM PC-AT

1984 рік. IBM випустила PC-AT (PC Advanced Technology), швидкодія якого в три рази перевершує раніше створені моделі. Цей комп'ютер розроблений на базі мікропроцесора Intel 286 і містить 16-розрядну шину ISA. Комп'ютер AT вважається родоначальником усіх сучасних ПК.



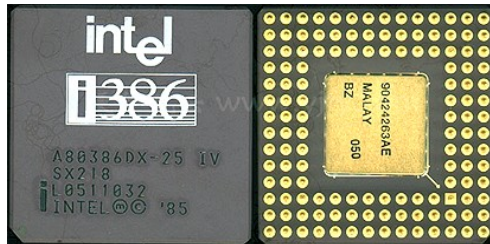


1985 рік. Компанією Philips випущений перший музичний компакт-диск і накопичувач CD-ROM.



32-розрядний процесор Intel 386

У 1985 році з'явився 32-розрядний процесор Intel 386. Він містив 275 тис. транзисторів і виконував більше 5 млн. операцій в секунду (Million Instruction Per Second – MIPS). Комп'ютер DESKPRO 386 компанії Compaq – перший персональний комп'ютер, створений на базі нового мікропроцесора.





1987 рік. Компанія Sony анонсувала першу 3,5-дюймову дискету і дисковод.

1987 рік. IBM приступила до виробництва комп'ютерів сімейства PS/2, в яких установлений 3,5-дюймовий дисковод і VGA-відеоадаптер.

1988 рік. Компанія Compaq та інші виробники PC-сумісних систем розробили нову, поліпшену архітектуру комп'ютера.

1988 рік. Роберт Морріс (Robert Morris) створив і запустив свого "черв'яка" в мережу ARPAnet; заражено, за різними оцінками, від 6 до 60 тис. вузлів.

1989 рік. Компанія Intel випускає процесор 486, який містить 1 млн. Транзисторів.



Процесор Pentium із сімейства P5



1993 рік. Компанія Intel випустила перший процесор Pentium із сімейства P5. Продуктивність його виросла в п'ять разів у порівнянні з сімейством Intel 486. Pentium містив 3,1 млн. транзисторів і виконував до 90 млн. операцій у секунду, що приблизно в 1 500 разів перевищувало швидкодію процесора 4004. Окрім випуску процесора, Intel розробила для нього набір мікросхем системної логіки.

Розвиток процесорів до 2000-х.

1995 рік. Компанія Intel почала продавати процесор Pentium Pro – першого представника сімейства P6.



1995 рік. Компанія Microsoft представила першу 32-розрядну операційну систему Windows 95.

1997 рік. Компанія Intel випустила процесор Pentium II, побудований на базі Pentium Pro з підтримкою інструкції MMX. Варто звернути увагу на картридж процесора - через брак місця на кристалі кеш пам'ять розпаювалася на окремій платі картриджа разом із процесором.



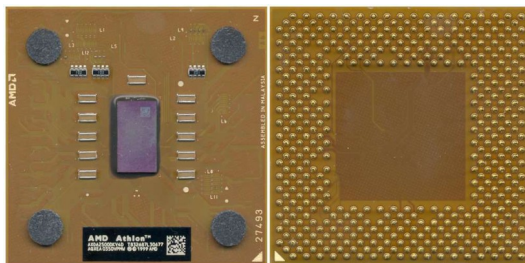
1997 рік. Компанія AMD представила процесор K6, сумісний з Intel P5 (Pentium).



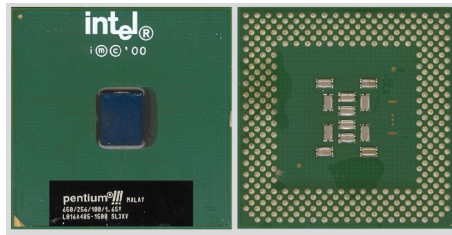
1998 рік. Компанія Microsoft анонсувала нову версію своєї операційної системи Windows 98.

1998 рік. Компанія Intel представила процесор Celeron – дешевшу версію Pentium II.

1999 рік. Компанія AMD представила процесор Athlon.



1999 рік. Компанія Intel випустила процесор Pentium III, побудований на базі Pentium II з підтримкою інструкції SSE (Streaming SIMD Extensions).



2000 рік. Компанія Microsoft випустила ОС Windows Me (Millennium Edition) і Windows 2000.

2000 рік. Компанії Intel і AMD оголосили про випуск процесорів з тактовою частотою 1ГГц.

2000 рік. Компанія AMD представила Duron, дешевшу версію процесора Athlon із зменшеним обсягом кеш-пам'яті другого рівня.

2000 рік. Компанія Intel представила Pentium IV, новітній процесор з 32-розрядною архітектурою (IA-32) сімейства Intel.

2000 рік. Компанія Intel випустила процесор Itanium, **перший 64-розрядний (IA-64) процесор для ПК**. Проте це розширення так і не стало популярним для домашніх користувачів, але на серверах використовувалося.



У жовтні 2001 року випущена **Windows XP**. Вона швидко стала однією з найпопулярніших версій Windows завдяки своєму інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу, стабільності та широкій підтримці апаратного та програмного забезпечення. Windows XP уперше об'єднала лінії домашніх і корпоративних операційних систем Microsoft, запропонувавши користувачам спрощене

налаштування, покращену безпеку та підтримку нових технологій, таких як бездротові мережі та USB-пристрої. Незважаючи на завершення офіційної підтримки у 2014 році, Windows XP продовжувала використовуватися на багатьох комп'ютерах ще багато років через свою надійність і простоту у використанні.

У 2003 році AMD зробила значний прорив у процесорних технологіях, випустивши процесори **Opteron** і **Athlon 64**, засновані на новій архітектурі **AMD64**. Ця архітектура, також відома як **x86-64**, стала еволюцією традиційної 32-бітної архітектури x86, додавши підтримку 64-бітних обчислень. Завдяки цьому процесори змогли працювати з більшими обсягами оперативної пам'яті та підвищили продуктивність у додатках, що вимагали обробки великих обсягів даних.

Opteron, зорієнтований на сервери та робочі станції, став першим 64-бітним процесором для x86-сумісних систем, який підтримував багатопроцесорні конфігурації та був сумісний з 32-бітним програмним забезпеченням. Це дозволило підприємствам здійснювати плавний перехід на 64-бітні системи, не втрачаючи сумісності зі своїм існуючим програмним забезпеченням.



Athlon 64, призначений для споживчого ринку, також запровадив підтримку 64-бітних обчислень, відкриваючи шлях до нових рівнів продуктивності у настільних комп'ютерах і ноутбуках. Цей процесор також підтримував технологію HyperTransport, яка

збільшувала швидкість передачі даних між компонентами системи, що підвищувало загальну продуктивність.

Випуск процесорів Opteron і Athlon 64 закріпив за AMD позицію інноваційного лідера на ринку процесорів, оскільки компанія першою запропонувала споживачам і підприємствам доступні 64-бітні рішення. Це дало поштовх до широкого впровадження 64-бітних обчислень у всіх сегментах ринку комп'ютерів.

У 2004 році, реагуючи на ринковий успіх архітектури AMD64, Intel оголосила про розробку власного сумісного розширення для 32-бітної архітектури IA-32 під назвою **IA-32e**. Пізніше це розширення було перейменовано спочатку на **EM64T** (Extended Memory 64 Technology), а згодом отримало назву **Intel 64**. Це розширення додало підтримку 64-бітних обчислень у процесори Intel, дозволяючи їм працювати з більшими обсягами пам'яті та підвищувати продуктивність у 64-бітних додатках.

У рамках цієї ініціативи Intel почала постачання оновлених процесорів Xeon і Pentium 4, які підтримували нові 64-розрядні інструкції. Ці процесори зберігали сумісність із наявними 32-бітними програмами, що забезпечувало безперебійний перехід користувачів і підприємств до 64-бітних обчислень. Упровадження Intel 64 дозволило компанії зберегти конкурентоспроможність на ринку процесорів і запропонувати своїм клієнтам можливість використовувати переваги 64-бітної архітектури, аналогічної тій, що вже пропонувалася AMD.

VIA Technologies теж оголосила про розробку 64-розрядного процесора Isaiah. Проте надалі компанія не витримала конкуренції і з часом на ринку виробників процесорів і чіпсетів для них залишилось два основні великі гравці: Intel і AMD.

2.5. Розвиток архітектури у 1990-х та 2000-х роках

2.5.1. Мультипроцесорні системи

Історія та впровадження

Перші спроби створення мультипроцесорних систем датуються ще 1960-ми роками, коли використовувалися кілька

процесорів для збільшення обчислювальної потужності [25, 17]. Однак ці системи були дорогими і складними в реалізації.

У 1980-х і 1990-х роках розвиток технологій дозволив знизити вартість і збільшити ефективність багатопроцесорних систем.

У середині 1990-х років почали з'являтися перші комерційні багатоядерні процесори. Такі компанії, як IBM, Sun Microsystems, Intel і AMD, активно працювали над розробкою цих процесорів.

IBM Power4 (випущений у 2001 році) був одним із перших багатоядерних процесорів, що мав два ядра на одному кристалі.

Intel Pentium D (випущений у 2005 році) – один із перших двоядерних процесорів для масового ринку, який знайшов широке застосування в персональних комп'ютерах.

Вплив на обчислювальну потужність

– Збільшення продуктивності

Мультиядерні системи забезпечують значне збільшення продуктивності завдяки можливості одночасного виконання кількох процесів. Це дозволяє ефективніше використовувати обчислювальні ресурси і підвищує загальну продуктивність системи.

Багатоядерні процесори стали основою для сучасних серверів, робочих станцій і високопродуктивних обчислювальних систем.

– Зменшення споживання енергії

Використання кількох ядер на одному кристалі дозволяє зменшити споживання енергії в порівнянні з багатопроцесорними системами, що складаються з кількох окремих процесорів.

Це особливо важливо для мобільних пристроїв, де енергоефективність має вирішальне значення.

Приклади мультипроцесорних систем

– Intel Core 2 Duo

Випущений у 2006 році, Core 2 Duo був двоядерним процесором, який забезпечував значний приріст продуктивності порівняно з попередніми одноядерними моделями. Він став популярним вибором для настільних комп'ютерів і ноутбуків.

Процесор базувався на архітектурі Core, яка забезпечувала високу продуктивність і енергоефективність.

– AMD Athlon 64 X2

Двоядерний процесор від AMD, випущений у 2005 році, який також був популярний серед користувачів. Він підтримував 64-бітні обчислення і забезпечував високу продуктивність для багатозадачності.

Athlon 64 X2 використовував архітектуру K8, яка забезпечувала високу ефективність обробки даних.

– Sun Microsystems UltraSPARC T1

Випущений у 2005 році, UltraSPARC T1 – восьмиядерний процесор, призначений для серверів. Кожне ядро підтримувало до чотирьох потоків, що забезпечувало високу продуктивність для паралельних завдань.

Процесор використовував архітектуру CoolThreads, яка забезпечувала ефективне управління енергією і високу продуктивність.

Технологічні досягнення

– Симетрична мультипроцесорність (SMP)

SMP дозволяє кільком процесорам працювати разом, ділячи між собою пам'ять і ресурси вводу-виводу. Це забезпечує високу продуктивність для паралельних обчислень і багатозадачних середовищ.

– Масивно-паралельні обчислення (MPP)

MPP системи використовують велику кількість процесорів, які працюють над різними частинами завдання паралельно. Це дозволяє досягати значного приросту продуктивності для наукових обчислень і обробки великих даних.

– Гіперпоток (Hyper-threading)

Технологія Hyper-threading від Intel дозволяє кожному ядру процесора обробляти два потоки одночасно, що забезпечує додатковий приріст продуктивності. Уперше введена в процесорах Pentium 4, вона тепер широко використовується в сучасних процесорах Intel.

Мультипроцесорні та багатоядерні системи стали основою сучасної комп'ютерної архітектури, забезпечуючи високу продуктивність, енергоефективність і можливість виконання паралельних завдань. Ці технології продовжують розвиватися, забезпечуючи нові можливості для комп'ютерних систем у різних галузях – від серверів до мобільних пристроїв і високопродуктивних обчислювальних систем.

2.5.2. Віртуалізація

Історія та розвиток віртуалізації

Концепція віртуалізації бере свій початок з 1960-х років, коли IBM розробила технології для поділу великих мейнфреймів на кілька віртуальних машин (VM). Це дозволило ефективніше використовувати обчислювальні ресурси та запускати кілька операційних систем на одному фізичному комп'ютері [9, 26].

У 1990-х роках з'явилися перші комерційні рішення для віртуалізації на персональних комп'ютерах, зокрема продукти від VMware, яка випустила свою першу віртуальну платформу в 1999 році.

У 2000-х роках віртуалізація стала основною технологією для серверних обчислень, дозволяючи ефективно використовувати апаратні ресурси, зменшувати витрати та спрощувати управління IT-інфраструктурою.

Віртуалізація стала важливою складовою сучасної IT-інфраструктури, забезпечуючи оптимізацію використання ресурсів, підвищення гнучкості та масштабованості, а також підвищену доступність і відновлення після збоїв. Віртуалізація змінила архітектуру серверів, дозволяючи консолідувати сервери, сегрегувати робочі навантаження і розвивати хмарні обчислення. Ця технологія продовжує розвиватися, відкриваючи нові можливості для ефективного управління IT-ресурсами й адаптації до змінних вимог бізнесу.

Основні концепції віртуалізації

– Гіпервізори

- **Тип 1 (Bare-metal):** Гіпервізори типу 1 працюють безпосередньо на апаратному забезпеченні, забезпечуючи

високий рівень продуктивності та безпеки. Приклади: VMware ESXi, Microsoft Hyper-V, Xen.

- **Тип 2 (Hosted):** Гіпервізори типу 2 працюють як додаток на базовій операційній системі. Вони простіші в налаштуванні, але менш продуктивні. Приклади: VMware Workstation, Oracle VM VirtualBox.

– Контейнери

Контейнери забезпечують ізоляцію додатків і їх залежностей у вигляді легких віртуальних середовищ. Це дозволяє ефективніше використовувати ресурси і швидше запускати додатки. Приклади: Docker, Kubernetes.

– Віртуальні машини (VM)

Віртуальні машини дозволяють створювати ізольовані середовища для запуску різних операційних систем на одному фізичному сервері. Кожна VM має свої віртуальні апаратні ресурси, такі як процесор, пам'ять і сховище.

Вплив віртуалізації на управління ресурсами

– Оптимізація використання апаратних ресурсів

Віртуалізація дозволяє запускати кілька віртуальних машин на одному фізичному сервері, що підвищує ефективність використання процесорів, пам'яті та сховищ.

Це особливо важливо для центрів обробки даних, де оптимальне використання ресурсів знижує витрати на обладнання й енергію.

– Гнучкість та масштабованість

Віртуалізація забезпечує високу гнучкість і масштабованість IT-інфраструктури. Легко створювати, копіювати та перемішувати віртуальні машини, що спрощує управління й адаптацію до змінних вимог бізнесу.

– Висока доступність і відновлення після збоїв

Технології віртуалізації, такі як VMware vMotion або Microsoft Live Migration, дозволяють перемішувати віртуальні машини між фізичними серверами без перерви в роботі. Це забезпечує високу доступність додатків і швидке відновлення після збоїв.

Вплив віртуалізації на архітектуру серверів

– Консолідація серверів

Віртуалізація дозволяє консолідувати кілька фізичних серверів у меншу кількість більш потужних серверів, що знижує витрати на обладнання, енергоспоживання й охолодження.

Це також спрощує управління інфраструктурою, знижуючи кількість фізичних пристроїв, які потрібно обслуговувати.

– Сегрегація робочих навантажень

Віртуалізація дозволяє ізолювати різні робочі навантаження на одному фізичному сервері, що підвищує безпеку і стабільність системи. Наприклад, можна запускати додатки з різними вимогами до безпеки або продуктивності на окремих віртуальних машинах.

– Хмарні обчислення

Віртуалізація є ключовою технологією для хмарних обчислень. Вона дозволяє надавати ресурси як послугу (IaaS, PaaS, SaaS), забезпечуючи гнучкість, масштабованість і доступність хмарних сервісів.

Хмарні провайдери, такі як AWS, Azure і Google Cloud, використовують віртуалізацію для управління величезними обчислювальними ресурсами та надання різноманітних послуг своїм клієнтам.

Приклади віртуалізації

– VMware vSphere

Повний набір продуктів для віртуалізації серверів, управління й оптимізації ресурсів. Містить гіпервізор ESXi та інструменти для управління віртуальними машинами, такими як vCenter.

– Microsoft Hyper-V

Рішення для віртуалізації серверів від Microsoft, інтегроване з Windows Server. Підтримує як локальні, так і хмарні сценарії.

– Docker і Kubernetes

Docker забезпечує контейнеризацію додатків, дозволяючи запускати їх у легких, ізольованих середовищах. Kubernetes

автоматизує розгортання, масштабування та управління контейнеризованими додатками.

2.6. Сучасні тенденції та майбутнє комп'ютерної архітектури

2.6.1. Паралельні обчислення

Паралельні обчислення стали невід'ємною частиною сучасної комп'ютерної архітектури, забезпечуючи значне підвищення продуктивності й ефективності використання ресурсів. Вони знаходять застосування в різних галузях – від наукових досліджень до ігрової індустрії та штучного інтелекту.

Незважаючи на виклики, паралельні обчислення продовжують розвиватися, відкриваючи нові можливості для обчислювальних систем [10, 16, 25, 26].

Історія розвитку паралельних обчислень

– Ранні концепції

Паралельні обчислення існували ще в середині 20-го століття, коли дослідники почали розробляти суперкомп'ютери, здатні виконувати багато обчислень одночасно.

Одним із перших таких суперкомп'ютерів був Cray-1, створений у 1970-х роках.

– Поява багатоядерних процесорів

У 2000-х роках почався перехід від одноядерних до багатоядерних процесорів. Це дозволило об'єднати кілька обчислювальних ядер в одному чіпі, значно підвищуючи продуктивність без збільшення тактової частоти.

– Розвиток графічних процесорів (GPU)

Спочатку створені для обробки графіки.

Пізніше GPU стали використовуватися для загальних обчислень завдяки їхній архітектурі, яка дозволяє виконувати багато простих обчислень паралельно.

Компанія NVIDIA стала лідером у цій галузі зі своєю платформою CUDA.

Основні концепції паралельних обчислень

– Багатоядерні процесори

Архітектура: Багатоядерні процесори містять кілька незалежних ядер, кожне з яких може виконувати власне завдання. Це дозволяє одночасно виконувати кілька потоків (threads), що підвищує загальну продуктивність системи.

Приклади: Процесори Intel Core, AMD Ryzen.

– Графічні процесори (GPU)

Архітектура: GPU мають тисячі невеликих обчислювальних ядер, оптимізованих для паралельного виконання однакових або схожих завдань. Це робить їх ідеальними для задач, які можна розділити на безліч дрібних підзадач.

Приклади: NVIDIA Tesla, AMD Radeon Instinct.

– Розподілені обчислення

Концепція: Розподілені обчислення використовують кілька фізично розподілених комп'ютерів, об'єднаних у мережу, для розв'язання однієї задачі. Це підвищує загальну обчислювальну потужність і надійність системи.

Приклади: Кластери Hadoop, проєкти BOINC (як SETI@home).

Застосування паралельних обчислень

– Наукові обчислення

Паралельні обчислення широко використовуються в наукових дослідженнях для моделювання фізичних процесів, аналізу великих обсягів даних і розв'язання складних математичних задач.

– Штучний інтелект (AI) і машинне навчання (ML)

GPU відіграють ключову роль у тренуванні моделей глибокого навчання, дозволяючи обробляти великі набори даних і виконувати складні обчислення за значно менший час.

– Ігрова індустрія

Ігрові консолі та комп'ютери використовують потужні GPU для рендерингу високоякісної графіки в реальному часі, забезпечуючи плавний і реалістичний ігровий досвід.

Переваги паралельних обчислень

– Підвищення продуктивності

Паралельні обчислення дозволяють значно прискорити виконання завдань, особливо тих, які можна розділити на незалежні частини.

– Ефективне використання ресурсів

Використання кількох ядер або процесорів дозволяє ефективніше використовувати наявні апаратні ресурси, знижуючи час простою.

– Масштабованість

Паралельні обчислювальні системи легко масштабуються, додаючи нові ядра або вузли для підвищення обчислювальної потужності.

Виклики паралельних обчислень

– Складність програмування

Написання програм для паралельних систем може бути складним завданням через необхідність синхронізації та розподілу завдань між ядрами.

– Відповідність задачі

Не всі задачі можна ефективно розпаралелити. Деякі алгоритми потребують послідовного виконання, що обмежує можливості паралельних обчислень.

– Проблеми масштабування

Збільшення кількості ядер не завжди призводить до лінійного підвищення продуктивності через накладні витрати на управління та синхронізацію.

2.6.2. Квантові комп'ютери

Квантові комп'ютери представляють нову еру в обчислювальній техніці, обіцяючи перевершити класичні комп'ютери в багатьох завданнях завдяки використанню принципів квантової механіки. Вони мають потенціал революціонізувати галузі від криптографії до штучного інтелекту і наукових обчислень.

Основні принципи квантових обчислень

– Кубіти

На відміну від бітів класичних комп'ютерів, які можуть мати значення 0 або 1, кубіти можуть перебувати в стані 0, 1 або в суперпозиції цих станів. Це означає, що кубіт може одночасно представляти обидва стани, що значно збільшує обчислювальну потужність.

– Суперпозиція

Суперпозиція дозволяє квантовому комп'ютеру виконувати багато обчислень одночасно. Завдяки цьому квантові комп'ютери можуть паралельно обробляти величезні обсяги даних.

– Заплутаність

Квантові частинки можуть бути заплутаними, а це означає, що зміна стану однієї частинки миттєво впливає на стан іншої, незалежно від відстані між ними. Це дозволяє кубітам працювати разом більш ефективно, ніж класичні біти.

– Інтерференція

Інтерференція використовується для посилення правильних квантових станів і зниження ймовірності неправильних, що дозволяє квантовим алгоритмам швидше знаходити правильні розв'язки.

Розвиток квантових комп'ютерів

– Ранні розробки

Ідеї квантових обчислень запропоновані Річардом Фейнманом і Девідом Дойчем у 1980-х роках. Вони висловили припущення, що квантові системи можуть моделювати фізичні процеси набагато ефективніше, ніж класичні комп'ютери.

– Алгоритми

У 1994 році Пітер Шор розробив квантовий алгоритм факторизації чисел, що має важливі наслідки для криптографії. Алгоритм Гровера для пошуку в невпорядкованих базах даних, запропонований у 1996 році, також демонструє значну перевагу квантових обчислень над класичними.

– Технічні досягнення

Перші прототипи квантових комп'ютерів з'явилися на початку 21-го століття. Компанії IBM, Google, Rigetti, і D-Wave стали лідерами в цій галузі, розробляючи квантові процесори з усе більшою кількістю кубітів.

Застосування квантових комп'ютерів

– Криптографія

Квантові комп'ютери можуть зламувати класичні криптографічні системи, такі як RSA, за допомогою алгоритму Шора. Це спонукає до розвитку нових квантово-стійких криптографічних методів.

– Моделювання молекул і матеріалів

Квантові комп'ютери можуть моделювати складні хімічні процеси та структури молекул набагато точніше, ніж класичні комп'ютери, що сприяє розробці нових ліків і матеріалів.

– Оптимізація

Квантові алгоритми можуть значно прискорити розв'язування задач оптимізації, важливих у багатьох галузях – від логістики до фінансових ринків.

– Штучний інтелект

Квантові обчислення можуть прискорити тренування моделей машинного навчання та поліпшити ефективність алгоритмів штучного інтелекту.

Виклики та перспективи квантових комп'ютерів

– Технічні перешкоди

Побудова та масштабування стабільних квантових комп'ютерів є надзвичайно складним завданням. Проблеми, пов'язані з декогеренцією і квантовим шумом, вимагають розробки нових технологій корекції помилок.

– Високі вимоги до умов

Кубіти повинні зберігатися при надзвичайно низьких температурах і в умовах високого вакууму, що ускладнює створення комерційно доступних квантових комп'ютерів.

– Інфраструктура та програмне забезпечення

Для ефективного використання квантових комп'ютерів необхідно розробити нову інфраструктуру і програмні інструменти. Квантові алгоритми вимагають нових підходів до програмування, що відрізняються від класичних методів.

2.6.3. Хмарні обчислення

Хмарні обчислення стали важливою частиною сучасної комп'ютерної архітектури, даючи можливість ефективного використання обчислювальних ресурсів через Інтернет. Ця технологія дозволяє користувачам отримувати доступ до обчислювальних ресурсів, зберігання даних і програмного забезпечення без необхідності власного апаратного та програмного забезпечення [24].

Моделі розгортання хмарних обчислень

Охоплюють публічну, приватну та гібридну хмари. Публічна хмара пропонує послуги, доступні для широкого кола користувачів через Інтернет і є найбільш поширеним варіантом завдяки своїй гнучкості та економічності. Приватна хмара, навпаки, розгорнута на власних серверах організації, що дозволяє контролювати доступ і безпеку даних, але часто вимагає значних витрат. Гібридна хмара поєднує в собі обидва підходи, дозволяючи організаціям використовувати переваги як публічної, так і приватної хмари.

Моделі надання хмарних послуг

Надають інфраструктуру як послугу (IaaS), платформу як послугу (PaaS) та програмне забезпечення як послугу (SaaS).

IaaS надає віртуалізовані обчислювальні ресурси через Інтернет, що дозволяє користувачам орендувати сервери, зберігання і мережеві ресурси за потребою.

PaaS забезпечує платформу для розробки, тестування та розгортання додатків без необхідності управляти інфраструктурою, що спрощує процес розробки.

SaaS пропонує готові до використання програмні продукти, доступні через Інтернет, такі як електронна пошта, офісні програми і CRM-системи.

Технологічні переваги хмарних обчислень

Охоплюють масштабованість і гнучкість, що дозволяє швидко адаптувати ресурси відповідно до потреб. Економія витрат є ще однією важливою перевагою, оскільки користувачі оплачують тільки ті ресурси, які використовують. Хмари також забезпечують високу доступність і надійність завдяки резервним копіям і відмовостійким системам.

Виклики

Проблеми з безпекою і конфіденційністю даних, залежність від стабільного інтернет-з'єднання і можливі складності при міграції традиційних систем у хмару є основними питаннями. Також важливо враховувати відповідність нормативним вимогам, таким як GDPR.

Тенденції розвитку

Незважаючи на ці виклики, тенденції розвитку хмарних обчислень передбачають упровадження мультихмарних середовищ, яке дозволяє комбінувати послуги з різних хмарних провайдерів для підвищення ефективності та зниження ризиків. Інші тенденції, такі як контейнеризація й оркестрація з використанням технологій, таких як Kubernetes, також відіграють важливу роль у розвитку хмарних обчислень, забезпечуючи більшу гнучкість і ефективність у розгортанні й управлінні додатками.

3. Принципи побудови комп'ютерів

3.1. Архітектура фон Неймана

Архітектура фон Неймана, запропонована Джоном фон Нейманом у 1945 році, є однією з найбільш фундаментальних моделей комп'ютерної архітектури, також відома як Принстонська архітектура [7, 12]. Ця назва походить від Принстонського університету, де Джон фон Нейман працював і розробляв свої ідеї. Основні принципи цієї архітектури залишаються однаковими незалежно від назви, вона визначає організацію та взаємодію основних компонентів комп'ютера.

3.1.1. Основні компоненти

У рамках архітектури фон Неймана, яка є однією з основних моделей комп'ютерної архітектури, кожен комп'ютер складається з трьох основних компонентів: процесора (ЦП), пам'яті та пристроїв вводу-виводу. Розглянемо ці компоненти детальніше.

Процесор (ЦП)

Процесор є центральною обчислювальною одиницею комп'ютера. Він виконує інструкції програми, здійснюючи арифметичні, логічні, контрольні та інші операції.

Основні частини процесора:

- **Арифметико-логічний пристрій (АЛП):** Виконує арифметичні (додавання, віднімання, множення, ділення) та логічні операції (логічне І, логічне АБО, заперечення тощо).
- **Блок керування:** Керує послідовністю виконання інструкцій, забезпечуючи правильний порядок операцій.
- **Регістри:** Внутрішні швидкодіючі комірки пам'яті, які використовуються для тимчасового зберігання даних та інструкцій під час їх виконання.

Пам'ять

Пам'ять комп'ютера призначена для зберігання інструкцій програм і даних, необхідних для їх виконання.

Існують *кілька типів пам'яті*:

- **Оперативна пам'ять (RAM).** Використовується для тимчасового зберігання даних та інструкцій, до яких процесор має швидкий доступ під час виконання програм. Пам'ять RAM енергозалежна, тобто дані в ній зберігаються лише під час роботи комп'ютера.
- **Постійна пам'ять (ROM).** Використовується для зберігання постійних даних і програм, які не змінюються під час роботи комп'ютера. Пам'ять ROM енергонезалежна, тобто дані зберігаються навіть після вимкнення живлення.
- **Кеш-пам'ять.** Високошвидкісна пам'ять, що використовується для тимчасового зберігання найбільш часто використовуваних даних та інструкцій, забезпечуючи швидкий доступ до них для процесора.

Пристрої вводу-виводу

Пристрої вводу-виводу (I/O) забезпечують взаємодію комп'ютера із зовнішнім світом. Вони дозволяють вводити дані в комп'ютер і виводити результати його роботи.

Основні типи пристроїв вводу-виводу:

- **Пристрої вводу.** Клавіатури, миші, сканери, мікрофони та інші пристрої, які дозволяють користувачам вводити дані в комп'ютер.
- **Пристрої виводу.** Монітори, принтери, колонки, навушники та інші пристрої, які дозволяють виводити результати обчислень з комп'ютера.
- **Мережеві адаптери.** Пристрої, що забезпечують з'єднання комп'ютера з мережею для обміну даними з іншими комп'ютерами.

Ці основні компоненти є фундаментом будь-якого комп'ютера, незалежно від його конкретного типу або призначення. Вони забезпечують базові функції, необхідні для виконання програм та обробки даних.

3.1.2. Принципи роботи

Архітектура фон Неймана базується на кількох ключових принципах, які визначають її роботу:

1. **Єдина пам'ять для програм і даних:** Архітектура фон Неймана використовує єдину пам'ять для зберігання як інструкцій програми, так і даних. Це дозволяє програмам бути динамічно завантаженими та виконуваними, але також може створити "вузьке місце пам'яті" (memory bottleneck), коли процесор намагається одночасно отримувати інструкції та дані з однієї і тієї ж пам'яті.
2. **Послідовне виконання інструкцій:** Принцип послідовного виконання вказує на те, що інструкції програми виконуються одна за одною в порядку їх розташування в пам'яті. Програмний лічильник (Program Counter, PC) зберігає адресу наступної інструкції, а після її виконання автоматично оновлюється, щоб указати на наступну інструкцію.
3. **Блок керування (Control Unit):** Блок керування відповідає за декодування і виконання інструкцій. Він інтерпретує інструкції програми й управляє іншими компонентами процесора для виконання цих інструкцій. Це передбачає керування даними, які надходять у арифметично-логічний пристрій (ALU) і координацію роботи з пам'яттю.
4. **Арифметично-логічний пристрій (ALU):** ALU виконує арифметичні та логічні операції над даними. Це можуть бути прості обчислення, такі як додавання та множення, або складніші операції, такі як порівняння значень.
5. **Пам'ять:** Пам'ять комп'ютера в архітектурі фон Неймана послідовна й адресована. Вона розділена на адресовані одиниці (слова або байти), що дозволяє процесору читати та записувати дані за заданими адресами.
6. **Вхідні та вихідні пристрої (I/O):** Архітектура фон Неймана передбачає під'єднання до комп'ютера різних пристроїв введення/виведення, через які комп'ютер взаємодіє із зовнішнім світом. Блок керування контролює ці пристрої для обміну даними з програмами.

Процес виконання інструкцій:

1. **Витягування інструкції:** Процесор отримує інструкцію з пам'яті за адресою, вказаною програмним лічильником.

2. **Декодування інструкції:** Інструкція декодується в блоці керування для визначення необхідних дій.
3. **Виконання інструкції:** ALU чи інші компоненти виконують необхідні обчислення або операції.
4. **Збереження результату:** Результати виконання інструкції зберігаються в пам'яті або в регістрах.

Цей принцип роботи забезпечує базу для багатьох сучасних комп'ютерних систем, хоча новіші архітектури можуть вносити вдосконалення або модифікації для підвищення ефективності.

3.2. Альтернативні архітектури

3.2.1. Гарвардська архітектура

Гарвардська архітектура – це комп'ютерна архітектура, яка використовує окремі пам'яті для зберігання інструкцій програми і даних [7]. Цей підхід відрізняється від архітектури фон Неймана, де програми і дані зберігаються в одній і тій же пам'яті.

Основні особливості Гарвардської архітектури:

- **Окремі пам'яті для інструкцій і даних:** Гарвардська архітектура передбачає використання двох окремих пам'ятей – однієї для зберігання інструкцій програми, а іншої для зберігання даних. Це дозволяє процесору одночасно отримувати інструкції та дані без необхідності чергування доступу до однієї пам'яті, як у випадку з архітектурою фон Неймана.
- **Висока продуктивність:** Завдяки розділенню пам'яті для інструкцій і даних гарвардська архітектура дозволяє здійснювати паралельний доступ до обох типів пам'яті. Це може значно підвищити загальну продуктивність системи, оскільки процесор може виконувати інструкції та зчитувати/записувати дані одночасно.
- **Комплексність дизайну:** Наявність двох окремих блоків пам'яті може ускладнити конструкцію комп'ютера порівняно з архітектурою фон Неймана. Це також може призвести до збільшення витрат на компоненти та споживання енергії.

- **Типи пам'яті:** Гарвардська архітектура може використовувати різні типи пам'яті для зберігання інструкцій і даних. Наприклад, інструкції можуть зберігатися в швидшій, але менш ємкій пам'яті, тоді як дані можуть зберігатися в більш ємкій, але менш швидкісній пам'яті.
- **Приклади використання:**
 - **Мікроконтролери:** Багато мікроконтролерів використовують гарвардську архітектуру, оскільки вона дозволяє їм ефективно працювати в реальному часі з різними типами пам'яті.
 - **DSP (Digital Signal Processors):** Гарвардська архітектура також широко використовується в цифрових сигнальних процесорах, де важливо забезпечити високу швидкість обробки сигналів.

Переваги та недоліки:

- **Переваги:** Головною перевагою гарвардської архітектури є підвищена швидкість роботи завдяки можливості паралельного доступу до пам'яті. Це особливо корисно в системах, які потребують високої швидкості обробки даних.
- **Недоліки:** Більша складність у дизайні та можливе збільшення витрат на апаратне забезпечення.

У цілому гарвардська архітектура забезпечує високий рівень продуктивності для певних типів систем, де важливо максимізувати швидкість обробки даних та інструкцій.

3.2.2. Принстонсько-гарвардська архітектура

Принстонсько-гарвардська архітектура (іноді також називається Гібридна архітектура) поєднує елементи як архітектури фон Неймана [4, 7], так і гарвардської, забезпечуючи певні переваги обох підходів.

Основи Принстонсько-Гарвардської архітектури:

- Використовує елементи обох архітектур – вона має одну спільну пам'ять для інструкцій і даних, як у фон Неймана,

але містить певні розділення, які властиві гарвардській архітектурі.

- У сучасних процесорах принстонсько-гарвардська архітектура зазвичай використовує кешування для поліпшення продуктивності. Наприклад, може бути реалізований окремий кеш для інструкцій та даних, що дозволяє зберігати часто використовувані інструкції та дані окремо, покращуючи швидкість доступу.
- Система може використовувати основну пам'ять для інструкцій і даних, але кеші для інструкцій і даних можуть бути реалізовані окремо. Це дозволяє уникнути деяких проблем архітектури фон Неймана, таких як "вузьке місце пам'яті", зберігаючи при цьому простоту дизайну архітектури фон Неймана.

Використання в сучасних процесорах:

1. **Процесори Intel:**
 - **Intel Core i Series:** Сучасні процесори Intel Core використовують кешування для інструкцій і даних, забезпечуючи ефективний доступ до обох типів пам'яті.
 - **Intel Pentium:** Багато з процесорів серії Pentium використовують гібридну архітектуру, поєднуючи елементи гарвардської та фон Неймановської архітектур у своїх кешах.
2. **Процесори AMD:**
 - **AMD Ryzen:** Процесори Ryzen також використовують подібний підхід, де кеші для інструкцій і даних відокремлені для покращення загальної продуктивності.
3. **ARM архітектура:**
 - **ARM Cortex:** Архітектури ARM, такі як Cortex-A та Cortex-M, також використовують кешування для інструкцій і даних, поєднуючи елементи обох підходів для досягнення високої продуктивності та ефективності.

Переваги:

- **Підвищена продуктивність:** З використанням окре

мих кешів для інструкцій і даних архітектура забезпечує більшу швидкість доступу й обробки.

- **Гнучкість:** Поєднання елементів обох архітектур дозволяє ліпше адаптуватися до різних типів навантажень і застосунків.

Недоліки:

- **Складність:** Дизайн таких процесорів може бути більш складним, що може вплинути на витрати на виробництво і розробку.

Принстонсько-гарвардська архітектура дозволяє досягти балансу між простотою архітектури фон Неймана і високою продуктивністю гарвардської архітектури, забезпечуючи ефективність у сучасних обчислювальних системах.

3.2.3. Суперскалярна архітектура

Суперскалярна архітектура – це тип комп'ютерної архітектури, яка дозволяє процесору виконувати кілька інструкцій за один такт [14]. Це досягається шляхом використання кількох конвеєрів або екзек'юшен юнітів, які можуть паралельно обробляти кілька інструкцій.

Основні принципи суперскалярної архітектури:

1. **Множинні конвеєри:** У суперскалярних процесорах існує більше одного конвеєра інструкцій, що дозволяє одночасне виконання кількох інструкцій різних типів (наприклад, арифметичні, логічні, завантаження/збереження даних).
2. **Паралельне виконання:** Завдяки використанню кількох екзек'юшен юнітів (ALU, FPU, Load/Store Unit) суперскалярні процесори можуть виконувати кілька інструкцій паралельно, що значно підвищує їх загальну продуктивність.
3. **Розпізнавання залежностей:** Суперскалярні процесори містять механізми для розпізнавання залежностей між інструкціями (наприклад, залежності по даним або по управлінню). Це дозволяє уникати конфліктів і забезпечувати правильний порядок виконання інструкцій.

4. **Виконання інструкцій у конвеєрі:** Інструкції розбиваються на кілька етапів, кожен з яких виконується паралельно з іншими. Наприклад, одна інструкція може бути на етапі декодування, інша – на етапі виконання, а третя – на етапі запису результату.

Приклади суперскалярних процесорів:

1. **Intel Pentium:** Процесор Intel Pentium, що з'явився в 1993 році, був одним з перших комерційних процесорів, що використовували суперскалярну архітектуру. Він містив два конвеєри, які дозволяли виконувати по дві інструкції за один такт.
2. **AMD Athlon:** Процесори AMD Athlon також використовують суперскалярну архітектуру, з кількома конвеєрами та багатьма ексек'юшен юнітами, що дозволяють ефективно обробляти декілька інструкцій одночасно.
3. **Intel Core:** Сучасні процесори Intel Core використовують розширену суперскалярну архітектуру з багатьма конвеєрами та розширеними механізмами для паралельного виконання інструкцій.

Переваги суперскалярної архітектури:

1. **Підвищення продуктивності:** Завдяки можливості одночасного виконання кількох інструкцій суперскалярна архітектура може значно збільшити продуктивність процесора в порівнянні з однопроцесорними архітектурами.
2. **Ефективне використання ресурсів:** Паралельне виконання інструкцій дозволяє більш ефективно використовувати ресурси процесора, знижуючи час, що витрачається на виконання програм.

Недоліки суперскалярної архітектури:

1. **Складність дизайну:** Суперскалярні процесори мають складні механізми для управління паралельним виконанням, розпізнаванням залежностей та розподілом ресурсів, що ускладнює їх проектування та виготовлення.

2. **Обмеження паралелізму:** Хоча суперскалярна архітектура дозволяє паралельне виконання кількох інструкцій, реальна продуктивність може бути обмежена залежностями між інструкціями та іншими факторами.

Суперскалярна архітектура є важливим кроком у розвитку комп'ютерних процесорів, дозволяює значно підвищити їх продуктивність і ефективність у виконанні обчислень.

3.2.3.VLIW (Very Long Instruction Word)

VLIW (Very Long Instruction Word) – це архітектурний підхід до проєктування процесорів, який дозволяє паралельне виконання кількох інструкцій за один такт [14].

Основна ідея VLIW полягає в упакуванні кількох інструкцій у один довгий машинний код, що дозволяє процесору виконувати їх паралельно.

Основні принципи VLIW:

1. **Довгі інструкційні слова:** У VLIW-архітектурі інструкції групуються в одне довге інструкційне слово. Кожен сегмент цього слова визначає окрему операцію, яку потрібно виконати, та може містити кілька паралельних інструкцій.
2. **Статичне планування:** Паралелізм у VLIW-архітектурі визначається на етапі компіляції, а не під час виконання. Компілятор аналізує код і розміщує інструкції в довгих словах так, щоб максимально використовувати можливості паралельного виконання.
3. **Виконання паралельних інструкцій:** Процесор VLIW має кілька виконувальних одиниць, які можуть одночасно виконувати інструкції з різних частин довгого інструкційного слова.
4. **Простота управління:** Через те, що компілятор управляє плануванням інструкцій, процесору не потрібно мати складні механізми для динамічного планування і розподілу ресурсів, як це необхідно в суперскалярних архітектурах.

Приклади VLIW-архітектури:

1. **Intel Itanium (IA-64):** Процесори Intel Itanium використовують VLIW-архітектуру. Ця архітектура дозволяє виконувати до 6 інструкцій за один такт завдяки довгим інструкційним словам, які містять кілька паралельних інструкцій.
2. **Digital Equipment Corporation (DEC) EPIC:** Архітектура EPIC (Explicitly Parallel Instruction Computing) від DEC є ще одним прикладом VLIW. Вона також дозволяє паралельне виконання кількох інструкцій завдяки упакуванню інструкцій у довгі слова.
3. **Transmeta Crusoe:** Процесори Transmeta Crusoe використовують VLIW-архітектуру в поєднанні з технологією кодемуляції, що дозволяє їм виконувати інструкції в паралельному режимі.

Переваги VLIW:

1. **Паралельне виконання:** Можливість виконання кількох інструкцій за один такт значно підвищує продуктивність процесора при виконанні програм, які можуть бути оптимізовані компілятором.
2. **Простота процесора:** Оскільки планування і розподіл інструкцій здійснюється компілятором, сам процесор може бути простішим і дешевшим у виготовленні порівняно з суперскалярними процесорами.
3. **Ефективність для деяких типів обчислень:** VLIW-архітектура добре підходить для програм, що виконують багато паралельних обчислень, таких як векторна математика і наукові обчислення.

Недоліки VLIW:

1. **Залежність від компілятора:** Продуктивність процесора VLIW сильно залежить від якості компілятора та його здатності ефективно упаковувати інструкції в довгі слова. Якщо компілятор не здатний ефективно використовувати паралелізм, продуктивність може бути низькою.

2. **Низька гнучкість:** Упакування інструкцій у довгі слова фіксує певні операції, які будуть виконані разом. Це може бути неефективним, якщо програмний код не може бути оптимально упакований або якщо виникають часті зміни в завданнях.
3. **Розмір коду:** Довгі інструкційні слова можуть збільшити розмір коду, що може призвести до збільшення вимог до пам'яті і зменшення швидкості доступу до пам'яті.

VLIW-архітектура – один з підходів до досягнення високої продуктивності обчислень через паралельне виконання інструкцій, хоча вона має певні обмеження, що можуть впливати на її ефективність у різних сценаріях.

3.2.5. RISC (Reduced Instruction Set Computer)

RISC (Reduced Instruction Set Computer) – це архітектурний підхід до проектування процесорів, який характеризується спрощеним набором інструкцій. Головна ідея RISC полягає в тому, щоб зменшити кількість інструкцій, які підтримує процесор, щоб кожна інструкція могла бути виконана за один такт [7, 14]. Це дозволяє зменшити складність апаратного забезпечення та підвищити швидкість виконання програм.

Основні принципи RISC:

1. **Спрощений набір інструкцій:** RISC-процесори використовують прості інструкції, які зазвичай виконуються за один такт процесора. Це дозволяє зменшити час на декодування та виконання інструкцій.
2. **Регістрова архітектура:** Основний акцент робиться на використанні регістрів для зберігання даних і результатів обчислень. Більшість операцій виконується між регістрами, що знижує потребу в доступі до повільнішої пам'яті.
3. **Постійна довжина інструкцій:** Інструкції RISC мають постійну довжину, що спрощує процес декодування та дозволяє ефективніше використовувати конвеєрizaцію.
4. **Фіксований формат інструкцій:** Інструкції мають однаковий формат, що спрощує розробку та реалізацію процесора.

5. **Мінімальні складні операції:** Замість складних інструкцій, які можуть виконувати кілька операцій за один такт, RISC-архітектури містять прості інструкції, які виконують одну операцію, але швидше й ефективніше.

Основні характеристики RISC:

1. **Виконання за один такт:** Більшість інструкцій у RISC-процесорах виконується за один такт, що дозволяє досягти високої швидкості обробки.
2. **Простота декодування:** Спрощений набір інструкцій і постійна довжина інструкцій знижують складність декодування, що допомагає в підвищенні продуктивності.
3. **Ефективна конвеєризація:** Оскільки інструкції прості і мають постійну довжину, RISC-процесори можуть ефективніше використовувати конвеєризацію, а це підвищує загальну продуктивність.
4. **Менше виконувальних одиниць:** RISC-архітектури зазвичай потребують менше виконувальних одиниць, що спрощує конструкцію процесора.

Приклади RISC-архітектур:

1. **ARM:** ARM (Advanced RISC Machine) є однією з найбільш популярних RISC-архітектур, широко використовуваною в мобільних пристроях, убудованих системах і навіть у деяких серверах. ARM процесори відомі своєю енергоефективністю і високою продуктивністю.
2. **MIPS:** MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages) – ще одна популярна RISC-архітектура, використовувана в багатьох убудованих системах і мережевих пристроях.
3. **SPARC:** SPARC (Scalable Processor Architecture) – архітектура, розроблена компанією Sun Microsystems. SPARC широко використовувалася в серверних системах і великих обчислювальних системах.
4. **PowerPC:** PowerPC (Performance Optimization With Enhanced RISC) – архітектура, яка використовувалася в комп'ютерах Apple до переходу на Intel, а також у консольях для ігор, таких як Xbox 360.

Переваги RISC:

1. **Висока швидкість виконання:** Простота інструкцій і постійна довжина дозволяють виконувати інструкції швидше, що підвищує загальну продуктивність процесора.
2. **Зменшена складність апаратного забезпечення:** Спрощений набір інструкцій і регістрова архітектура зменшують складність апаратного забезпечення, що може знижувати витрати на виробництво.
3. **Ефективна конвеєризація:** Зменшена складність інструкцій полегшує реалізацію конвеєризації, що дозволяє процесору паралельно виконувати декілька інструкцій.

Недоліки RISC:

1. **Збільшення обсягу коду:** Оскільки інструкції виконують одну операцію, програми можуть займати більше пам'яті, ніж у CISC (Complex Instruction Set Computer) архітектурах, де складні інструкції можуть виконувати більше роботи за один раз.
2. **Залежність від компілятора:** Ефективність RISC-процесорів значною мірою залежить від якості компілятора, який повинен оптимізувати код для використання простих інструкцій.

RISC-архітектура забезпечує ефективне рішення для досягнення високої продуктивності через спрощення інструкційного набору й оптимізацію процесу виконання, але може вимагати більше пам'яті для зберігання коду.

3.2.6. CISC (Complex Instruction Set Computer)

CISC (Complex Instruction Set Computer) – це архітектурний підхід до проектування процесорів, який характеризується використанням великого набору інструкцій з різною складністю [7, 11]. Основна ідея CISC полягає в тому, що процесор може виконувати більше різних типів операцій за допомогою одного інструкційного набору, а це дозволяє зменшити кількість інструкцій, необхідних для виконання завдання.

Основні принципи CISC:

1. **Багатофункціональні інструкції:** CISC-процесори мають великий набір інструкцій, включаючи складні операції, такі

як множення, ділення, і навіть функції для обробки рядків. Це дозволяє виконувати складні операції за допомогою однієї інструкції.

2. **Модульна структура інструкцій:** Інструкції можуть мати різну довжину і формат, що дозволяє включати операнди, адреси і інші параметри безпосередньо в інструкцію.
3. **Виконання багатьох операцій:** Деякі інструкції CISC можуть виконувати кілька операцій за один такт, що дозволяє скоротити обсяг коду, необхідного для виконання програми.
4. **Складна декодування:** Інструкції CISC можуть мати різні формати і довжини, що ускладнює процес декодування і виконання.

Основні характеристики CISC:

1. **Складний набір інструкцій:** CISC-архітектури мають великий набір інструкцій, що дозволяє зменшити кількість інструкцій, які потрібно написати в програмі.
2. **Змішане виконання інструкцій:** Інструкції можуть виконувати кілька операцій одночасно, що може скоротити кількість тактів процесора для виконання програми.
3. **Мінімальна кількість коду:** Через використання складних інструкцій програми можуть бути компактнішими і меншими за обсягом.
4. **Складна реалізація:** Інструкції з різною довжиною і функціональністю ускладнюють проєктування апаратного забезпечення, включаючи декодування та виконання інструкцій.

Приклади CISC-архітектур:

1. **x86:** Архітектура x86 є однією з найбільш відомих CISC-архітектур. Вона широко використовується в персональних комп'ютерах, ноутбуках і серверах. Intel і AMD є основними виробниками процесорів на основі x86.
2. **VAX:** VAX (Virtual Address eXtension) – архітектура, розроблена компанією Digital Equipment Corporation (DEC). VAX процесори відомі своєю потужною підтримкою складних інструкцій.

3. **IBM System/360:** IBM System/360 є прикладом CISC-архітектури, яка містила великий набір інструкцій і використовувалася в мейнфреймах.
4. **DEC PDP-11:** PDP-11 – ще одна CISC-архітектура, яка відзначалася багатством інструкцій і була популярною в 1970-х роках.

Переваги CISC:

1. **Зменшення обсягу коду:** Складні інструкції дозволяють зменшити кількість інструкцій, необхідних для виконання програми, що дозволяє зменшити розмір коду.
2. **Багатофункціональність:** Можливість виконання кількох операцій за одну інструкцію може зменшити потребу в додаткових інструкціях.
3. **Сумісність з попередніми версіями:** CISC-архітектури часто зберігають сумісність з попередніми версіями, а це дозволяє запускати старі програми на нових процесорах.

Недоліки CISC:

Складність апаратного забезпечення: Великий набір інструкцій і різна довжина інструкцій ускладнюють проектування апаратного забезпечення та декодування інструкцій.

Медленніше виконання: Інструкції, що виконують кілька операцій, можуть потребувати більше часу для декодування та виконання, що може знижувати загальну продуктивність.

Менша ефективність конвеєризації: Складність декодування і різна довжина інструкцій можуть ускладнювати реалізацію конвеєризації і знижувати ефективність.

CISC-архітектури забезпечують високу функціональність і зменшення обсягу коду, але їх складність може впливати на швидкість виконання й ефективність. CISC-процесори залишаються популярними в персональних комп'ютерах і серверах, завдяки своїй гнучкості і підтримці великого набору інструкцій.

3.3. Основні компоненти комп'ютера

3.3.1. Центральний процесор (ЦП)

Центральний процесор (ЦП) – це основний компонент комп'ютера, який виконує більшість обчислень і обробляє команди,

задані програмами. Він виконує послідовності інструкцій, що зберігаються в пам'яті, і здійснює управління всіма іншими компонентами комп'ютера [11].

ЦП є серцем комп'ютера і відповідає за виконання базових операцій, таких як арифметичні обчислення, логічні операції, переміщення даних, а також управління потоками даних між різними частинами комп'ютера.

Основні компоненти ЦП:

1. **Арифметико-логічний пристрій (АЛП)** – частина ЦП, яка безпосередньо виконує арифметичні та логічні операції. Він може виконувати такі дії, як додавання, віднімання, множення, ділення, а також логічні операції, такі як AND, OR, NOT і XOR. АЛП отримує дані з регістрів, виконує операцію та зберігає результат.
2. **Контрольний пристрій** відповідає за управління і координацію роботи всіх частин процесора. Він декодує інструкції, отримані з пам'яті, і визначає, які операції необхідно виконати, керуючи потоками даних між АЛП, регістрами та іншими компонентами ЦП.
3. **Регістри:**
Регістри є маленькими, дуже швидкими блоками пам'яті в процесорі, де зберігаються дані для операцій. У x86/x64 архітектурі використовуються кілька типів регістрів, загальні (AX, BX, CX, DX), індексні, покажчики та спеціальні регістри для управління станом процесора. У 64-бітних процесорах (x64) регістри збільшені до 64 біт, що дозволяє обробляти великі обсяги даних і адресувати більші обсяги пам'яті.

3.3.2. Пам'ять

Оперативна пам'ять (RAM)

Оперативна пам'ять (Random Access Memory, RAM) є тимчасовим сховищем даних, яке використовується процесором для зберігання та швидкого доступу до активних програм і даних під час виконання завдань [11].

Характеристики:

- RAM забезпечує швидкий доступ до даних, необхідних процесору, що значно підвищує продуктивність системи.
- Існують два основні типи RAM – динамічна (DRAM) та статична (SRAM). DRAM використовується у більшості ПК, оскільки вона дешевша і забезпечує більший обсяг пам'яті, тоді як SRAM використовується в кеш-пам'яті через її швидкість.
- Дані в RAM зберігаються лише під час роботи комп'ютера. Після вимкнення живлення всі дані в RAM втрачаються.

Постійна пам'ять (ROM)

Постійна пам'ять (Read-Only Memory, ROM) є типом пам'яті, дані в якій записуються під час виробництва і не можуть бути змінені користувачем. Вона зберігає важливі інструкції для запуску системи [11].

Характеристики:

- На відміну від RAM, ROM зберігає свої дані навіть після вимкнення живлення.
- ROM може бути різних типів, включаючи PROM (Programmable ROM), EPROM (Erasable PROM) та EEPROM (Electrically Erasable PROM), які дозволяють змінювати дані за певних умов.
- ROM зазвичай містить мікропрограму (firmware), таку як BIOS або UEFI, яка виконує базові інструкції при завантаженні системи.

Кеш-пам'ять

Кеш-пам'ять – високошвидкісна пам'ять, яка розташована між процесором та оперативною пам'яттю і використовується для зберігання найбільш часто використовуваних даних та інструкцій [11].

Характеристики:

- Кеш-пам'ять зазвичай поділяється на рівні (L1, L2, L3), де L1 є найшвидшим і найменшим, розташованим безпосередньо в ядрі процесора, тоді як L2 і L3 – більші, але дещо повільніші.

- Завдяки зберіганню часто використовуваних даних у кеші процесор може уникнути звернення до більш повільної оперативної пам'яті, що значно підвищує загальну продуктивність системи.
- У сучасних процесорах кеш-пам'ять інтегрована безпосередньо в чіп, що дозволяє мінімізувати затримки і підвищити швидкість обробки даних.

3.3.3. Пристрої вводу-виводу

- **Клавіатура.** Основний пристрій введення, який дозволяє користувачу вводити текст і команди в систему. Містить набір клавіш, що відповідають символам і функціям.
- **Миша.** Пристрій вказівки, що використовується для управління курсором на екрані. Дозволяє користувачам взаємодіяти з графічним інтерфейсом, натискаючи та перетягуючи об'єкти.
- **Дисплей.** Основний вихідний пристрій, який візуалізує дані та інтерфейс користувача. Це можуть бути монітори, екрани ноутбуків та інші види дисплеїв.
- **Принтер.** Пристрій виводу, який перетворює цифрову інформацію на фізичні документи. Використовується для друку текстів, зображень і графіків.
- **Сканер.** Пристрій введення, що перетворює фізичні документи, фотографії або інші об'єкти в цифрові зображення, які можна зберігати й обробляти на комп'ютері.
- **Мережевий адаптер.** Забезпечує з'єднання комп'ютера з мережею. Він може бути дротовим (Ethernet) або бездротовим (Wi-Fi) і дозволяє обмінюватися даними між комп'ютерами та іншими мережевими пристроями.

3.4. Взаємодія компонентів

3.4.1. Системна шина

Системна шина – це сукупність проводів і протоколів, які забезпечують зв'язок між різними компонентами комп'ютера [7]. Вона служить для передачі даних, адрес і сигналів управління між центральним процесором (ЦПУ), пам'яттю, пристроями вводу-

виводу та іншими частинами комп'ютера. Системна шина складається з трьох основних типів шин:

Адресна шина

Це канал передачі інформації, що використовується для визначення, до якого конкретного пристрою або комірки пам'яті має бути звернення. Кожен компонент системи має свою унікальну адресу, яка дозволяє ЦПУ або іншому пристрою передати інформацію або отримати її з конкретної комірки пам'яті чи периферійного пристрою.

Розрядність адресної шини: Кількість ліній в адресній шині визначає максимальну кількість адрес, до яких можна звертатися. Наприклад, 32-розрядна адресна шина може адресувати до 4 ГБ пам'яті (2^{32} адрес).

Шина даних

Відповідає за передачу фактичної інформації між компонентами комп'ютера. Вона використовується для передачі даних між ЦПУ, оперативною пам'яттю, пристроями вводу-виводу та іншими частинами системи.

Розрядність шини даних: Кількість ліній у шині даних визначає, скільки біт інформації може бути передано одночасно. Наприклад, 64-розрядна шина даних дозволяє передавати 64 біти інформації за один цикл.

Шина керування

Шина керування забезпечує передачу сигналів управління та синхронізації між компонентами комп'ютера. Ці сигнали включають команди на читання або запис даних, а також сигнали, які визначають, який пристрій тепер має доступ до шини.

Типові сигнали шини керування:

- **Read/Write (R/W):** Сигнал, який указує, чи слід читати дані з пам'яті або іншого пристрою, або записувати дані.
- **Interrupt Request (IRQ):** Сигнал, який використовується для переривання поточного процесу і виконання іншої, більш пріоритетної задачі.
- **Clock:** Сигнал синхронізації, який задає тактову частоту для роботи компонентів.

Ці три шини разом забезпечують ефективну роботу всієї комп'ютерної системи, дозволяючи передавати дані та управляти взаємодією між основними компонентами.

3.4.2. Взаємодія між ЦП і пам'яттю

Взаємодія між центральним процесором (ЦП) і пам'яттю – це ключовий процес, який визначає, як комп'ютер виконує програми і обробляє дані [4]. Вона включає два основні аспекти: виконання інструкцій і доступ до даних.

Виконання інструкцій

ЦП виконує інструкції, які зберігаються в пам'яті, шляхом послідовного виконання кількох етапів:

1. **Витягування інструкції (Fetch):** ЦП зчитує інструкцію з оперативної пам'яті (RAM). Адреса інструкції вказується в лічильнику команд (Program Counter, PC), після чого вона завантажується в регістр інструкцій.
2. **Декодування (Decode):** Зчитана інструкція декодується декодером інструкцій, щоб визначити, яку операцію необхідно виконати і які дані потрібні.
3. **Виконання (Execute):** ЦП виконує інструкцію, використовуючи відповідні блоки, такі як арифметико-логічний пристрій (АЛП) для арифметичних і логічних операцій.
4. **Збереження результату (Store):** Якщо інструкція передбачає збереження результату, ЦП записує результат у відповідний регістр або пам'ять.

Доступ до даних

Процесор часто потребує даних для виконання інструкцій, які можуть зберігатися в різних місцях пам'яті. Процес доступу до даних включає:

1. **Завантаження даних (Load):** ЦП отримує дані з оперативної пам'яті або кеш-пам'яті, зчитуючи їх за вказаною адресою. Це може бути використання адресної

шини для вказування місця даних і шини даних для передачі самих даних.

2. **Збереження даних (Store):** Якщо інструкція передбачає запис даних, ЦП передає дані на збереження в оперативну пам'ять або інший пристрій зберігання.
3. **Кешування:** Для зменшення затримок при доступі до даних ЦП використовує кеш-пам'ять, яка зберігає копії часто використовуваних даних, дозволяючи швидше до них звертатися.

Ці процеси є основою ефективної роботи комп'ютера, оскільки вони забезпечують швидкий доступ до даних і точне виконання програм.

3.4.3. Взаємодія з пристроями вводу-виводу

Взаємодія між центральним процесором (ЦП) і пристроями вводу-виводу (I/O) є критично важливою частиною роботи комп'ютера [18]. Вона дозволяє комп'ютеру сприймати вхідні дані, обробляти їх і передавати результати на відповідні пристрої, такі як монітори, принтери або мережеві адаптери.

Прямий доступ до пам'яті (DMA)

Прямий доступ до пам'яті (Direct Memory Access, DMA) – механізм, який дозволяє пристроям вводу-виводу взаємодіяти з оперативною пам'яттю без участі ЦП. Це значно підвищує ефективність обміну даними, оскільки процесор може виконувати інші завдання, поки дані передаються між пам'яттю і пристроями вводу-виводу.

1. **DMA контролер:** У системі існує спеціальний контролер DMA, який управляє процесом передачі даних між пам'яттю і пристроями вводу-виводу. Він забезпечує встановлення зв'язку, адресацію пам'яті і передачу даних.
2. **Режими роботи DMA:** DMA може працювати в декількох режимах, таких як «блоковий», коли дані передаються великими блоками, або «циклічний», коли невеликі порції даних передаються послідовно.

3. **Звільнення ЦП:** Використання DMA дозволяє звільнити ЦП від участі в передачі даних, що знижує навантаження на процесор і підвищує загальну продуктивність системи.

Контролери вводу-виводу

Контролери вводу-виводу (I/O controllers) є інтерфейсами між ЦП і периферійними пристроями, такими як клавіатури, миші, принтери, дискові накопичувачі і т.д. Контролери забезпечують зв'язок і управління пристроями вводу-виводу.

1. **Функції контролерів:** Контролери вводу-виводу відповідають за управління потоком даних між периферійними пристроями і пам'яттю або ЦП. Вони буферизують дані, забезпечують синхронізацію і обробляють інтерфейсні сигнали.
2. **Шини вводу-виводу:** Контролери під'єднуються до системних шин, таких як PCI, USB, SATA, для передачі даних між периферійними пристроями і комп'ютером. Вони перекладають дані з форматів, використовуваних пристроями, у формат, зрозумілий для ЦП і пам'яті.
3. **Переривання:** Контролери вводу-виводу можуть використовувати переривання для інформування ЦП про події, які потребують уваги, такі як завершення операції передачі даних. Це дозволяє ЦП не чекати завершення операцій вводу-виводу, а перемикатися на інші завдання.

Взаємодія між ЦП, пам'яттю і пристроями вводу-виводу через контролери і DMA є основою для ефективного функціонування сучасних комп'ютерних систем, забезпечуючи швидкий і надійний обмін даними.

3.5. Паралельна та розподілена архітектура

3.5.1. Мультипроцесорні системи

Мультипроцесорні системи є архітектурою комп'ютера, яка містить більше одного центрального процесора (ЦП) або ядра в одній обчислювальній системі [17, 19]. Ці процесори можуть

працювати одночасно над різними завданнями, що підвищує продуктивність і ефективність системи.

Симетрична багатопроцесорність (SMP)

Симетрична багатопроцесорність (Symmetric Multiprocessing, SMP) – це тип мультипроцесорної архітектури, в якій усі процесори мають однаковий доступ до загальної пам'яті та периферійних пристроїв, а також використовують одну операційну систему.

1. **Рівноправність процесорів:** У SMP всі процесори рівноправні і можуть виконувати будь-яке завдання незалежно від інших процесорів. Вони ділять між собою навантаження, що дозволяє ефективно розподіляти ресурси і підвищувати продуктивність системи.
2. **Загальна пам'ять:** У SMP використовується єдиний простір пам'яті, до якого всі процесори мають рівний доступ. Це дозволяє процесорам легко обмінюватися даними і працювати над спільними задачами.
3. **Масштабованість:** SMP системи добре піддаються масштабуванню, що означає, що додавання нових процесорів підвищує продуктивність системи без необхідності значних змін в архітектурі або програмному забезпеченні.

Асиметрична багатопроцесорність (AMP)

Асиметрична багатопроцесорність (Asymmetric Multiprocessing, AMP) – це архітектура, в якій процесори мають різні ролі або функції, і тільки один процесор управляє всією системою, тоді як інші процесори виконують підлеглі завдання.

1. **Головний процесор:** В AMP один процесор виступає як головний (master) і відповідає за управління операційною системою, розподіл завдань і координацію роботи інших процесорів.
2. **Підлеглі процесори:** Інші процесори в AMP виконують завдання, призначені їм головним процесором, але вони не мають рівного доступу до ресурсів і не можуть самостійно управляти системою.

3. **Використання у спеціалізованих системах:** АМР часто використовується в спеціалізованих системах, де певні процесори призначені для виконання конкретних завдань, наприклад, обробка сигналів, графіки або введення-виведення. Це дозволяє оптимізувати роботу системи для виконання певних функцій.

SMP і АМР є двома різними підходами до організації мультипроцесорних систем, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Вибір між ними залежить від завдань, які стоять перед системою, і вимог до продуктивності, масштабованості та ефективності.

3.5.2. Кластерні системи

Кластерні системи використовують групу комп'ютерів або серверів, які працюють разом для досягнення спільних обчислювальних цілей. Кластери можуть бути розгорнуті для різних задач, включаючи обробку великих обсягів даних, наукові обчислення, веб-хостинг та інші ресурсомісткі застосунки.

Високопродуктивні обчислювальні кластери (High-Performance Computing, HPC) – це тип кластерних систем, що складаються з великої кількості потужних комп'ютерів, які працюють разом для виконання складних обчислень.

1. **Структура:** HPC кластери зазвичай складаються з численних вузлів, де кожен вузол є окремим комп'ютером або сервером, оснащеним потужним процесором (або процесорами), великою кількістю оперативної пам'яті та швидкими дисками. Усі вузли з'єднані між собою високошвидкісними мережами для забезпечення швидкого обміну даними.
2. **Обчислювальні завдання:** HPC кластери використовуються для вирішення складних математичних та наукових задач, таких як моделювання кліматичних змін, розрахунки молекулярної динаміки, симуляції фізичних процесів та інші ресурсоємні обчислення.
3. **Паралельні обчислення:** В HPC кластерах задачі розподіляються між численними вузлами, що дозволяє досягти високої продуктивності та скоротити час обробки

великих обсягів даних. Для цього використовуються паралельні обчислювальні моделі і технології, такі як MPI (Message Passing Interface) та OpenMP.

Надійність: Кластерні системи спроектовані для забезпечення високої надійності та безперервної роботи, що критично важливо для бізнесу та наукових досліджень.

1. **Резервування:** Для підвищення надійності в кластерних системах часто реалізують резервування компонентів, таких як процесори, пам'ять і диски. Якщо один вузол виходить з ладу, інші вузли можуть продовжувати обробку завдань без значних перебоїв у роботі.
2. **Моніторинг і управління:** Кластерні системи часто оснащені інструментами для моніторингу й управління, які дозволяють виявляти й усувати проблеми, а також автоматично перерозподіляти навантаження між вузлами у разі збоїв.

Масштабованість: Кластерні системи можуть бути легко масштабовані шляхом додавання нових вузлів до існуючої конфігурації.

1. **Горизонтальне масштабування:** Для збільшення обчислювальної потужності можна додавати нові вузли до кластера. Це дозволяє системі обробляти більше даних і виконувати більше завдань одночасно.
2. **Масштабування ресурсів:** Кластерні системи можуть масштабувати ресурси (процесори, пам'ять, дисковий простір) залежно від вимог користувачів або навантаження, що дозволяє ефективно використовувати доступні ресурси і підтримувати високу продуктивність системи.

Кластерні системи забезпечують високу продуктивність, надійність і масштабованість, що робить їх важливим інструментом для вирішення складних обчислювальних завдань у різних сферах.

3.5.3. Грід-обчислення

Форма розподілених обчислень, що використовує обчислювальні ресурси, розподілені по різних фізичних і географічних локаціях, для досягнення спільної мети. Грід-

обчислення дозволяє об'єднати ресурси з різних джерел, включаючи комп'ютери, сервери та інші обчислювальні пристрої, для виконання великих і складних обчислювальних завдань.

Розподілені обчислення

Розподілені обчислення передбачають використання кількох комп'ютерів або серверів для виконання частин одного великого обчислювального завдання.

1. **Модель обчислень.** У розподілених обчисленнях завдання розбивається на менші підзавдання, які потім обробляються паралельно на різних комп'ютерах або серверах. Результати підзавдань об'єднуються для отримання кінцевого результату.
2. **Переваги.** Основні переваги розподілених обчислень – підвищена продуктивність, можливість обробки великих обсягів даних і зниження часу обробки. Це дозволяє ефективно використовувати обчислювальні ресурси та зменшити навантаження на окремі комп'ютери.
3. **Приклади.** Розподілені обчислення використовуються в різних сферах: наукові дослідження (наприклад, проєкт SETI@home), фінансові обчислення, обробку даних в мережі та багато інших.

Інфраструктура грід

Інфраструктура грід – набір апаратних і програмних ресурсів, які разом створюють середовище для грід-обчислень.

1. **Апаратні ресурси:** Грід-обчислення використовують різноманітні апаратні ресурси, такі як комп'ютери, сервери, сховища даних та інші пристрої. Ці ресурси можуть бути розташовані в різних фізичних локаціях і належати різним організаціям або індивідуальним користувачам.
2. **Програмне забезпечення:** Інфраструктура грід також включає програмне забезпечення для управління обчислювальними ресурсами, розподілу завдань, комунікації між вузлами та моніторингу системи. Це програмне забезпечення забезпечує координацію між різними обчислювальними ресурсами і дозволяє їм працювати разом ефективно.

3. **Протоколи і стандарти:** Для забезпечення сумісності і інтеграції різних обчислювальних ресурсів використовуються протоколи і стандарти, такі як Globus Toolkit, OGSA (Open Grid Services Architecture) та інші. Ці протоколи забезпечують обмін даними, управління ресурсами і безпеку в грід-середовищі.
4. **Безпека й управління:** Безпека є критично важливим аспектом інфраструктури грід. Вона охоплює механізми аутентифікації, авторизації, шифрування даних і управління доступом. До управління грід-ресурсами входить моніторинг продуктивності, виявлення та розв'язання проблем, а також оптимізація використання ресурсів.

Застосування грід-обчислень охоплює різні сфери – від наукових досліджень і медичних обчислень до фінансових і комерційних завдань. Грід-обчислення дозволяють ефективно використовувати розподілені ресурси для вирішення складних обчислювальних завдань і забезпечення високої продуктивності та масштабованості системи.

3.6. Енергозбереження й оптимізація

3.6.1. Енергоефективні процесори

Енергоефективність процесорів стала критично важливою характеристикою в сучасних комп'ютерних системах, особливо в контексті мобільних пристроїв, серверів і великих дата-центрів. Зниження споживання енергії не тільки допомагає зменшити витрати на електроенергію, але й знижує тепловиділення та покращує загальну надійність системи [7, 12].

Енергоефективні процесори є ключовими для зменшення витрат на енергію та покращення екологічної стійкості комп'ютерних систем. Використання сучасних технологій, таких як динамічне масштабування частоти, енергозберігаючі режими, мультиядерна архітектура та новітні технології виробництва, допомагає досягти оптимального балансу між продуктивністю й енергоспоживанням, забезпечуючи ефективність і продуктивність системи.

Технології зниження споживання енергії

1. Динамічне масштабування частоти (Dynamic Frequency Scaling):

Динамічне масштабування частоти, також відоме як Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS), дозволяє процесору автоматично змінювати свою частоту та напругу залежно від навантаження.

Це дає можливість зменшити споживання енергії під час низького навантаження і зберегти потужність при високих навантаженнях. Наприклад, коли комп'ютер не виконує інтенсивні завдання, частота процесора може бути знижена, що зменшує споживану потужність.

2. Енергозберігаючі режими (Power Saving Modes):

Сучасні процесори підтримують різні енергозберігаючі режими, такі як режим очікування, сну та глибокого сну, які зменшують споживання енергії, коли система неактивно використовується.

Перехід у ці режими допомагає зменшити споживання енергії, коли пристрій не виконує обчислювальні завдання, що особливо корисно для мобільних пристроїв і ноутбуків.

3. Мультиядерна архітектура (Multicore Architecture):

Процесори з кількома ядрами дозволяють розподілити обчислювальні завдання між кількома ядрами, що може знизити навантаження на окреме ядро і зменшити загальне споживання енергії.

Мультиядерні процесори можуть бути більш енергоефективними при виконанні багатозадачних обчислень, оскільки завдання розподіляються між ядрами, що дозволяє знижувати частоту і напругу кожного окремого ядра.

4. Оптимізація архітектури (Architectural Optimization):

Інженери використовують різні методи оптимізації архітектури для зменшення енергоспоживання, такі як зменшення витрат енергії на доступ до пам'яті, оптимізація конвєрсерації, зменшення витрат на вхід/вихід.

Оптимізація архітектури може значно знизити загальні витрати енергії, підвищуючи ефективність використання енергії на рівні апаратного забезпечення.

5. Технології 7-нм і менші (Advanced Process Technologies):

Розробка процесорів з використанням новітніх технологій виробництва, таких як 7-нм і менші, дозволяє зменшити розміри транзисторів, що веде до зменшення споживання енергії.

Менші транзистори споживають менше енергії і дозволяють збільшити щільність транзисторів на чіпі, що сприяє підвищенню загальної енергоефективності.

Баланс між продуктивністю і енергоспоживанням

Досягнення оптимального балансу між продуктивністю і енергоспоживанням є важливим аспектом дизайну сучасних процесорів. Деякі ключові фактори, які впливають на цей баланс:

1. **Потреби в продуктивності:** Для різних типів навантажень – від високопродуктивних обчислень до низькошвидкісних задач – може бути потрібен різний рівень продуктивності. Наприклад, сервери можуть потребувати високої продуктивності, тоді як мобільні пристрої мають пріоритет зниження споживання енергії для збільшення тривалості роботи від акумулятора.
2. **Адаптивні системи:** Сучасні процесори використовують адаптивні системи, які автоматично налаштовують продуктивність і споживання енергії залежно від поточного навантаження. Це дозволяє зберігати енергію при менш інтенсивних задачах і забезпечувати максимальну продуктивність при великих навантаженнях.
3. **Термінова оптимізація:** Коли процесори досягають високих рівнів продуктивності, виникає потреба в ефективному управлінні тепловиділенням. Високе споживання енергії часто веде до збільшення тепла, яке потрібно відводити. Технології, що зменшують тепловиділення, такі як поліпшене охолодження і

термальний менеджмент, важливі для підтримки балансу між продуктивністю і енергоспоживанням.

4. **Дослідження та розробки.** Компанії постійно проводять дослідження та розробки для підвищення енергоефективності процесорів, зокрема виявлення нових технологій і методів, які дозволяють зменшити споживання енергії без втрати продуктивності.

3.6.2. Оптимізація використання ресурсів

Оптимізація використання ресурсів – ключовий аспект для підвищення ефективності комп'ютерних систем. Використання алгоритмів управління енергією та динамічне керування частотою дозволяють зменшити споживання енергії, підвищити ефективність системи та забезпечити баланс між продуктивністю й енергоспоживанням. Ці технології сприяють розробці сучасних систем, які є не тільки потужними, але і енергоефективними.

Алгоритми управління енергією

1. **Адаптивне керування енергоспоживанням:**

Адаптивні алгоритми управління енергією змінюють параметри системи (таких як частота процесора, напруга живлення, режими енергозбереження) залежно від навантаження та інших факторів. Це допомагає знижувати споживання енергії при низькому навантаженні та підвищувати продуктивність при високому навантаженні.

Зменшує споживання енергії без суттєвого впливу на продуктивність системи, особливо у випадках, коли система не виконує інтенсивні завдання.

2. **Стратегічне управління живленням:**

Цей тип алгоритмів забезпечує оптимальне розподілення ресурсів між різними компонентами системи, такими як процесор, пам'ять і периферійні пристрої. Включає в себе такі стратегії, як розподіл енергетичних ресурсів на основі важливості і терміновості завдань.

Поліпшує загальну енергоефективність системи, запобігаючи надмірному споживанню енергії окремими компонентами.

3. Прогнозування навантаження:

Алгоритми прогнозування навантаження використовують дані про історичні навантаження для передбачення майбутніх потреб у ресурсах. Це дозволяє заздалегідь підготувати систему до можливих піків навантаження і зменшити споживання енергії під час спокійних періодів.

Зменшує кількість енергії, витраченої на непотрібні процеси, і підвищує ефективність управління ресурсами.

Динамічне керування частотою

1. Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS):

DVFS дозволяє динамічно змінювати частоту процесора і напругу живлення залежно від навантаження. Це забезпечує зменшення енергоспоживання, коли система не використовує всю свою обчислювальну потужність, і забезпечує потрібну продуктивність, коли вона необхідна.

Допомагає знижувати споживання енергії при низькому навантаженні, забезпечуючи водночас необхідну продуктивність при високих навантаженнях.

2. Перемикання між режимами продуктивності:

Системи можуть підтримувати різні режими продуктивності, наприклад, режим високої продуктивності, збалансованого режиму і режиму енергозбереження. У кожному з цих режимів процесор використовує різні налаштування частоти і напруги, щоб відповідати вимогам завдань.

Дозволяє системі оптимізувати використання енергії відповідно до поточних потреб у продуктивності, що забезпечує ефективне споживання енергії.

3. Адаптивне масштабування частоти:

Адаптивне масштабування частоти змінює частоту процесора в реальному часі на основі моніторингу навантаження та термічних умов. Це можуть бути механізми, які автоматично знижують частоту, якщо температура процесора перевищує певний поріг.

Допомагає запобігти перегріванню та знижує споживання енергії при менш інтенсивних завданнях.

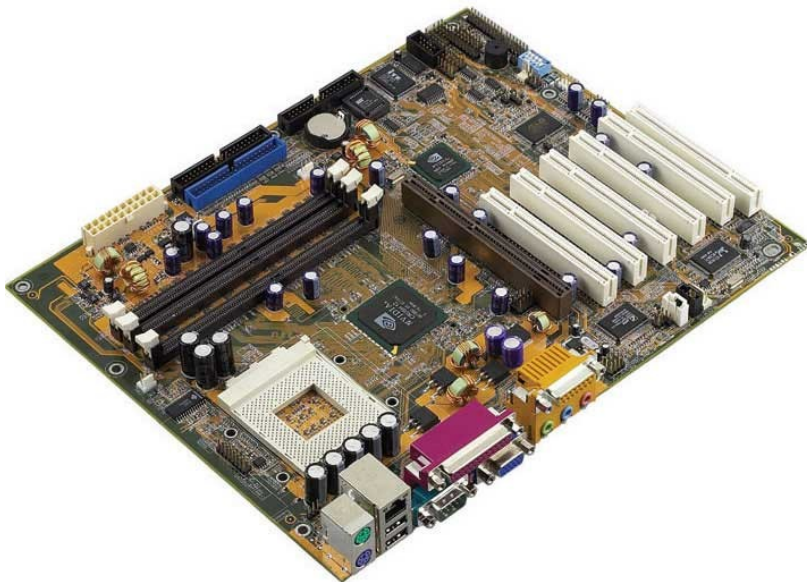
4. Материнська плата

Материнська плата – основа всього комп'ютера, і її важливість важко переоцінити. Вона є центральним компонентом ПК, до якого під'єднуються всі інші частини комп'ютера, забезпечуючи їх взаємодію [14]. Материнська плата (також відома як системна, або головна плата) слугує фундаментом не лише для персональних комп'ютерів, але і для смартфонів, гральних консолей та інших пристроїв.

Основні компоненти материнської плати:

- Процесор
- Шини
- Чіпсети (контролери)

Розглянемо ці компоненти детальніше.



4.1. Класифікація системних плат за форм-фактором

Форм-фактор системної плати визначає її фізичні розміри, місця кріплення в корпусі, розташування інтерфейсів, портів вводу/виводу, сокета процесора і слотів для оперативної пам'яті

[16]. Форм-фактор також вказує тип роз'єму для підключення блоку живлення.

Форм-фактори мають рекомендаційний характер, але більшість виробників дотримується стандартів для забезпечення сумісності з устаткуванням інших виробників. Ось деякі з основних форм-факторів:

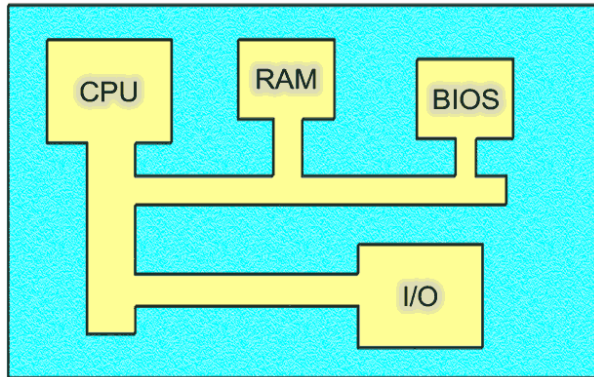
- **Застарілі:** AT, Baby-AT, LPX, Mini-ATX
- **Сучасні:** ATX, microATX, Flex-ATX, NLX, WTX
- **Впроваджені:** Mini-ITX, Nano-ITX, Pico-ITX, BTX, MicroBTX, PicoBTX

Існують також системні плати, які не відповідають жодному з існуючих форм-факторів. Це може бути результатом спеціалізації комп'ютера, бажання виробника використовувати власні компоненти або відмови від стандартів.

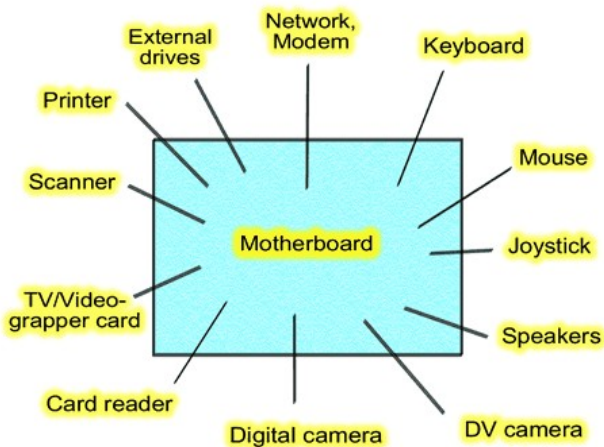


4.2. Обмін даними на материнській платі

Материнська плата є великою друкованою платою з безліччю мікросхем, роз'ємів та електронних пристроїв. Уся інформація в комп'ютері передається через материнську плату, яка є центром обробки даних [16]. Тут відбувається постійний обмін даними між різними компонентами, такими як процесор, оперативна пам'ять і периферійні пристрої.



Обмін даними на материнській платі



Материнська плата є хабом обміну даними

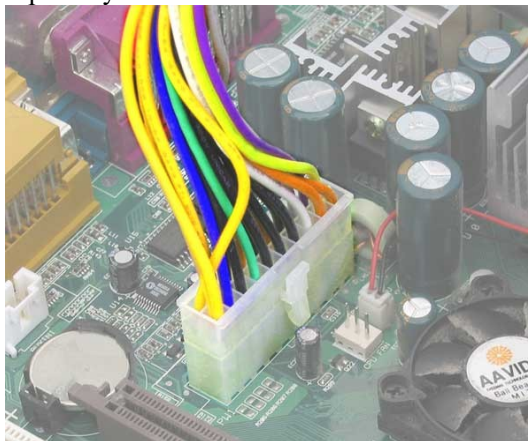
4.3. Основи материнської плати

Розглядаючи материнську плату, можна ідентифікувати різні компоненти, такі як чіпи, роз'єми та конектори. Материнська плата виготовляється з діелектрика (найчастіше склотекстоліту), на якому нанесені електричні провідники. Сучасні материнські плати багатошарові, що ускладнює їх ремонт.

Материнська плата встановлюється в коробку ПК за допомогою невеликих пластикових/металевих кронштейнів і гвинтів.



Корпус і материнська плата зроблені, щоб збігатися один з одним, там є отвори в металі для кріплення плати. Нарешті, материнська плата повинна бути під'єднана до джерела живлення ПК, встановленого в корпусі. Це робиться за допомогою стандартного роз'єму:



Блок живлення під'єднується до материнської плати через різнокольоровий кабель і великий білий пластиковий роз'єм

4.4. Чіпи

Материнська плата містить різноманітні чіпи, що виконують різні функції:

- **Мікросхеми ROM:** зберігають BIOS та інші програми.
- **Пам'ять CMOS:** містить користувацькі дані для програм установки.
- **Набір мікросхем (чіпсет):** складається з контролерів для управління різними функціями.
- **Контролери пристроїв.**

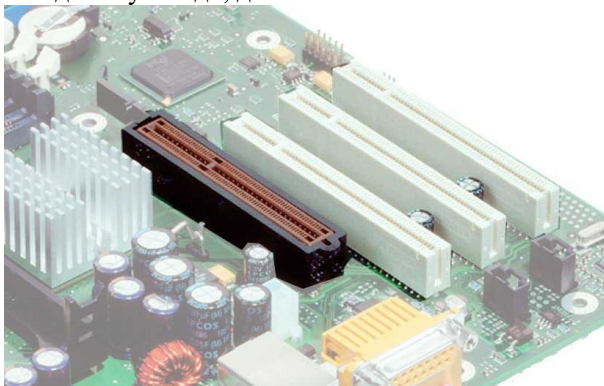
4.5. Роз'єми (сокети)

Роз'єми на материнській платі призначені для під'єднання компонентів без використання спеціальних інструментів. Роз'єми побудовані так, щоб точно відповідати карті або чіпу.

Є ряд компонентів, які під'єднуються безпосередньо до системної плати. Наприклад, є роз'єми (слоти) для монтажу:

- Процесор і оперативна пам'ять (модулі оперативної пам'яті).
- Плати розширення, так звані адаптери (PCI, AGP, слоти AMR і т.д.).

Ідея роз'єму в тому, що можна встановити компонент безпосередньо на системній платі без необхідності використання спеціальних інструментів. Компонент має бути вставлений акуратно і надійно у гніздо, де потім залишається.



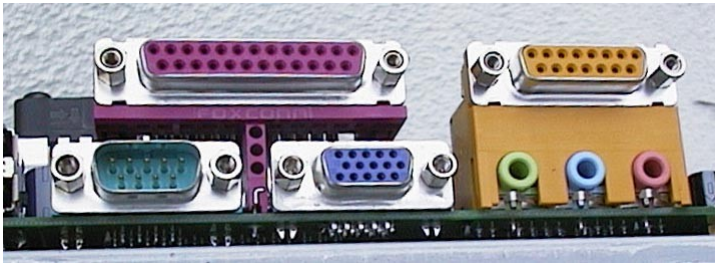
Три PCI роз'єми (білого кольору), у які можуть бути встановлені карти розширення

4.6. Конектори та порти

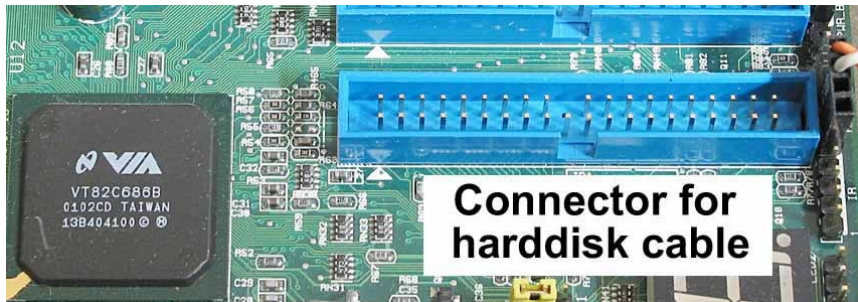
Материнська плата містить різноманітні конектори і порти для під'єднання обладнання:

- **Порти вводу/виводу:** PS/2 для клавіатури та миші, USB-порти, послідовні порти COM, паралельні порти LPT.
- **Роз'єми для аудіо:** для навушників, мікрофона тощо.

Часто різні роз'єми припаяні до материнської плати, так що зовнішні компоненти (клавіатура, миша, принтер, колонки та ін.) можуть бути під'єднані безпосередньо до системної плати.



Коннектори (роз'єми) змонтовані на материнській платі



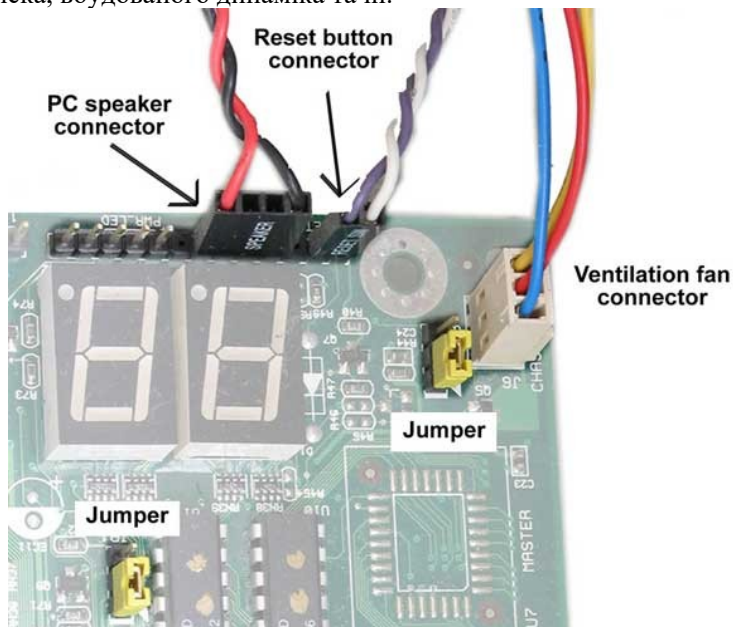
Конектор може бути масивом пінів, до якого підходить спеціальний кабель

Додатково до сокетів, конекторів і портів, материнська плата містить ряд інших контактів. До них належать:

- Великий роз'єм, який забезпечує материнську плату потужністю від джерела живлення.
- Інші роз'єми для під'єднання дисководу гнучких дисків, жорсткий диск, CD-ROM диск та ін.

- Так звані перемички, які використовуються на деяких материнських платах для налаштування напруги і різних параметрів роботи та ін.

- Ряд пінів (pins), використовуваних для під'єднання кнопки увімкнення, перезавантаження, LED для активності жорсткого диска, вбудованого динаміка та ін.

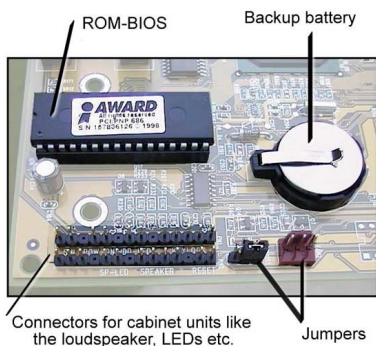


Крихітні коннектори і перемичачі, що малопомітні серед інших

Мікросхема ПЗП BIOS (Brand Award), містить невеликий набір програм (програмне забезпечення), які постійно зберігаються на материнській платі і використовуються, наприклад, коли комп'ютер запускається.

У нижньому лівому кутку можна побачити два ряди пінів, які з'єднуються, наприклад, з маленьким динаміком усередині корпусу. У правому нижньому кутку можна побачити перемичач.

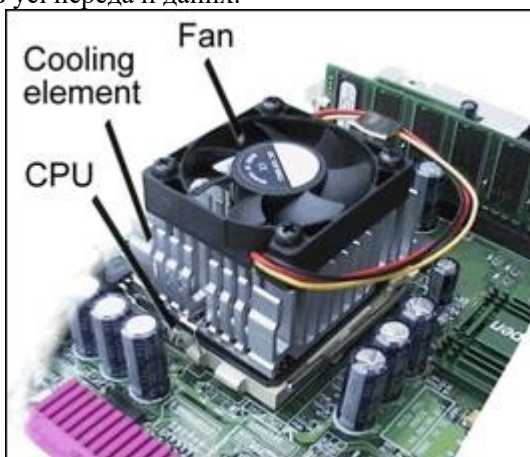
Круглий предмет на рис. - батарея материнської плати, яка підтримує функцію годинник і будь-які настройки, збережені в пам'яті CMOS.



Далі будемо описувати материнську плату. Але спочатку глянемо на архітектуру материнської плати і центральні компоненти на ній.

4.7. Процесор

Є два основні компоненти для вивчення на материнській платі: CPU і шини. Процесор виконує всю обробку даних, а шини обробляють усі передачі даних.



Процесор, установлений на материнській платі, прихований під охолоджуючим вентилятором і радіатором

Причина, через яку процесор називають процесором, та, що він може працювати з даними. І у нього є два важливих завдання:

- Він може робити обчислення.
- Він може переміщати дані.

Процесор дуже швидкий при виконанні обох завдань. Чим швидше процесор може виконувати обчислення і переміщати дані, тим швидший ПК. Є три способи підвищення продуктивності роботи комп'ютера:

- Вища тактова частота (що означає більше тактів у секунду).
- Вища ширина шини.
- Оптимізувати ядро процесора та інших компонентів так, щоб максимальний обсяг роботи проводився для кожного такту.

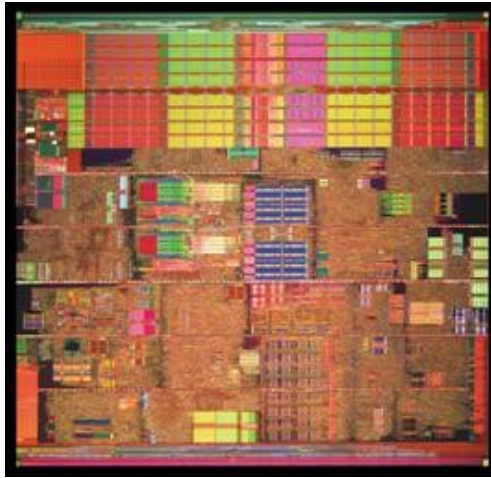
Це може привести до більшої пропускної здатності, яка необхідна для всього ПК. Весь процес розробки зосереджений навколо материнської плати, особливо CPU. Але вся електроніка повинна бути у змозі йти в ногу з високими темпами, і це те, що робить материнську плату настільки захоплюючою.

Процесор фізично досить малий. За своєю суттю це електронна схема (кристал), яка не більша, ніж ніготь.



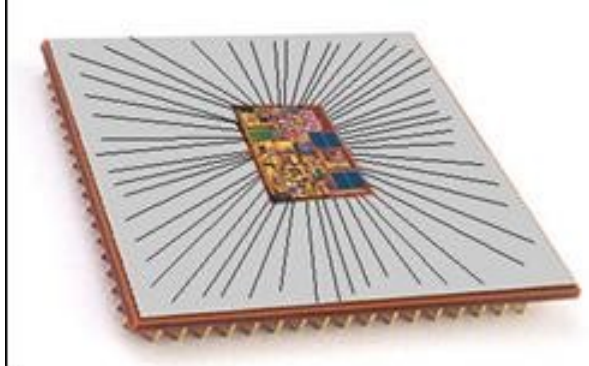
Кристал процесора - посередині чіпа (AthlonXP)

Незважаючи на невеликі розміри, процесор містить дуже багато транзисторів. Кристал Pentium 4 CPU містить 125 мільйонів транзисторів. Розмір кристала близько 1 см х 1 см:



Збільшена схема процесора (кристал)

Електронна схема розміщується в набагато більшому корпусі. Це робиться для того, щоб звільнити місце для всіх електричних контактів, які використовуються для з'єднання процесора до системної плати.



Окремі контакти називаються пінами, а центральний процесор може мати 478 з них (для Pentium 4) і набагато більше для

сучасних [6]. Велика кількість пінів означає, що гніздо має бути відносно великим.



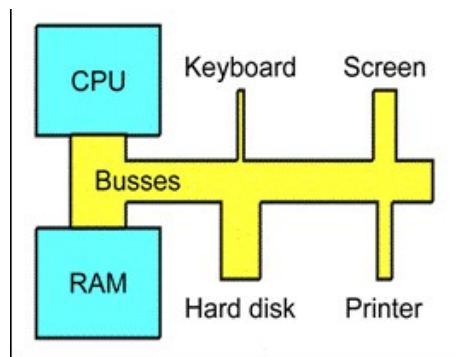
Нижня сторона (Pentium 4) CPU

Центром обробки даних персонального комп'ютера є процесор. Але процесор не самотній у цьому світі, він спілкується з іншою частиною материнської плати.

4.8. Шини

Пакети даних (8, 16, 32, 64 або більше бітів одночасно) постійно переміщуються взад і вперед між процесором і всіма іншими компонентами (RAM, жорсткий диск і т.д.). Ці передачі відбуваються за допомогою шин.

Материнська плата розробляється навколо деяких потужних каналів передачі даних (шин). Саме ці шини з'єднують усі



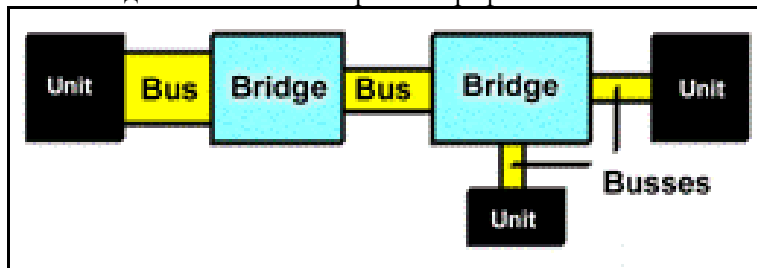
компоненти один з одним.

Шини є каналами передачі даних, які з'єднують компоненти ПК разом. Деякі з них призначені для невеликих передач, інші – для великих.

Існує не тільки одна шина на материнській платі, їх кілька. Але всі вони пов'язані, так що дані можуть переміщуватись від однієї до іншої, і, отже, досягти найдаальших кутків материнської плати.

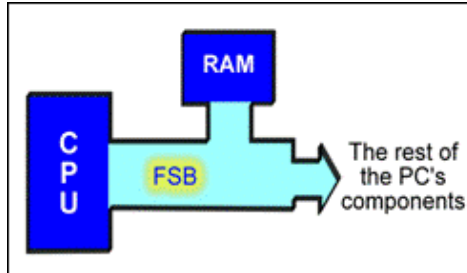
Можна сказати, що системна шина розділяється на кілька гілок. Деякі компоненти ПК працюють з величезними обсягами даних, тоді як інші працюють набагато повільніше. Наприклад, клавіатура посилає кілька байт у секунду, тоді як робоча пам'ять (RAM) може передавати і приймати кілька десятків гігабайт у секунду. Отже неможливо прикріпити RAM і клавіатуру до однієї шини.

Дві шини з різною продуктивністю (пропускною здатністю) можуть бути під'єднані, якщо помістити контролер між ними. Такий контролер часто називають мостом, оскільки він працює мостом між двома системами з різним трафіком.



Мости з'єднують різні шини разом

Уся системна шина починається близько до CPU, де навантаження (трафік) найбільше. Тому шини працюють назовні в напрямку до інших компонентів. Найближче до CPU знаходиться робоча пам'ять. Оперативна пам'ять є компонентом, який має найбільший трафік даних, тому вона пов'язана безпосередньо з процесором особливо потужною шиною. Вона називається FSB, або (у старих системах) системною шиною.



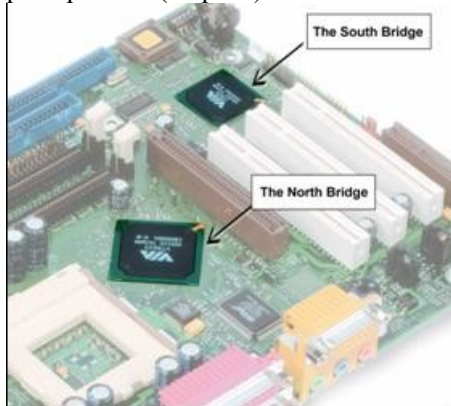
Найважливіша шина ПК відповідає за трафік між процесором і оперативною пам'яттю

Шини, що з'єднують плати у периферійних пристроях ПК називаються шинами вводу/виводу. Вони керуються контролерами.

4.9. Набір мікросхем (чіпсет)

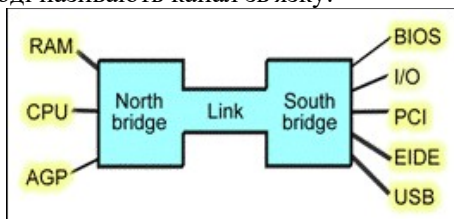
Шини материнської плати регулюються рядом контролерів [18]. Це невеликі схеми, розроблені, щоб виконувати певну роботу, наприклад переміщення даних в і з пристроїв IDE (жорсткий диски і т.д.).

Дефкі контролери необхідні на материнській платі, оскільки існує багато різних типів апаратних пристроїв, які повинні мати можливість спілкуватися один з одним. Більшість із цих функцій контролера згруповані в кілька великих мікросхемах, які разом складають набір мікросхем (chip set).



Дві мікросхеми, які складають набір мікросхем і з'єднують шини материнської плати

Найпоширенішою архітектурою чіпсета є набір з двох чіпів, які називають північний і південний мости, з'єднані потужною шиною, яку іноді називають канал зв'язку:



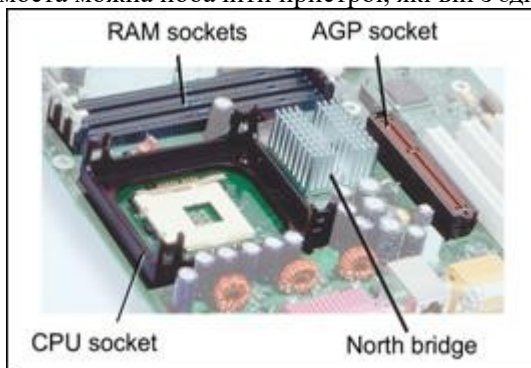
Північний міст і південний міст розділяють роботу керування трафіком даних на материнській платі.

- **Північний міст:** контролює передачу даних між процесором, RAM і відеокартою (AGP або PCI Express).
- **Південний міст:** управляє передачами до/з жорсткого диска й інших пристроїв вводу/виводу.

4.9.1. Північний міст

Північний міст - це контролер, який керує потоком даних між CPU і RAM, і AGP-портом (PCI Express) [14].

На рис. можна побачити північний міст, який має великий радіатор, приклеєний до нього. Він стає гарячий, тому що часто проходять через нього великі обсяги трафіка даних. Навколо північного моста можна побачити пристрої, які він з'єднує:



Північний міст і його найближче оточення. Багато трафіку проходить через північний міст, тому використано радіатор.

AGP фактично є портом вводу/виводу. Він використовується для відеокарти. На відміну від інших пристроїв вводу/виводу, AGP порт під'єднаний безпосередньо до північного мосту, бо він повинен бути якомога ближче до оперативної пам'яті, наскільки це можливо.

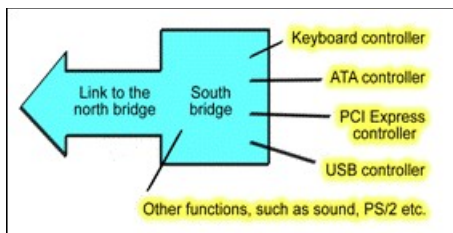
Те ж стосується і порту x16 PCI Express, який є заміною AGP у нових системних платах.

У сучасних системах північний міст повністю інтегрований в процесор. А для під'єднання відеокарти використовується PCIe.

4.9.2. Південний міст

Південний міст виконує багато різних функцій контролера. Він контролює передачу даних до/з жорсткого диска і всіх інших пристроїв вводу/виводу та передає ці дані в канал зв'язку який з'єднується з північним мостом.

На рис. явно видно, що південний міст фізично знаходиться близько до слотів PCI, які використовуються для пристроїв вводу/виводу.



Південний міст чіпсета поєднує в собі ряд функцій контролера в одному чіпі

4.10. Різні варіанти чіпсетів

Спочатку лише Intel постачала набори мікросхем для материнських плат. Це було цілком природно, оскільки Intel знала все про власні процесори і могла виробляти чіпсети, що відповідали їм. Але з виходом процесорів Pentium II і III інші компанії почали виходити на цей ринок. Тайванська компанія VIA виробляла чіпсети для процесорів як AMD, так і Intel, які використовувались у великій кількості плат.

Інші компанії, такі як SiS, NVIDIA, ATI та ALI, також виробляли чіпсети, але їх використання було менш поширеним.

Виробник процесорів AMD виробляє деякі чіпсети для своїх процесорів, але також тісно співпрацює з VIA як основним постачальником чіпсетів для системних плат Athlon.

Оскільки всі передачі даних управляються двома мостами чіпсета, чіпсет є найважливішим компонентом материнської плати. Тому нові набори мікросхем постійно розробляються. Набір мікросхем визначає межі для тактових частот шини, ширини шини тощо. Вбудовані в чіпсет контролери також відповідають за під'єднання пристроїв вводу/виводу, таких як жорсткі диски і USB-порти. Отже, набір мікросхем також визначає, які типи пристроїв можуть бути під'єднані до комп'ютера.



Дві мікросхеми, які складають типовий набір мікросхем. Модель P4X266A VIA, яка використовувалася в ранніх материнських платах для Pentium 4 процесорів

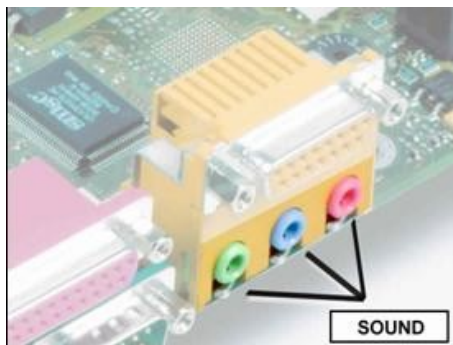
Розробки призвели до того, що виробники чіпсетів почали інтегрувати все більше функцій у набори мікросхем, що допомагає знизити кількість окремих компонентів і зменшити вартість системи.

Ці функції, як правило, охоплюють:

- Відеокарту (вбудовану в північний міст)
- Звукову карту (у південному мості)
- Модем (у південному мості)
- Мережеві інтерфейси, USB

Раніше ці функції управлялися окремими пристроями, як правило, картами розширення, які під'єднувалися до ПК. Однак

було виявлено, що ці функції можуть бути інтегровані безпосередньо в чіпсет.



Материнська плата з вбудованою звуковою картою

Протягом багатьох років Intel вдалося розробити відмінні мережеві карти (Ethernet 10/100 Mbps). Тому було природно, що компанія інтегрувала цю функціональність у свої чіпсети. Що стосується звукових можливостей чіпсета, то вони не можуть зрівнятися з "реальними" звуковими картами. Однак звукові функції працюють задовільно, якщо потрібно під'єднати лише пару невеликих колонок до ПК. Тож не варто очікувати високої якості звуку.

Багато наборів мікросхем також постачаються з вбудованою відеокартою. Перевага цього очевидна – економія коштів. Проте якість вбудованої відеокарти не може зрівнятися з окремою, високоякісною відеокартою. Якщо не потрібна підтримка кількох екранів, DVI для плоских моніторів, висока продуктивність у 3D для ігор чи ТВ-вихід, інтегрований графічний контролер може справитися із завданням.

Важливо, що інтегровані звукові та графічні функції можуть бути від'єднані, щоб дозволити встановлення окремих звукових карт або відеокарт.

Перший набір мікросхем Intel з інтегрованою графікою (i810) не допускав установлення додаткової відеокарти, що було непрактично, оскільки користувачі були обмежені лише вбудованим відео. У наступному наборі мікросхем (i815) ця проблема була розв'язана [25].

5. Еволюція чіпсетів материнських плат

Поява нових моделей процесорів супроводжується випуском нових, більш продуктивних чіпсетів з поліпшеною архітектурою та розширеним спектром функціональних можливостей. Однак успішні моделі попереднього покоління спеціалізованих наборів не завжди відразу поступаються місцем своїм більш досконалим наступникам.

Функціональні можливості комп'ютера, такі як показники його продуктивності, залежать не тільки від центрального процесора, але й від інших комплектуючих. Центральне місце серед них займає материнська плата, основою якої є спеціалізований набір системної логіки – чіпсет [1].

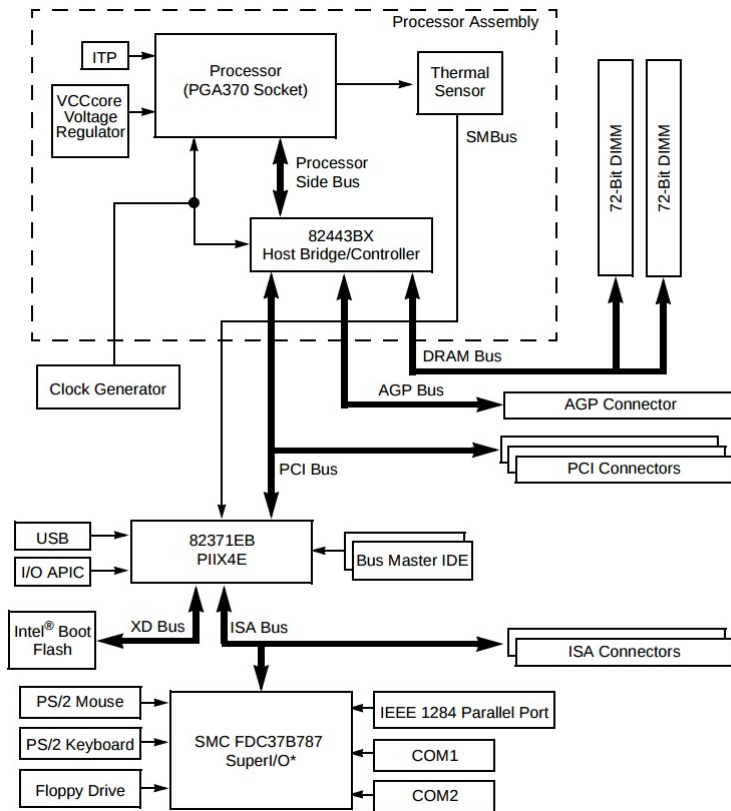
Чіпсет забезпечує роботу основних підсистем за допомогою інтегрованих у його склад контролерів. До таких підсистем належить процесор, відеоадаптер, оперативна пам'ять, доступ до яких здійснюється через спеціалізовані шини – шину процесора (FSB), відеоадаптера (AGP Bus), пам'яті (Memory Bus). Керуючи роботою цих шин, чіпсет оптимізує основні інформаційні потоки в комп'ютері, використовуючи розвинені механізми арбітражу, буферизації тощо.

Від досконалості архітектури чіпсета та його здатності справлятися з покладеними на нього функціями залежить ефективність роботи інших елементів комп'ютера, а в кінцевому підсумку – загальна продуктивність системи. Сучасні чіпсети характеризуються дуже складною внутрішньою структурою, і їх архітектура часто знаходиться на межі існуючих електронних технологій. Тому виробництвом цих елементів займаються великі компанії, які також займаються виробництвом процесорів або роблять свій внесок у їх розробку. Це пояснюється складністю завдань, що вирішуються такими елементами, без ефективної роботи яких неможлива реалізація потенційних можливостей процесорів.

Саме тому в основу і процесорів, і чіпсетів нерідко покладено подібні архітектурні рішення та технології. Спеціалізовані набори мікросхем, їх внутрішня структура та функціональні можливості повинні бути тісно пов'язані з особливостями архітектури конкретних процесорів, для роботи з якими вони зорієнтовані та яким повинні допомогти реалізувати їх

потенціал. Крім того, такі набори створюються з урахуванням різних конфігурацій комп'ютерів та можливого різноманіття завдань. Використання оптимально спроектованого спеціалізованого набору – чіпсета – є запорукою високої продуктивності комп'ютера, тоді як застосування неоптимального набору мікросхем може призвести до зниження загальної продуктивності та обмеження функціональних можливостей системи [7].

З огляду на все вищесказане, довге життя чіпсета i440BX (i440BX AGPset), розробленого Intel у 1998 році, є вражаючим. Незважаючи на нові процесори, цей набір залишався популярним серед виробників материнських плат і користувачів [20, 25].



5.1. Чіпсет i440BX

Чіпсет i440BX оптимізований для систем на базі процесорів шостого покоління, таких як Intel Celeron, Pentium II і Pentium III [20, 23]. Він підтримує до 1 ГБ оперативної пам'яті і частоту 100 МГц шини FSB.

Як синхронний чіпсет i440BX забезпечує високу продуктивність, хоча при підвищенні частоти до 133 МГц можуть виникати обмеження через подільники частоти для шин AGP і PCI, що іноді вплине на стабільність відеоадаптера.

Чіпсет i440BX складається з двох мікросхем: 82443BX (Host Bridge / Controller PCI AGP) і 82371AB/EB (PCI-TO ISA / IDE Xcelerator).

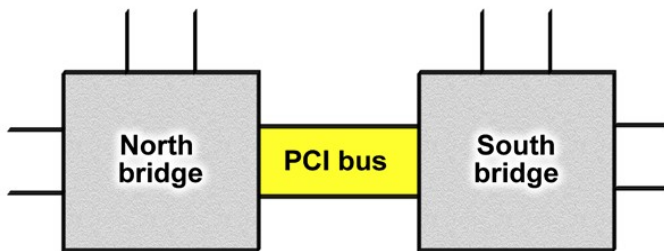
5.2. Чіпсети i810/i815

Із 1997 року приділялося все більше і більше уваги уточненню чіпсета, і не в останню чергу північного моста, який відповідає за передачу даних в і з пам'яті. Південний міст також постійно розроблявся, але акцент був зроблений на додаванні до нього нових можливостей [19].

Для північного моста розвиток був зосереджений на отриманні більшої пропускної здатності між RAM і CPU.

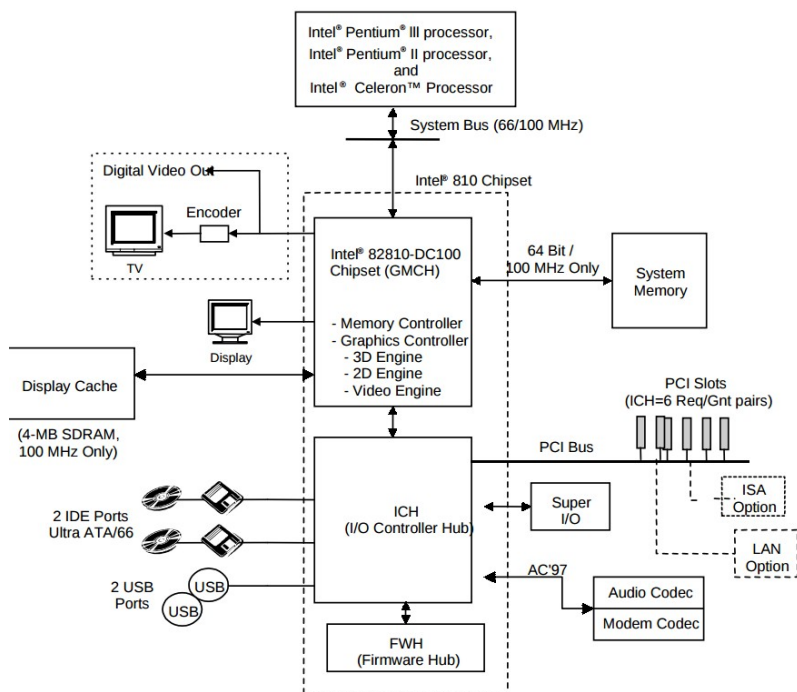
Розглянемо кілька прикладів цього.

У системній платі Pentium II шина введення/виводу безпосередньо пов'язана з системним тактовим генератором. Периферійна шина (тобто на практиці шина PCI) працює на частоті



33 МГц. Це, як правило, третина або чверть системної тактової частоти.

У цій архітектурі (від чіпсета Pentium II), шина PCI з'єднується до двох мостів чіпсета.

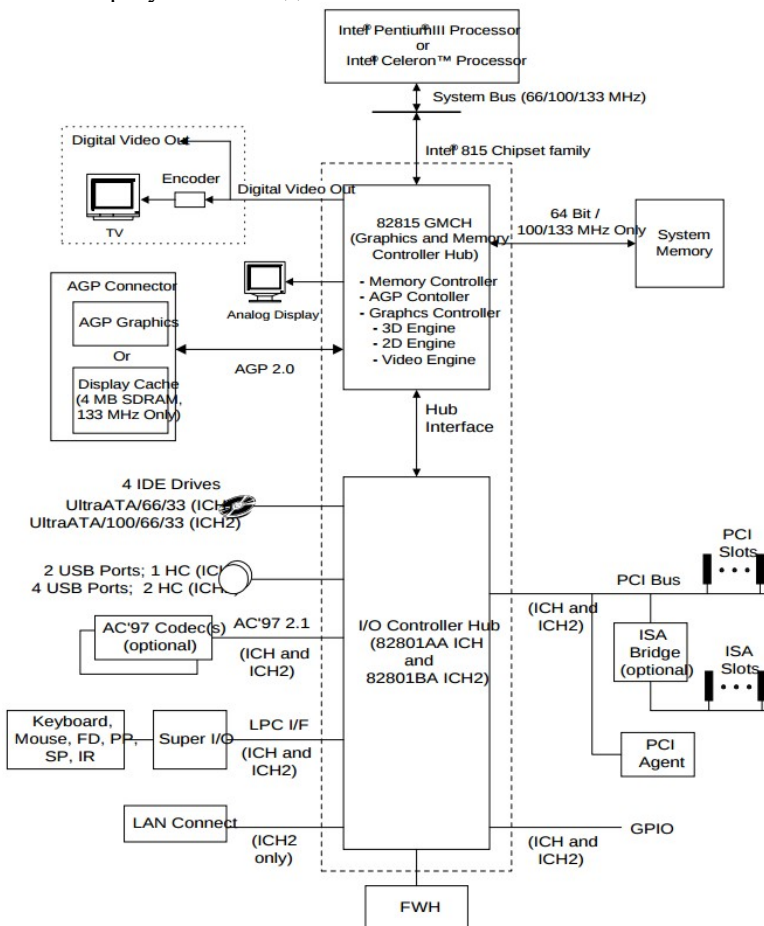


Типова схема материнської плати на чіпсеті i810

У 1998-99 рр. нові розробки впроваджені AMD і Intel. Нова архітектура була введена на основі Memory Controller Hub (MCH) замість традиційного північного моста і I/O Controller Hub (ICH) замість південного моста. Тут використовуємо термінологію Intel. Два чіпи мали інші імена для AMD і VIA, але принцип той же.

Перший набір мікросхем Intel з цієї архітектурою був названий i810 [24]. Але він мав обмеження - відсутня підтримка зовнішньої відеокарти. Наступний чіпсет i815 не мав такого обмеження.

МСН є контролером, який розташований між CPU, RAM і AGP. Він регулює потік даних в і з ОЗП.



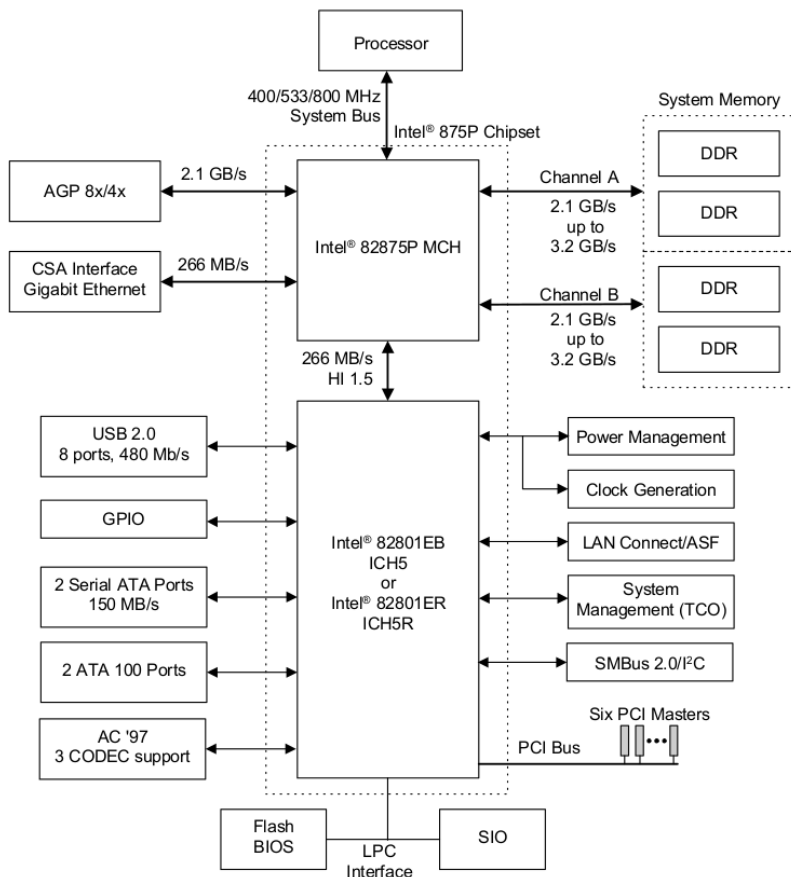
Типова схема материнської плати на чіпсеті i815

Ця нова архітектура має два важливі наслідки:

- Зв'язок між цими двома концентраторами управляється за допомогою спеціальної шини (каналу зв'язку), яка може мати дуже високу пропускну здатність.
- Шина PCI виходить з ICH, тож не доводиться ділити її пропускну спроможність з іншими пристроями.

Нова архітектура використовувалась як для Pentium 4 і Athlon процесорів, так і в чіпсетах від Intel, VIA, і інших.

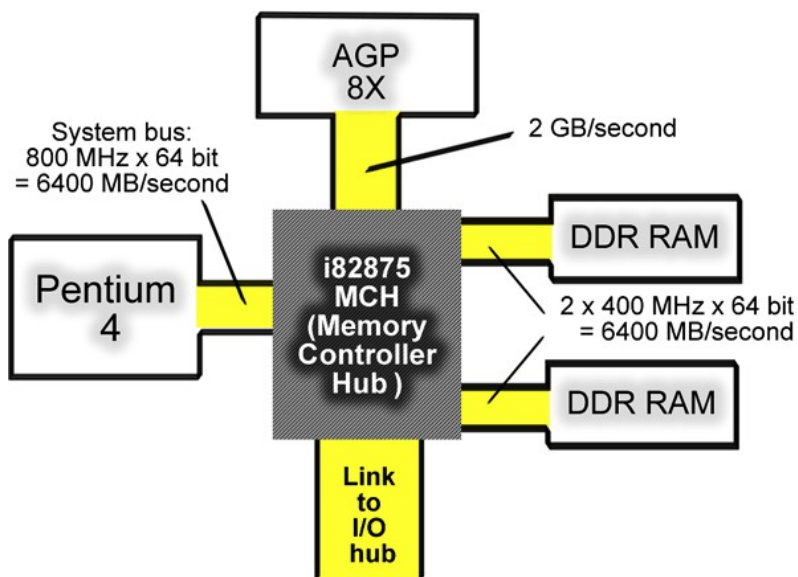
5.3. Чіпсет i875P



У 2003 році Intel випустила чіпсет, який підтримує процесори Pentium 4 і має подвійний канал DDR RAM, кожен з яких працює на частоті 200 МГц. Цей набір мікросхем став дуже популярним завдяки своїй високій продуктивності [16].

Ще однією новинкою цього чіпсета є те, що контролер Gigabit Ethernet має прямий доступ до МСН (північний міст). Традиційно контролер локальної мережі під'єднувався до шини PCI. Однак контролер гігабітної мережі споживає значну пропускну здатність шини, тому було вирішено під'єднати його безпосередньо до північного моста. Цей новий дизайн називається Communication Streaming Architecture (CSA).

Структура Intel® 82875P Memory Controller Hub (MCH) така

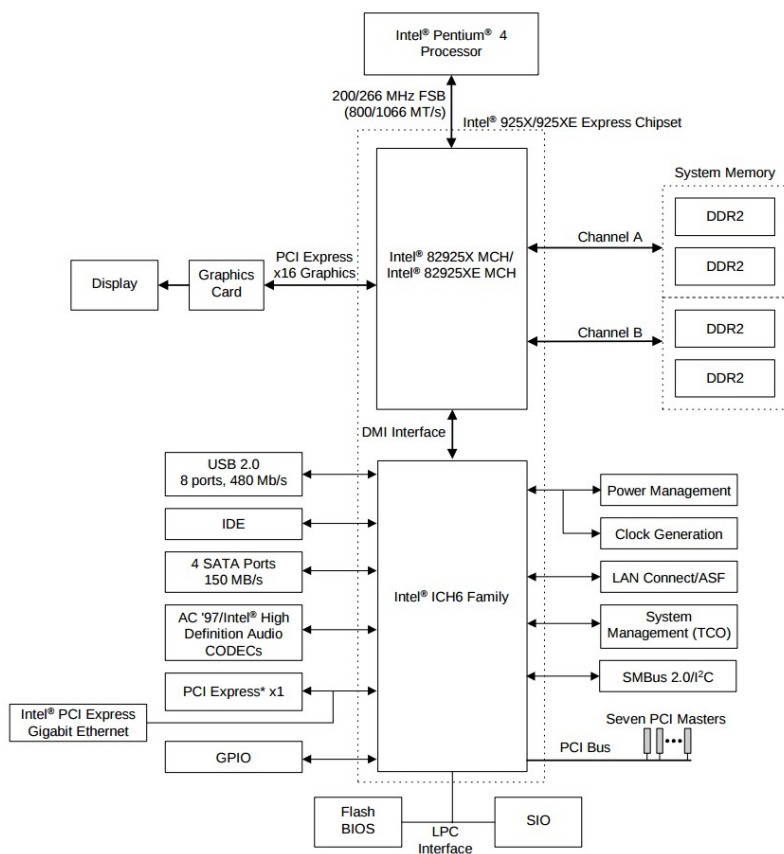
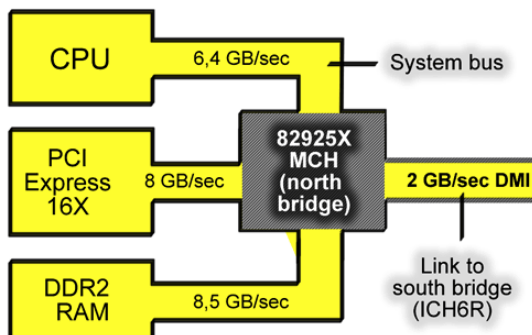


Intel® 82875P Memory Controller Hub (MCH)

5.4. Чіпсет i925

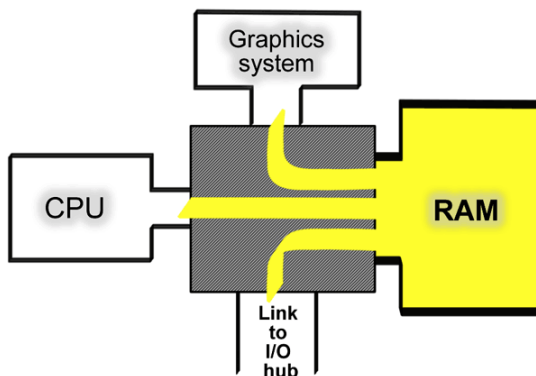
У кінці 2004 року Intel представила нову 900-у серію чіпсетів [23]. Вони були призначені для нового покоління Pentium 4 і Celeron процесорів на основі LGA775 сокету. Набори мікросхем поставляються з підтримкою шини PCI Express, яка замінює шину AGP з підтримкою DDR2 RAM.

Завдяки використанню двоканальної оперативної пам'яті DDR2 пропускну здатність пам'яті піднімається до 8,5 Гб / сек.



5.5. Збільшення пропускної здатності для оперативної пам'яті

Може виникнути спокуса думати, що пропускна здатність оперативної пам'яті повинна бути ідентична пропускній здатності системної шини. Але це не так. Було би справді добре, якби вона була вищою. Це пояснюється тим, що оперативна пам'ять не тільки передає дані до центрального процесора, але й обробляє дані безпосередньо для графічного порту та пристроїв вводу/виводу, минаючи процесор. Тому RAM потребує ще більшої пропускної здатності. У майбутніх архітектурах, таких як Pentium 4 і Athlon XP, наявні потужніші типи оперативної пам'яті, такі як DDR2 з частотою 533 МГц.

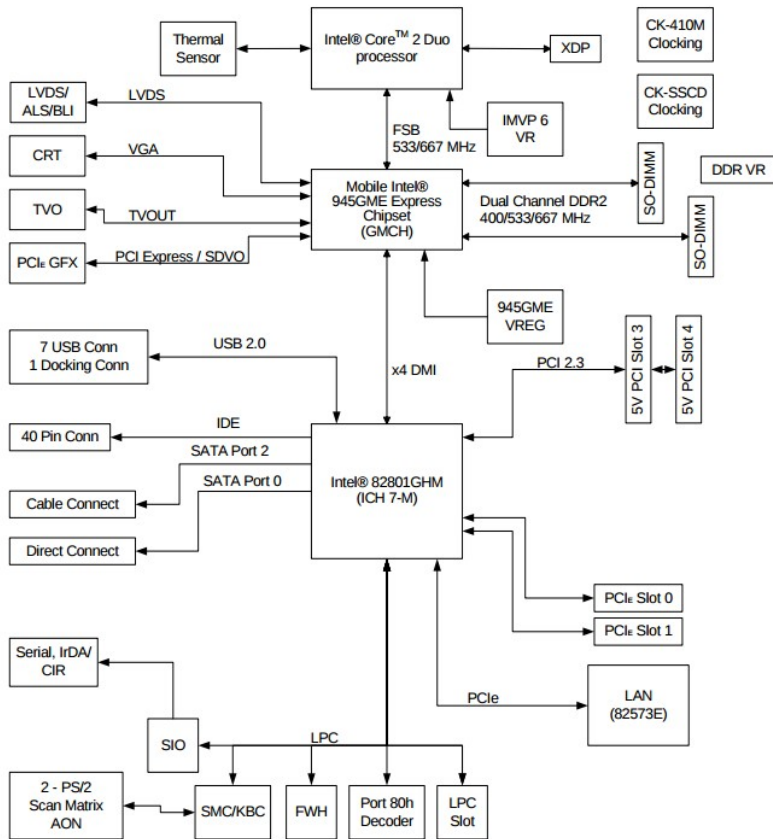


Насправді RAM потребує більшої пропускної здатності, ніж процесор.

Була деяка перевага в розміщенні контролера пам'яті в північному мосту замість того, щоб інтегрувати в сам процесор. На початку 1990-х років напрямок розвитку технології пам'яті не був зрозумілим. Існувало кілька конкуруючих технологій (SDRAM, DDR, інші), кожна зі своїми плюсами і мінусами. Якщо дизайнер процесора вибрав один тип пам'яті й інтегрував у нього, вони застрягли б у цій технології і не могли б вибрати іншу пам'ять для під'єднання процесора, навіть якби й хотіли.

Тому вирішили перенести контролер пам'яті в північний міст. Якщо в будь-який момент будь-хто хотів спробувати різні системи пам'яті, вони могли змінити північний міст. Процесор

залишається той же. Такий підхід забезпечує гнучкість. Однак переміщення контролера пам'яті в північний міст прийшло зі своїм набором проблем. Процесору довелося спілкуватися з північним мостом першим, який спілкувався з пам'яттю. Це збільшення латентності пам'яті та зниження загальної продуктивності системи.



До середини 1990-х років пам'ять DDR почала набувати більшого визнання серед виробників пам'яті. AMD зрозуміла про це вчасно і пішла на ризик переміщення контролера пам'яті у процесор. На початку 2000 року AMD вбудувала контролер пам'яті DDR у серверні процесори Opteron. Intel як і раніше продовжує свій

колишній підхід, його двоядерні і Core 2 Duo процесори не мають інтегрованого контролера пам'яті. Intel відставала в латентності пам'яті. Проте це частково долалося більшими кешами процесора.

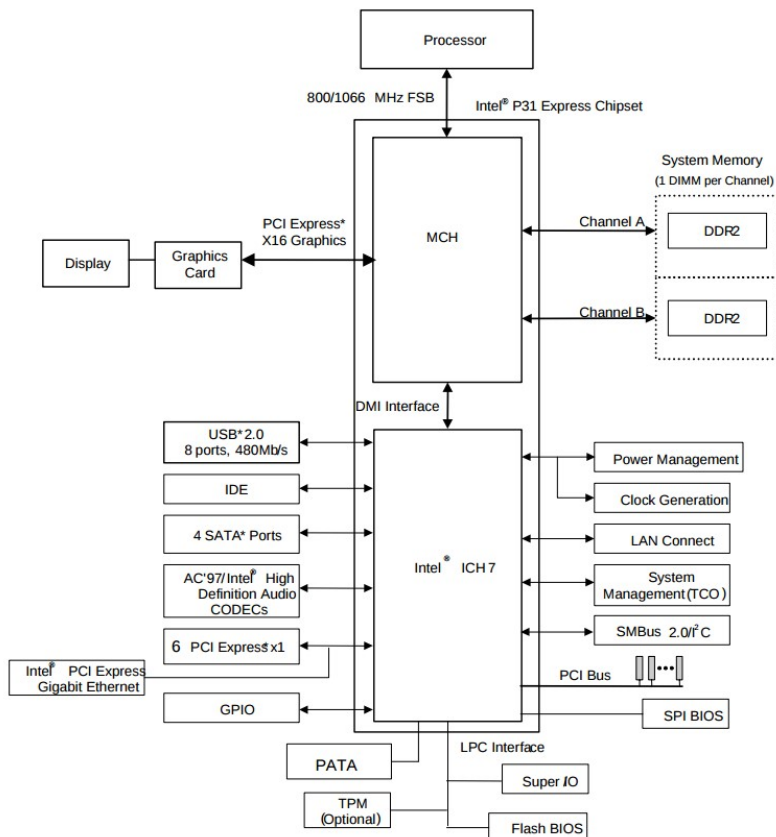
5.6. 2005 – s478, 945G, Pentium 4, Pentium D, Celeron D, Core 2 Duo, Pentium Dual-Core

Intel 945GME – це мобільний чіпсет, розроблений для використання з процесорами Intel Core Duo та Core 2 Duo. Основні особливості цього чіпсету передбачають підтримку двоканальної DDR2 пам'яті, інтегрований графічний процесор Intel GMA 950 з можливістю роботи на частоті 400 МГц, підтримку шини FSB до 667 МГц. Він також має розширені можливості енергозбереження, що робить його оптимальним для ноутбуків та інших портативних пристроїв.

5.7. 2007 – s775, P31 Express, Pentium Dual-Core, Core 2 Duo, Core 2 Quad

Intel P31 Express Chipset підтримує процесори на Socket LGA 775. Цей сокет був поширений у настільних комп'ютерах, зокрема для процесорів Intel Core 2 Duo, Core 2 Quad, Pentium Dual-Core та Celeron. Його основні особливості включають підтримку процесорів з шиною FSB до 1333 МГц, оперативної пам'яті DDR2 до 8 ГБ, а також технології Intel Fast Memory Access для оптимізації продуктивності пам'яті. Підтримка PCI Express обмежена версією 1.1, що забезпечує пропускну здатність до 2,5 ГТ/с (гігатранзакцій в секунду) на лінію. P31 Express був більше зорієнтований на бюджетний сегмент, де головна увага приділялася сумісності з DDR2 і базовим можливостям PCI Express, ніж на розширену підтримку високопродуктивних графічних карт.

Цей чіпсет також підтримує до чотирьох портів SATA для під'єднання жорстких дисків і оптичних приводів, що було достатньо для базових системних потреб користувачів. Крім того, у ньому інтегрована підтримка технології Intel High Definition Audio, що дозволяло забезпечити вищу якість звуку порівняно зі старішими рішеннями. Хоча P31 Express не призначався для ентузіастів або геймерів, він залишався надійним варіантом для побудови доступних настільних ПК, зорієнтованих на повсякденні завдання й офісні застосування.

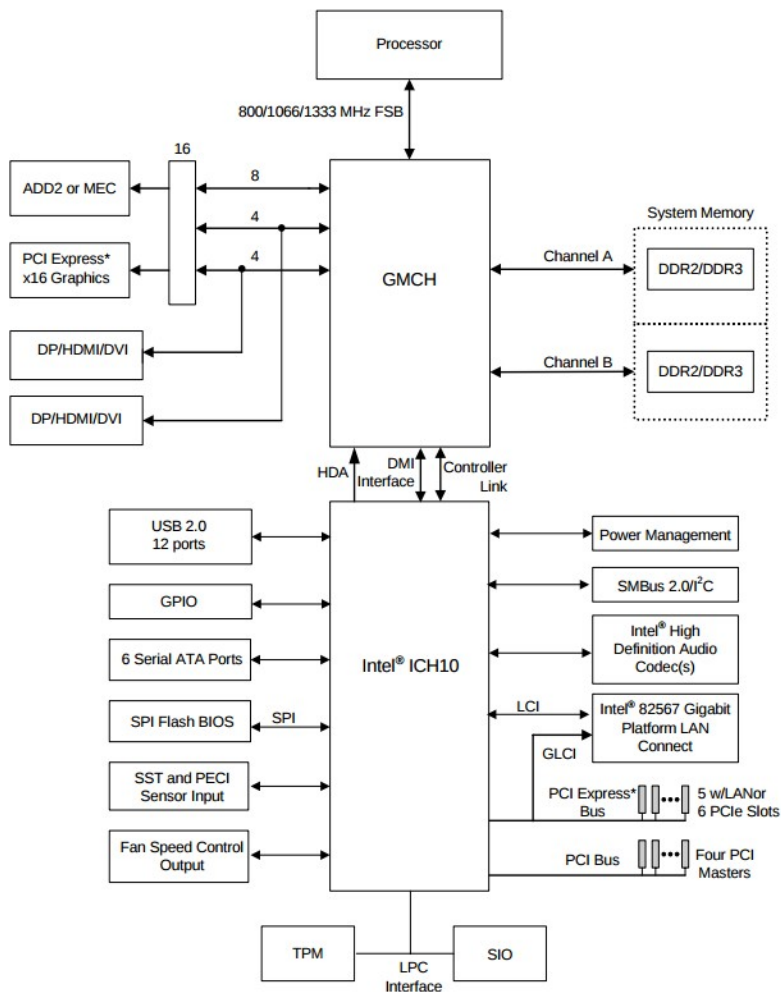


5.8. 2008 – LGA775, P45, Core 2 Duo, Core 2 Quad

У порівнянні з P31, Intel P45 chipset має кілька значних покращень [23]:

- **Підтримка PCI Express 2.0:** P45 підтримує PCIe 2.0 з подвоєною пропускну здатністю порівняно з PCIe 1.1 у P31, що підвищує продуктивність графічних карт та інших периферійних пристроїв.
- **Підтримка двох відеокарт (CrossFireX):** P45 дозволяє встановлення двох графічних карт у конфігурації x8/x8 для режиму CrossFireX, тоді як P31 підтримує лише одну графічну карту.

- **Підтримка швидшої оперативної пам'яті:** P45 підтримує до DDR2-1200 або DDR3-1333, тоді як P31 обмежується DDR2-800.
- **Технологія 65 нм:** P45 виготовлений за більш сучасним техпроцесом 65 нм, що підвищує енергоефективність у порівнянні з P31.



- **Підвищена енергоефективність:** Завдяки новішому техпроцесу й оптимізованій архітектурі P45 має вищу енергоефективність і менше тепловиділення.

У порівнянні з P31, Intel P45 chipset має кілька значних поліпшень [23]:

- **Підтримка PCI Express 2.0:** P45 підтримує PCIe 2.0 з подвоєною пропускну здатністю порівняно з PCIe 1.1 у P31, що підвищує продуктивність графічних карт та інших периферійних пристроїв.
- **Підтримка двох відеокарт (CrossFireX):** P45 дозволяє встановлення двох графічних карт у конфігурації x8/x8 для режиму CrossFireX, тоді як P31 підтримує лише одну графічну карту.
- **Підтримка швидшої оперативної пам'яті:** P45 підтримує до DDR2-1200 або DDR3-1333, тоді як P31 обмежується DDR2-800.
- **Технологія 65 нм:** P45 виготовлений за більш сучасним техпроцесом 65 нм, що підвищує енергоефективність у порівнянні з P31.
- **Підвищена енергоефективність:** Завдяки новішому техпроцесу і оптимізованій архітектурі P45 має вищу енергоефективність і менше тепловиділення.

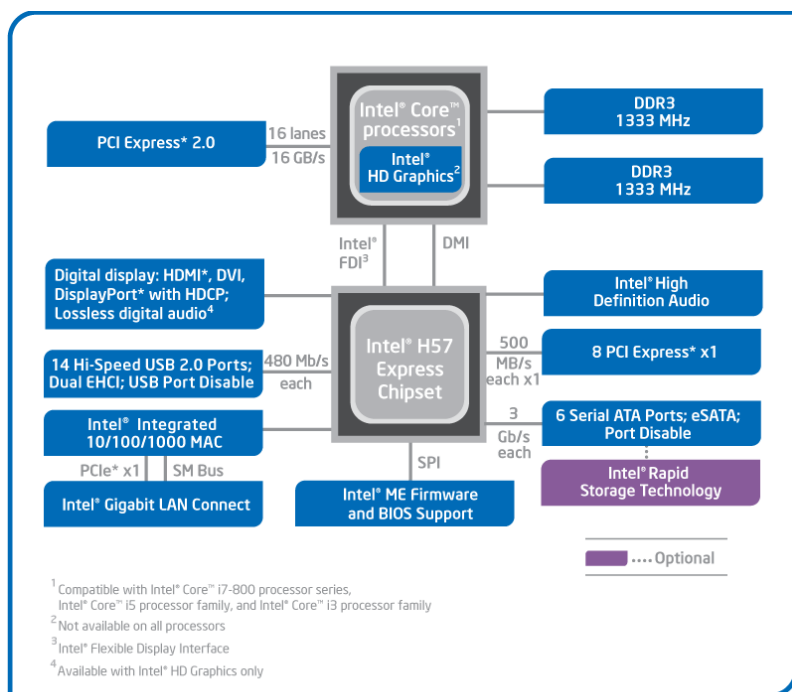
Intel ICH10, що часто використовується разом із чіпсетом P45, має кілька переваг порівняно з ICH7, який використовувався у попередніх чіпсетах:

- **Поліпшена пропускну здатність:** ICH10 має вищу пропускну здатність і підтримує більше USB-портів (до 12 портів USB 2.0) у порівнянні з ICH7, що дозволяє під'єднувати більше периферійних пристроїв.
- **Поліпшена підтримка SATA:** ICH10 підтримує до шести портів SATA 3.0 Гбіт/с з поліпшеною підтримкою RAID (0, 1, 5, 10). ICH7 підтримує лише чотири порти SATA 1.5 Гбіт/с і має обмежену підтримку RAID.
- **Оптимізоване енергоспоживання:** ICH10 має вищу енергоефективність завдяки оновленій архітектурі, що знижує споживання енергії, особливо у режимі простою.
- **Відсутність підтримки PATA:** ICH10 більше не має підтримки PATA (IDE), яка була в ICH7. Це означає, що

ICH10 зорієнтований виключно на SATA, що відповідає сучасним тенденціям відмови від застарілих технологій.

- **Поліпшений звук:** ICH10 пропонує підтримку високо-якісного HD Audio, забезпечуючи ліпшу якість звуку порівняно з попередніми чіпсетами.
- **Покращена підтримка PCI Express:** ICH10 має більше ліній PCIe (6 ліній PCIe 1.1), що забезпечує ліпшу масштабованість для додаткових пристроїв, таких як мережеві карти або контролери.

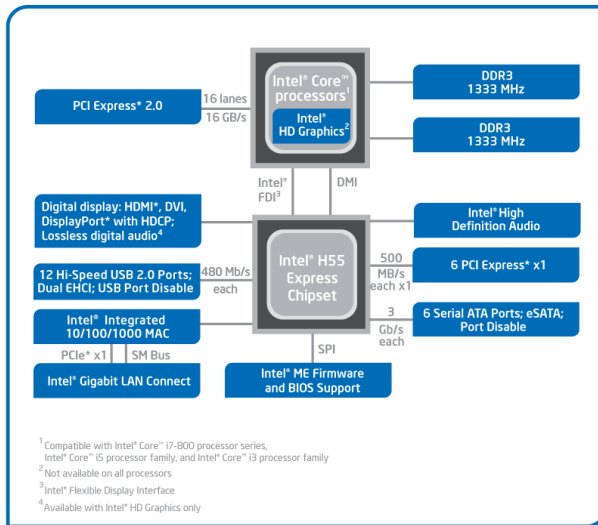
5.9. 2010-2011 – Socket 1156, H57 Express, Lynnfield, Clarkdale



Intel® H57 Express Chipset Platform Block Diagram

Чіпсет Intel H57 Express вніс кілька архітектурних удосконалень у порівнянні з конфігурацією P45 + ICH10 [23]:

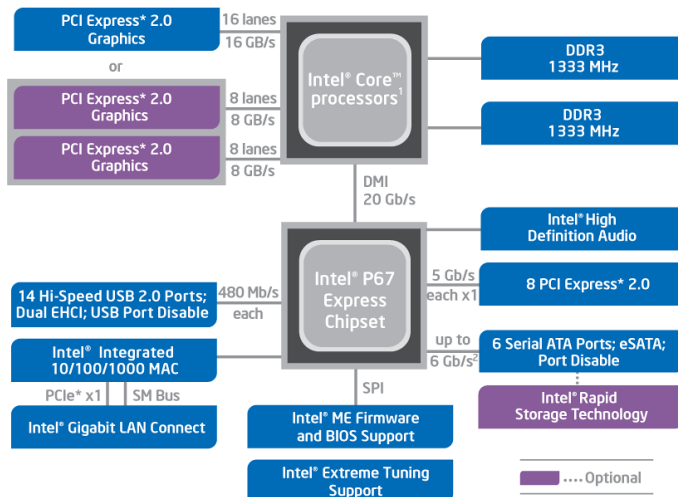
- **Інтеграція контролера пам'яті:** Однією з ключових змін у чіпсеті H57 є інтеграція контролера пам'яті безпосередньо у процесор, чого не було в чіпсеті P45. Ця інтеграція зменшує затримки пам'яті і підвищує загальну продуктивність системи, усуваючи необхідність у мості контролера пам'яті (MCH) у чіпсеті.
- **Підтримка процесорів з інтегрованою графікою:** H57 Express підтримує процесори Intel Core i3, i5, і i7 з вбудованою графікою, що дозволяє використовувати інтегрований відеовихід без необхідності в окремій відеокарті.
- **Direct Media Interface (DMI):** Чіпсет H57 продовжував використовувати DMI для зв'язку процесора з I/O-хабом чіпсету (раніше цю роль виконував ICH10). Однак роль DMI змінилася, оскільки він став основним комунікаційним каналом між процесором і платформовим контролерним хабом (PCH), який об'єднав функції, раніше розподілені між північним і південним мостом у старіших архітектурах.
- **Підтримка Intel FDI:** H57 представив підтримку Intel Flexible Display Interface (FDI), що дозволяє інтегрованій графіці процесора безпосередньо комунікувати з чіпсетом для виходу на дисплей. Це була значна зміна в порівнянні з попередніми чіпсетами, де для виходу на дисплей часто потрібна була дискретна відеокарта.
- **Розширені можливості I/O:** Чіпсет H57 надав більш просунуті можливості I/O, включаючи додаткові порти USB 2.0, більше SATA-портів з підтримкою RAID і збільшену кількість ліній PCI Express у порівнянні з чіпсетом P45.
- **Intel Rapid Storage Technology:** Ця функція була поліпшена, пропонуючи вищу продуктивність і надійність для SATA-під'єднаних накопичувачів, що є удосконаленням у порівнянні з можливостями зберігання даних чіпсета P45 + ICH10.



Intel H55 Express Chipset Platform Block Diagram

H55 Express зосереджений на базових потребах і не має таких функцій RAID або розширеної підтримки USB та SATA.

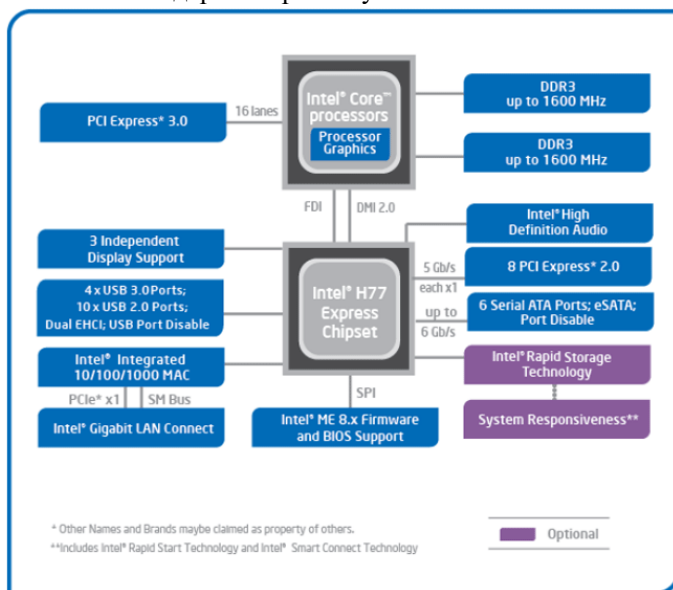
5.10. 2011-2012 – LGA 1155, Sandy Bridge and Ivy Bridge



P67 і H77 для сокетa LGA 1155 принесли кілька нововведень у порівнянні з попередніми чіпсетами [23]:

- **P67:** Основна особливість цього чіпсету – підтримка розгону процесора (overclocking) та розширена підтримка PCI Express 2.0 для графічних карт. P67 не має вбудованого контролера SATA RAID, але забезпечує більше налаштувань для продуктивності і розширення можливостей системи.
- **H77:** Цей чіпсет підтримує стандартні функції без розгону, але передбачає підтримку RAID для SATA дисків. H77 забезпечує додаткові можливості для під'єднання пристроїв, таких як більше USB портів і SATA портів, і має поліпшену інтеграцію з пристроями вводу/виводу, що робить його більш підходящим для стандартних або офісних систем.

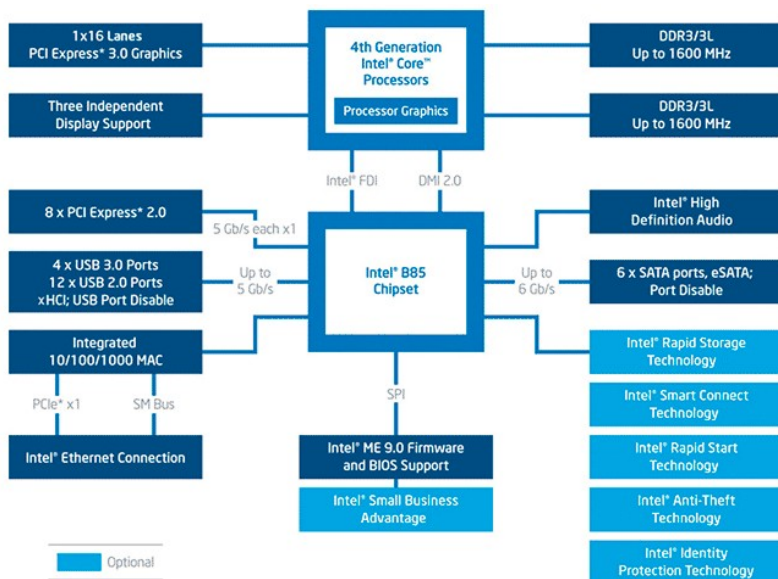
Основна відмінність між ними полягає в тому, що P67 орієнтований на високопродуктивні системи з можливістю розгону, тоді як H77 пропонує більше функціональності для стандартного використання без підтримки розгону.



5.11. 2013-2014 – LGA 1150, Haswell and Haswell

Intel B85 – це чіпсет для сокетів LGA 1150, розроблений для підтримки процесорів четвертого покоління (Haswell) [23]. Основні особливості та нововведення цього чіпсету такі:

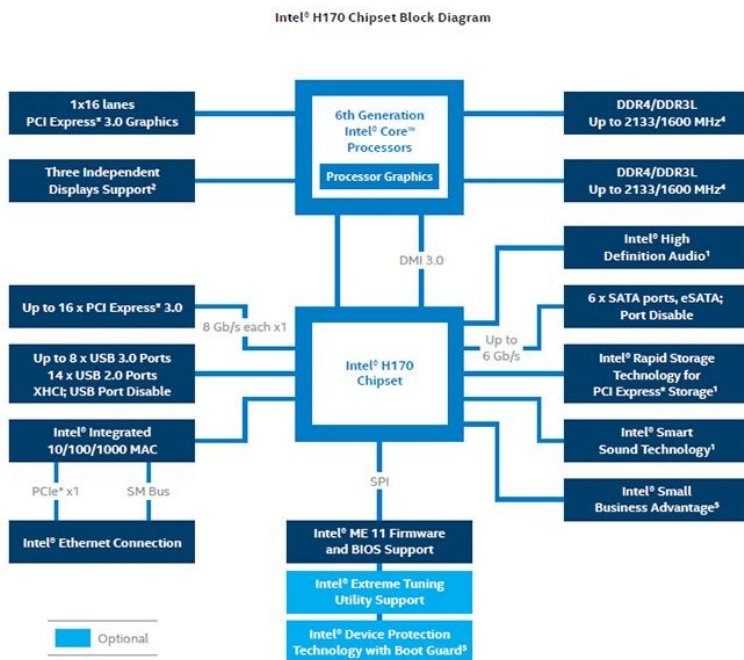
- **Підтримка SATA 6 Гбіт/с:** B85 забезпечує підтримку для швидших інтерфейсів SATA 6 Гбіт/с, що дозволяє підключати швидші SSD і жорсткі диски.
- **Підтримка USB 3.0:** підтримка для кількох портів USB 3.0, що забезпечує високу швидкість передачі даних.
- **Поліпшена підтримка пам'яті:** B85 підтримує до 32 ГБ оперативної пам'яті DDR3-1600, що є підвищенням у порівнянні з попередніми чіпсетами в серії B.
- **Під'єднання пристроїв:** Чіпсет забезпечує гнучкі можливості під'єднання для різних пристроїв вводу/виводу, зокрема через поліпшений контролер PCI Express.
- **Без розгону:** Як і інші чіпсети серії B, B85 не підтримує розгін процесора, тому він більше зорієнтований на стабільні, але невисокопродуктивні системи.



Відмінності від попередніх чіпсетів (наприклад, B75 або H77) – удосконалена підтримка швидкісних інтерфейсів, але відсутність функцій розгону, які були доступні в чіпсетах серії P. B85 пропонує баланс між продуктивністю та функціональністю для стандартних офісних або домашніх систем.

5.12. 2015 – LGA 1151, SkyLake

100 Series чіпсети розроблені разом з процесорами Intel шостого покоління (Skylake) і забезпечують підтримку сокета LGA 1151 [23].



Основні їхні особливості:

1. **Підтримка DDR4:** 100 Series чіпсети підтримують оперативну пам'ять DDR4-2133, що забезпечує підвищену швидкість і ефективність у порівнянні з DDR3.

2. **Поліпшені інтерфейси:** Чіпсети цієї серії підтримують SATA 6 Гбіт/с і USB 3.0, що дозволяє забезпечити швидшу передачу даних.
3. **Підтримка нових стандартів:** Пеоедбачено підтримку нових стандартів, таких як USB 3.1 Gen 1 (5 Гбіт/с) у пізніших моделях, що забезпечує більшу швидкість передачі даних.
4. **Чіпсети серії:** Основні чіпсети 100 Series: Z170, H170, B150, Q150, Q170 та H110.

Intel H170:

1. **Підтримка оперативної пам'яті:** H170 підтримує до 64 ГБ оперативної пам'яті DDR4-2133.
2. **Інтерфейси:** Включає до 6 портів SATA 6 Гбіт/с і до 8 портів USB 3.0.
3. **RAID:** Підтримка RAID 0, 1, 5, 10.
4. **Відсутність розгону:** Як і інші чіпсети серії H, H170 не підтримує розгін процесора.

5.13. 2017 – LGA 1151, KabyLake

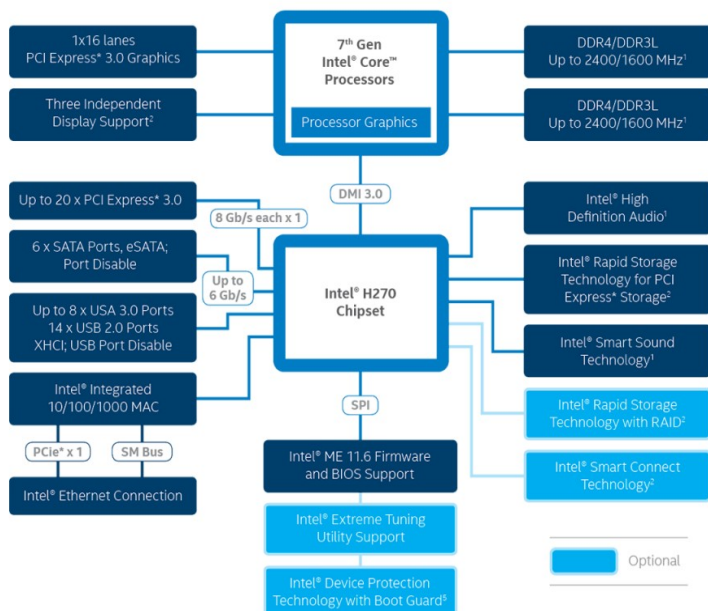
200 Series чіпсети представлені разом з процесорами Intel сьомого покоління (Kaby Lake) і забезпечують підтримку сокета LGA 1151 [23]. Основні їхні особливості:

1. **Підтримка DDR4:** 200 Series чіпсети продовжують підтримувати оперативну пам'ять DDR4, але з можливістю роботи на швидкості до 2400 МГц.
2. **Поліпшена підтримка USB:** Залучення підтримки для USB 3.1 Gen 2 (10 Гбіт/с) у деяких чіпсетах серії забезпечує ще вищу швидкість передачі даних.
3. **Підтримка RAID:** Чіпсети серії 200 також дають удосконалену підтримку RAID-масивів для підвищення продуктивності і безпеки даних.
4. **Чіпсети серії:** Основні чіпсети 200 Series: Z270, H270, B250, Q250, Q270 та H210.

Intel H270:

1. **Підтримка оперативної пам'яті:** H270 підтримує до 64 ГБ оперативної пам'яті DDR4-2400.

2. **Інтерфейси:** Має до 6 портів SATA 6 Гбіт/с і до 10 портів USB, з яких можуть бути порти USB 3.1 Gen 1 (5 Гбіт/с) і USB 3.1 Gen 2 (10 Гбіт/с).
3. **RAID:** Підтримка RAID 0, 1, 5, 10.
4. **Поліпшення:** H270 пропонує трохи більше портів USB і ліпшу підтримку швидшої оперативної пам'яті порівняно з H170, а також удосконалену підтримку USB 3.1 Gen 2.



Основні відмінності між H170 і H270:

1. **Швидкість оперативної пам'яті:** H270 підтримує оперативну пам'ять DDR4-2400, тоді як H170 підтримує DDR4-2133.
2. **USB 3.1 Gen 2:** H270 надає підтримку USB 3.1 Gen 2 (10 Гбіт/с), що забезпечує вищу швидкість передачі даних порівняно з H170.

3. **Загальна кількість портів USB:** H270 може підтримувати більше портів USB, зокрема з можливістю під'єднання до 10 портів, у порівнянні з H170.

5.14. 2018 – LGA 1151, Coffee Lake - S

300 Series чіпсети були представлені разом із процесорами восьмого (Coffee Lake) і дев'ятого (Coffee Lake Refresh) покоління Intel Core [23].

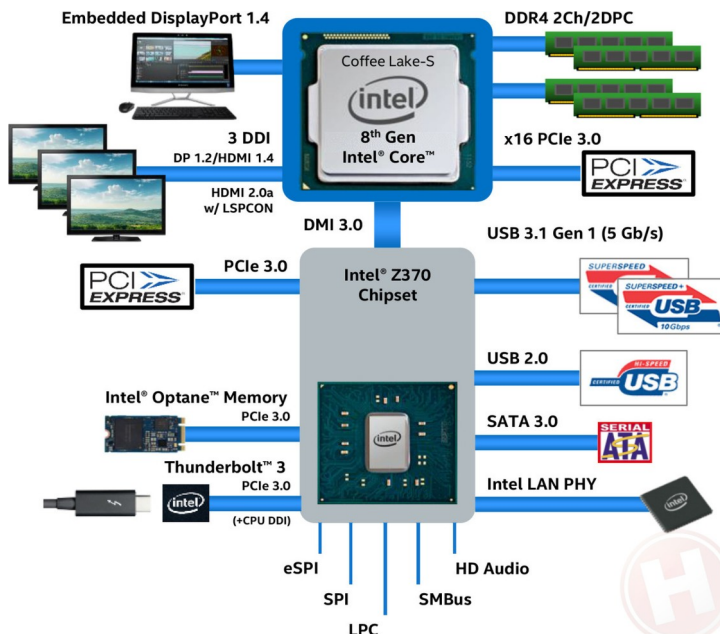
Чіпсет **Intel Z370** був представлений разом з процесорами восьмого покоління Intel Core (Coffee Lake) і підтримує сокет LGA 1151. Ось кілька ключових особливостей і нововведень порівняно з попередніми чіпсетамі:

- **Підтримка процесорів Coffee Lake.**
- **Оперативна пам'ять:** Підтримка оперативної пам'яті DDR4-2666, що забезпечує підвищену швидкість у порівнянні з попередніми поколіннями чіпсетів, які підтримували DDR4-2400 або DDR4-2133.
- **Покращена підтримка PCIe:** Z370 підтримує до 24 ліній PCIe 3.0, що дозволяє під'єднати більше пристроїв, таких як графічні карти і SSD. Це забезпечує вищу гнучкість у конфігурації системи.
- **Сумісність з новими інтерфейсами:** Чіпсет передбачає підтримку для до 6 портів SATA 6 Гбіт/с і до 6 портів USB 3.1 Gen 1 (5 Гбіт/с). Додатково він також підтримує USB 3.1 Gen 2 (10 Гбіт/с) на материнських платах з відповідними реалізаціями.
- **Підтримка RAID:** Z370 підтримує RAID 0, 1, 5 і 10, що забезпечує можливість створення масивів для підвищення швидкості та безпеки даних.
- **Оверклокінг:** Чіпсет Z370 підтримує оверклокінг процесора та оперативної пам'яті, що дозволяє користувачам розширити продуктивність системи.
- **Відсутність інтегрованого Wi-Fi:** На відміну від деяких новіших чіпсетів, Z370 не має вбудованої підтримки Wi-Fi, що може вимагати додаткових адаптерів або розширень.

Узагалі, у неймінгу чіпсетів Intel є певна схема, яка допомагає розрізнити різні серії та їх призначення:

1. Чіпсети серії Z:

- **Призначення:** Високопродуктивні чіпсети для ентузіастів і оверклокерів.
- **Функції:** Підтримка оверклокінгу процесора і оперативної пам'яті, більші можливості для розширення (більше ліній PCIe), додаткові функції, такі як підтримка RAID.



2. Чіпсети серії H:

- **Призначення:** Середній клас чіпсетів для широкого кола користувачів.
- **Функції:** Основна підтримка для сучасних технологій, але без можливостей для оверклокінгу. Зазвичай мають трохи менше розширених можливостей порівняно з серією Z.

3. Чіпсети серії B:

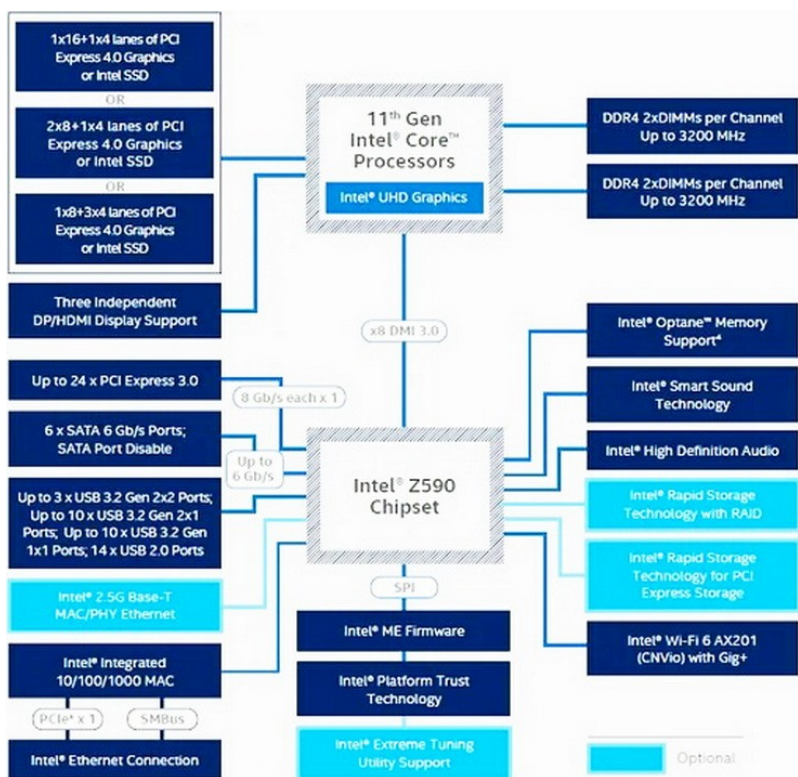
- **Призначення:** Бюджетні чіпсети для бізнес-систем і користувачів, які не потребують оверклокінгу.

- **Функції:** Основні можливості для забезпечення стабільної роботи системи без підтримки розширених функцій, таких як оверклокінг. Зазвичай мають менше ліній PCIe і обмежену підтримку портів.

Ця схема допомагає споживачам вибрати чіпсет в залежності від їх потреб у продуктивності, функціях і бюджету.

5.15. 2020 – LGA 1200, Rocket Lake

Z590 – це високопродуктивний чіпсет, призначений для роботи з процесорами Intel 10-го та 11-го поколінь на сокеті LGA 1200 [23].



Він є флагманським рішенням для ентузіастів, які прагнуть отримати максимальні можливості від свого комп'ютера, включаючи підтримку розгону як процесора, так і оперативної

пам'яті. Основною перевагою Z590 є повноцінна підтримка PCIe 4.0, що забезпечує швидшу передачу даних для новітніх графічних карт та SSD накопичувачів, роблячи цей чіпсет привабливим для геймерів і контент-крейторів.

Z590 підтримує до 20 ліній PCIe 4.0, що дозволяє з'єднувати кілька високошвидкісних пристроїв одночасно. Також він пропонує розширені можливості під'єднання до 6 портів USB 3.2 Gen 2x2, які забезпечують швидкість передачі до 20 Гбіт/с, а також підтримку Thunderbolt 4 (залежно від конфігурації материнської плати). Більшість материнських плат на базі Z590 також оснащені вбудованим Wi-Fi 6E, що забезпечує швидший і стабільніший бездротовий зв'язок.

Для охочих розганяти систему Z590 пропонує не тільки широкі можливості налаштування продуктивності процесора, але й підтримку Intel Optane Memory для прискорення завантаження та роботи з даними. Крім того, він підтримує технології Intel Turbo Boost Max 3.0, що дозволяє динамічно збільшувати продуктивність окремих ядер процесора для виконання найвибагливіших завдань.

H570 - Хороший варіант для користувачів з процесорами 11 покоління, які потребують достатньо можливостей, але не планують розгін.

Особливості:

- Підтримка PCIe 4.0 (до 1 лінії).
- Підтримка USB 3.2 Gen 2x2.
- Більшість моделей мають вбудовану підтримку Wi-Fi 6 (залежить від виробника материнської плати).
- Не підтримує розгін процесора, але підтримує розгін оперативної пам'яті.

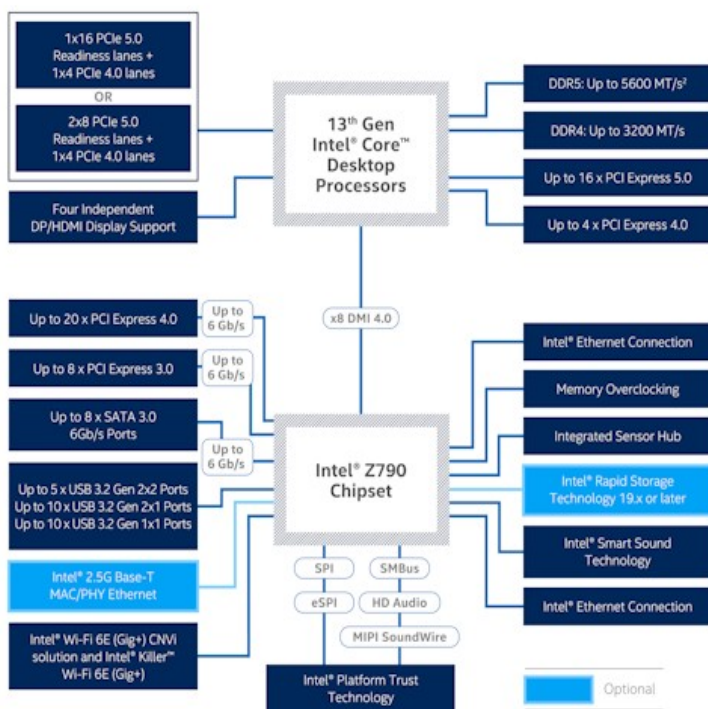
5.16. 2022 – LGA 1700, Raptor Lake

Чіпсет Intel Z790 – один із найпотужніших чіпсетів для процесорів LGA 1700, таких як Raptor Lake Refresh [23]. Ось його ключові особливості:

1. **Підтримка процесорів:** Сумісний з процесорами Intel Core 12-го і 13-го поколінь (Alder Lake і Raptor Lake Refresh), що використовують роз'єм LGA 1700.
2. **PCIe 4.0 і PCIe 5.0:** Підтримує до 16 ліній PCIe 4.0 і до 8 ліній PCIe 5.0. Це забезпечує високу пропускну здатність

для новітніх графічних карт, швидких SSD та інших розширювальних карт.

3. **Оперативна пам'ять:** Підтримує як DDR4, так і DDR5 пам'ять, з максимальною швидкістю до 6400 MT/s для DDR5. Це забезпечує користувачам гнучкість у виборі типу пам'яті.
4. **SATA і USB:** Має підтримку до 8 SATA 6 Гбіт/с портів для під'єднання жорстких дисків і SSD. Підтримує також до 12 USB-портів, включаючи USB 3.2 Gen 2x2 і USB-C для швидкого обміну даними.



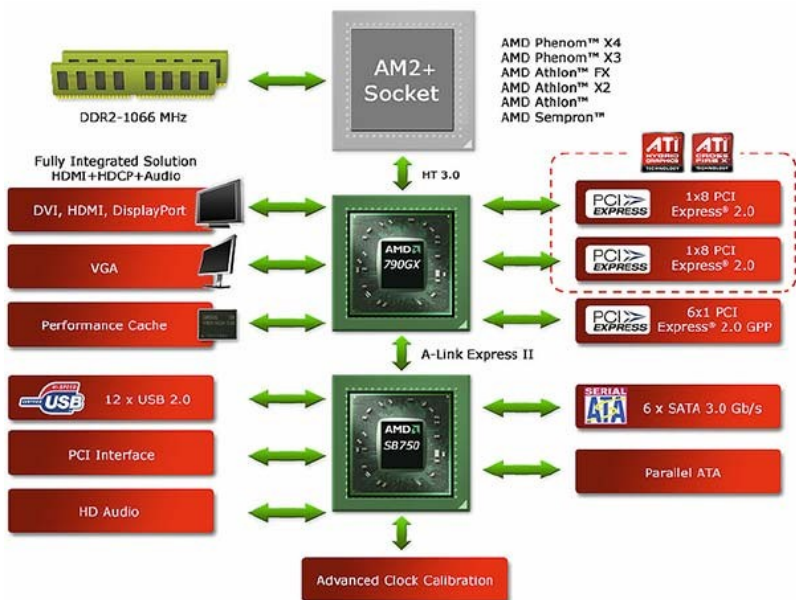
5. **Мережеві можливості:** Підтримує вбудовані мережеві можливості, включаючи швидкий Ethernet і, залежно від

материнської плати, може містити підтримку Wi-Fi 6E для бездротового під'єднання.

6. **Інтегрована графіка:** Підтримує інтегровану графіку Intel, що дозволяє користуватися графічними можливостями процесора без потреби в окремій відеокарті.
7. **Оверклокінг:** Забезпечує розширені можливості для оверклокінгу процесорів і оперативної пам'яті, що робить його ідеальним вибором для ентузіастів, які хочуть максимально використати потенціал своїх систем.
8. **Можливості під'єднання:** Може мати додаткові функції, такі як підтримка Thunderbolt 4, для швидкого обміну даними і під'єднання зовнішніх пристроїв.

Z790 забезпечує максимальну продуктивність і розширені можливості для користувачів, які прагнуть отримати від своєї системи все можливе.

5.17. 2008 – AM2+, AMD K10, чіпсет AMD 790GX+SB750



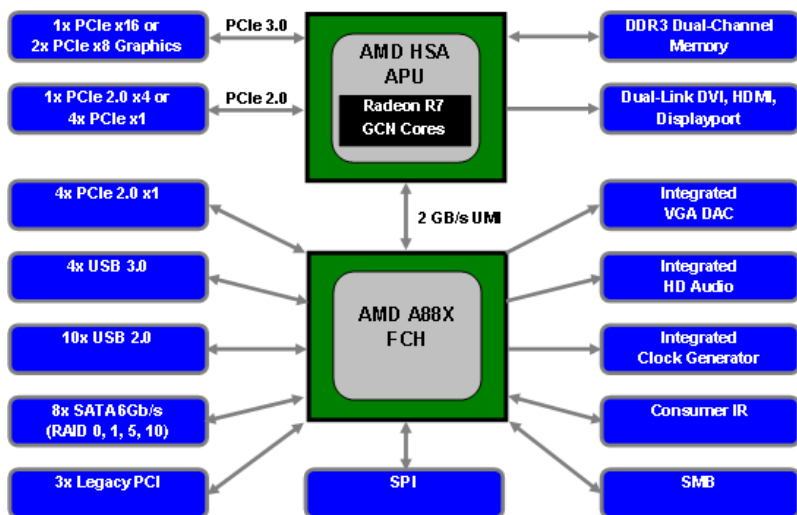
Socket AM2+ представлений в 2008 році і підтримував процесори на базі архітектури K10 [21, 22]. Цей роз'єм був

зорієнтований на поліпшення продуктивності та енергоефективності порівняно з попередніми роз'ємами.

Загалом, чіпсет AMD 790GX + SB750 пропонує хорошу інтеграцію графіки, поліпшені можливості зберігання даних і підтримку нових технологій, що робить його конкурентоспроможним рішенням на ринку в той час.

5.18. 2011 – FM2+, AMD Kaveri, чіпсет A88X

Процесори AMD Kaveri і чіпсет A88X були націлені на забезпечення хорошого балансу між процесорними і графічними можливостями [22], що робило їх привабливими для користувачів, які потребували хорошої інтегрованої графіки.

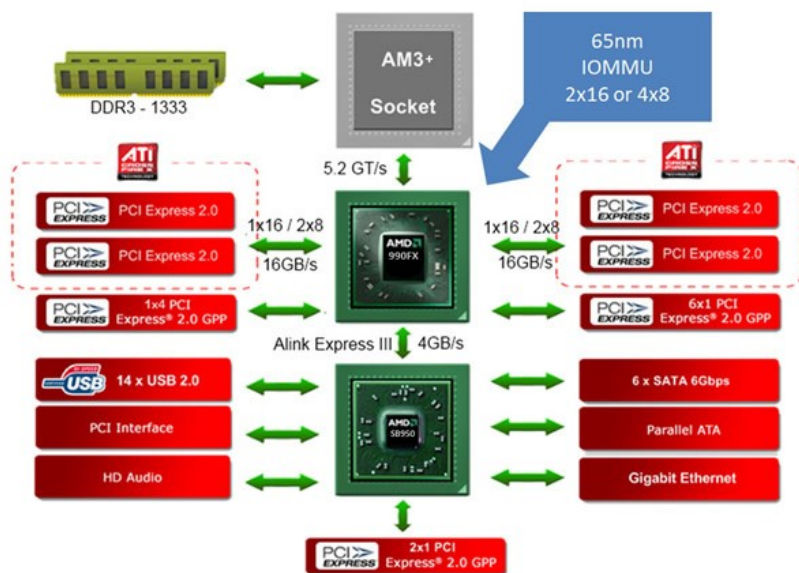


5.19. 2011 – AM3+, AMD Bulldozer/Piledriver, чіпсет AMD 990FX + SB950

AMD 990FX разом із SB950 – високопродуктивний чіпсет для платформи Socket AM3+, випущений у 2011 році [22].

AMD 990FX

- **Чипсет:** 990FX є чипсетом високого класу, який підтримує розширені можливості для розгону і надвисоку продуктивність.
- **Шини:** Підтримує 8 ліній PCIe 2.0, що дозволяє використовувати графічні карти в конфігураціях CrossFireX або SLI.
- **Оперативна пам'ять:** Підтримка до 32 ГБ оперативної пам'яті DDR3.
- **Розширені функції:** Поліпшена підтримка для розгону та більш розширений контроль за системою порівняно з попередніми чипсетами.



AMD SB950

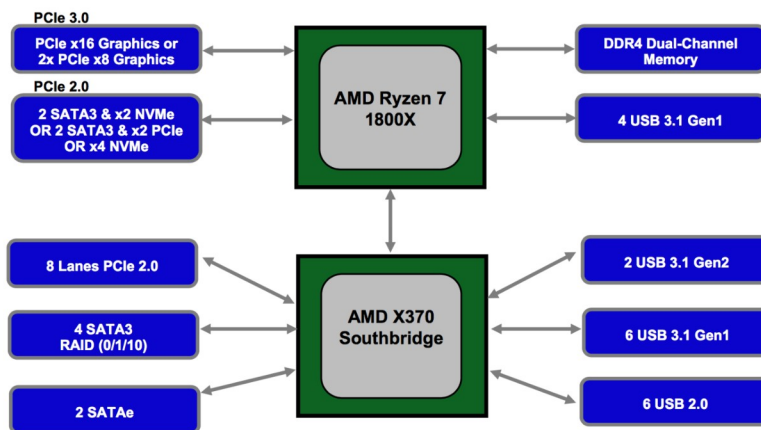
- **Південний міст:** SB950 забезпечує підтримку SATA 6 Гб/с, що дозволяє використовувати швидкісні накопичувачі та забезпечує поліпшену продуктивність дискових систем.
- **RAID:** Підтримка RAID 0, 1, 5 і 10 для конфігурацій з кількома дисками.

- **USB:** До 14 портів USB 2.0, що забезпечує велику кількість під'єднань для периферійних пристроїв.

Цей чіпсет був популярний серед ентузіастів і геймерів, які шукали можливість максимізації продуктивності своїх систем.

5.20. 2017 – AM4, AMD Ryzen, чіпсет x370

Чіпсет **AMD X370** анонсований разом з першими процесорами **AMD Ryzen** для сокету **AM4** у 2017 році.



Основні особливості чіпсета X370 [22]:

- **Підтримка процесорів AMD Ryzen:** X370 забезпечує підтримку всієї лінійки процесорів Ryzen, включаючи моделі з кількома ядрами і потоками.
- **Слоти PCIe:** Чіпсет підтримує до 24 ліній PCIe 3.0, що дозволяє використовувати кілька графічних карт у режимі SLI або CrossFire, а також інші PCIe пристрої.
- **Оперативна пам'ять:** Підтримка до 64 ГБ оперативної пам'яті DDR4 з тактовою частотою до 3200 МГц.
- **Накопичувачі:** Підтримка NVMe SSD для швидшого зберігання даних через інтерфейс M.2.
- **Розширене управління:** Підтримка розширених можливостей розгону і тонкої налаштування системи.

Відмінності від попередніх чіпсетів:

- **Покращене управління живленням:** X370 забезпечує кращу підтримку високопродуктивних процесорів та розгонних можливостей.
- **Більше ліній PCIe:** У порівнянні з попередніми чіпсетами X370 пропонує більше ліній PCIe для графічних карт і інших пристроїв.
- **Розширена підтримка нових технологій:** X370 був першим чіпсетом, який підтримував нові можливості, включаючи нові стандарти пам'яті та зберігання.

Чіпсет X370 став основним вибором для користувачів, які шукали максимальну продуктивність і можливості для розгону в системах з процесорами Ryzen.

5.21. 2022 – AM5, AMD Ryzen Zen 4, чіпсет X670E

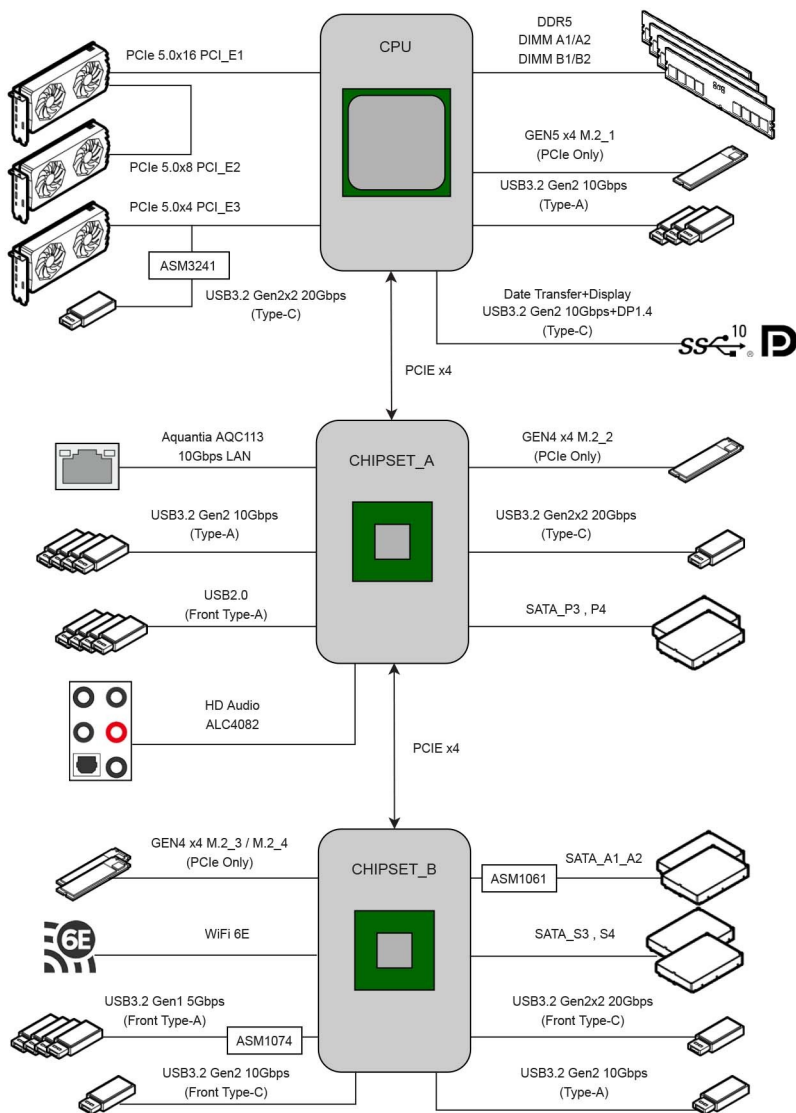
Перші процесори для цієї платформи [21], зокрема серія **AMD Ryzen 7000**, випущені **27 вересня 2022 року**. Сокет AM5 підтримує нові архітектурні рішення і технології, такі як DDR5 пам'ять і PCIe 5.0, що забезпечує значне підвищення продуктивності та можливостей у порівнянні з попередніми сокетами.

5.22. Порівняння останніх чіпсетів Intel і AMD

Intel (LGA 1700 і новіше). Чіпсет Z790 [23]:

- **Пам'ять:** Підтримка DDR4 і DDR5, до 128 ГБ.
- **PCIe:** PCIe 5.0 для графічних карт і SSD.
- **USB:** Великий набір портів USB, включаючи USB 3.2 Gen 2x2 і USB 4.
- **Мережа:** Інтеграційний контролер для Ethernet (зазвичай 2.5 GbE або 10 GbE), підтримка Wi-Fi 6E (в окремих моделях).
- **Сховище:** Підтримка NVMe і SATA SSD, з можливістю RAID.
- **Звук:** Інтегрований аудіоконтролер, якість варіюється залежно від виробника материнської плати.

MEG X670E ACE



- **Безпосереднє під'єднання до процесора:**
 - **Контролер пам'яті:** Вбудований у процесор, підтримує DDR4 або DDR5.
 - **PCIe:** Вбудований у процесор, підтримує PCIe 4.0/5.0, для високошвидкісних накопичувачів і графічних карт.
 - **I/O:** Безпосередня взаємодія з внутрішніми компонентами, такими як SSD, через лінії PCIe.

AMD (AM5 і новіше). Чіпсет X670E [22]:

- **Пам'ять:** Підтримка DDR5 до 128 ГБ.
- **PCIe:** PCIe 5.0 для графічних карт і SSD.
- **USB:** Різноманітність портів USB, включаючи USB 4 і USB 3.2 Gen 2x2.
- **Мережа:** Інтегрований контролер для Ethernet (зазвичай 10 GbE), підтримка Wi-Fi 6E.
- **Сховище:** Підтримка NVMe SSD, RAID-можливості.
- **Звук:** Інтегрований аудіоконтролер високої якості, часто з підтримкою 7.1-канального аудіо.
- **Безпосереднє під'єднання до процесора:**
 - **Контролер пам'яті:** Вбудований у процесор, підтримує DDR5.
 - **PCIe:** Вбудований в процесор, підтримує PCIe 5.0 для найновіших високошвидкісних накопичувачів і графічних карт.
 - **I/O:** Прямий доступ до всіх основних пристроїв вводу/виводу через PCIe та інші лінії.

Порівняння компонентів і під'єднань:

- **Пам'ять:** Обидва виробники підтримують сучасні типи пам'яті (DDR4/DDR5), але AMD з AM5 пропонує тільки DDR5.
- **PCIe:** Intel та AMD обидва використовують PCIe 5.0 в останніх чіпсетах, забезпечуючи високу швидкість передачі даних для графічних карт і накопичувачів.
- **Мережа:** AMD переважно містить високошвидкісний Ethernet (10 GbE), тоді як Intel зазвичай використовує 2.5 GbE з можливістю підтримки Wi-Fi 6E в нових моделях.

- **USB:** Обидва чіпсети підтримують сучасні порти USB, включаючи USB 4 та USB 3.2 Gen 2x2, для швидкого під'єднання периферійних пристроїв.

Тип під'єднання чіпсети до процесора:

- Чіпсети Intel спочатку використовували FSB, але з переходом на DMI в серії LGA 1151 і новіших версіях підвищили пропускну здатність між чіпсетом і процесором.
- Чіпсети AMD використовують HyperTransport у старих архітектурах, а з AM4 і AM5 перейшли на PCIe для зв'язку, забезпечуючи високу пропускну здатність і новітні технології, такі як DDR5 та PCIe 5.0.

Останні чіпсети Intel і AMD забезпечують високу швидкість і широкі можливості для під'єднання компонентів. В обох випадках безпосереднє під'єднання до процесора забезпечує високу пропускну здатність для пам'яті та пристроїв через PCIe. Основні відмінності полягають у деталях інтеграції та підтримки нових стандартів, таких як DDR5 і PCIe 5.0. Крім того, варто відзначити обраний спосіб приєднання чіпсети (південного моста) до процесора. Компанія AMD використовує для цього 4 лінії PCI Express, починаючи від процесорів Ryzen, а в останніх варіантах – з можливістю каскадного об'єднання чіпсетів. Компанія Intel для цих цілей використовує свою шину DMI. Який підхід кращий – покаже час.

Висновки

Комп'ютерна архітектура – це складна та динамічна галузь знань, яка поєднує в собі як теоретичні основи, так і практичні аспекти побудови та функціонування обчислювальних систем. У цьому посібнику здійснено детальний огляд різних аспектів комп'ютерної архітектури – від базових принципів та історичного розвитку до аналізу сучасних тенденцій і прогнозів на майбутнє.

Розуміння основ комп'ютерної архітектури дозволяє чітко уявити, як працюють комп'ютери, як організовані їхні основні компоненти та як ці компоненти взаємодіють між собою. Це знання є фундаментом для подальшого поглиблення у більш специфічні теми, такі як паралельні обчислення, енергозбереження або розподілені системи.

Представлений у посібнику історичний огляд розвитку комп'ютерних систем дає змогу простежити еволюцію технологій від простих механічних обчислювачів до складних мікропроцесорів, які є основою сучасних обчислювальних пристроїв. Це дозволяє краще зрозуміти, як різні інновації вплинули на розвиток обчислювальних систем та які виклики стояли перед інженерами на кожному з етапів розвитку.

Особливу увагу було приділено материнським платам і чіпсетам, які є основою для побудови будь-якої комп'ютерної системи. Еволюція чіпсетів, розглянута в одному з розділів, демонструє, як поступові поліпшення в архітектурі та технологіях дозволили створювати більш продуктивні та енергоефективні комп'ютери.

Завдяки аналізу різних архітектурних підходів, таких як архітектура фон Неймана та гарвардська архітектура, читачі мають можливість порівняти різні моделі організації обчислювальних систем і зрозуміти, чому ті чи інші підходи застосовуються в певних умовах.

Важливість вивчення архітектури комп'ютерів полягає також у тому, що вона дозволяє зрозуміти, як забезпечити надійність, масштабованість і ефективність обчислювальних систем. Це знання критично важливе для інженерів, які розробляють нові апаратні рішення або оптимізують існуючі системи.

На завершення слід зазначити, що комп'ютерна архітектура продовжує розвиватися з великою швидкістю, і майбутні

досягнення у цій галузі відкривають нові можливості для створення більш потужних, ефективних та інтелектуальних обчислювальних систем. Здатність залишатися в курсі цих змін і розуміти їхню суть – ключовий фактор у професійному розвитку в цій галузі.

Список літератури

1. Матвієнко М. П. Архітектура комп'ютера: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. П. Матвієнко, В. П. Розен, О. М. Закладний. – К. : Ліра, 2013. – 264 с.
2. Коноваленко С.В., Михальченко О.В. Архітектура обчислювальних систем. – Київ: ІЗМН, 2010. – 488 с.
3. Леков Л.А. Основи комп'ютерної архітектури. – Харків: Основа, 2011. – 384 с.
4. Чепурний О.А. Архітектура сучасних комп'ютерних систем. – Харків: Основа, 2012. – 504 с.
5. Вілтон К. Цифрова схемотехніка та архітектура комп'ютерів. – Київ: Наук. думка, 2012. – 712 с.
6. Brey, Barry B. Intel Microprocessors: Architecture, Programming, and Interfacing. Pearson, 2012.
7. Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
8. Jim Ledin. Modern Computer Architecture and Organization: Learn x86, ARM, and RISC-V architectures and the design of smartphones, PCs, and cloud servers Illustrated Edition. - 2020. Packt Publishing. - 560 p.
9. Bryant R., O'Hallaron D. Computer Systems: A Programmer's Perspective. – Pearson, 2015. – 1120 p.
10. David M. Harris, Sarah L. Harris. Digital Design and Computer Architecture. Second Edition. - 2013. Elsevier, Inc. - 690 p.
11. Andrew S. Tanenbaum, Todd Austin. Structured Computer Organization. 6th Edition – Pearson, 2012. – 808 p.
12. John L. Hennessy, David A. Patterson. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 5th Edition. - 2011. Morgan Kaufmann. - 856 p.
13. Jon Stokes. Inside the Machine: An Illustrated Introduction to Microprocessors and Computer Architecture. 1st Edition. - 2006. No Starch Press. - 320 p.
14. William Stallings. Computer Organization and Architecture: Designing for Performance. 10th Edition. - 2015. Pearson. - 912 p.
15. Barry B. Brey. The Intel Microprocessors: Architecture, Programming, and Interfacing. 8th Edition. - 2008. Prentice Hall. - 880 p.

16. Muller N. The Architecture of Computer Hardware and System Software: An Information Technology Approach. – John Wiley & Sons, 2015. – 624 p.
17. Flynn M. Computer Architecture: Pipelined and Parallel Processor Design. – Jones & Bartlett Learning, 1995. – 832 p.
18. Murdocca M., Heuring V. Principles of Computer Architecture. – Pearson, 1999. – 656 p.
19. Hill M.D., Jouppi N.P., Sohi G.S. Readings in Computer Architecture. – Morgan Kaufmann, 2000. – 800 p.
20. Intel Corporation. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual Combined Volumes: 1, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D, and 4. Submitted: May 01, 2018. Last updated: May 27, 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/download/intel-64-and-ia-32-architectures-sdm-combined-volumes-1-2a-2b-2c-2d-3a-3b-3c-3d-and-4.html>
21. AMD Processor and Chipset Specifications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.amd.com/en/products/specifications>
22. AMD Chipsets for Desktop PCs. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.amd.com/en/products/processors/chipsets.html>
23. Intel® Product Specifications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ark.intel.com/>
24. Matzke T. Cloud Computing: Principles and Paradigms. – Wiley, 2011. – 576 p
25. Blaauw G.A., Brooks F.P. Computer Architecture: Concepts and Evolution. – Addison-Wesley, 1997. – 688 p.
26. Stone H.S. High-Performance Computer Architecture. – Addison-Wesley, 1993. – 656 p.

Для нотаток

Навчальне видання

Іван Михайлович **Данилюк**

АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРІВ
Частина 1

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск **Бігун Я.Й.**

Літературний редактор **Лукул О.В.**

Технічне редагування та дизайн обкладинки **Чорасва Г.К.**

Електронне видання

Підписано до друку 07.11.2024.

Умов.-друк. арк. 10,5. Обл.-вид. арк. 11,3.

Зам. Н-087.

Видавництво Чернівецького національного університету.

58002, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2.

e-mail: ruta@chnu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 891 від 08.04.2002.

CONTROLLER SYSTEM
DESIGN VIRTUALIZATION
MICROARCHITECTURE
CYCLES EMULATION DATA IMPLEMENTATION
COMPILER
CODE MIPS
CPU ARCHITECTURE INSTRUCTION
ASSEMBLY
CLOCK
THROUGHPUT CLUSTER ENGINEERING DMA
CAPACITY MEMORY LATENCY SET LOGIC
COMPUTING

