

Історія розвитку мікропроцесорної техніки. Мікропроцесори, основні поняття і визначення. Класифікація мікропроцесорів. Основні області застосування.

Історія розвитку мікропроцесорної техніки

Створення мікропроцесорів (МП) є великим досягненням мікроелектроніки та обчислювальної техніки, оскільки МП одночасно є елементом електронної техніки та одним з основних блоків обчислювальної машини, а саме - процесором, призначення якого виконувати дві основні функції:

1. обробка цифрової інформації;
2. управління процесом обробки інформації та роботою решти вузлів обчислювальної машини.

Однак, згодом стало ясно, що МП можуть бути використані і в технічних пристроях автоматики, інформаційно-вимірювальної техніки, радіоелектроніки, тощо, алгоритм функціонування яких характеризується так званою "жорсткою" логікою роботи, що задається апаратними (технічними) засобами. Використання МП для побудови пристрою чи системи приводить до того, що структура пристрою стає універсальною, тобто стандартною. А стандартизація структури має ту перевагу, що скорочується час та зменшується вартість проектування. Крім цього МП надає пристроєві гнучкості, яка полягає в тому, що зміна функції пристрою досягається зміною програми, яка записана в його пам'яті - це є найбільшою перевагою. В цьому випадку з'являється можливість змінювати характеристики пристрою чи системи без будь-яких переробок монтажу чи друкованих плат. Тепер дуже легко можна вносити в процесі відладки зміни в уже виготовлений пристрій чи систему, модифікуючи її характеристики і параметри шляхом заміни програми.

Другою перевагою є те, що вироби на основі МП дешеві. МП можуть замінити 75-200 корпусів інтегральних схем малої та середньої степені інтеграції, в мікропроцесорній системі менше з'єднань, менше друкованих плат, відладка системи значно простіша, а відповідно і вартість проектування в цьому випадку нижча. Крім того, з'являється можливість надати цим пристроям нові функції, реалізація яких при "жорсткій" логіці роботи була недоцільною, бо суттєво ускладнювалися як самі пристрої так і процес їх виготовлення та наладки.

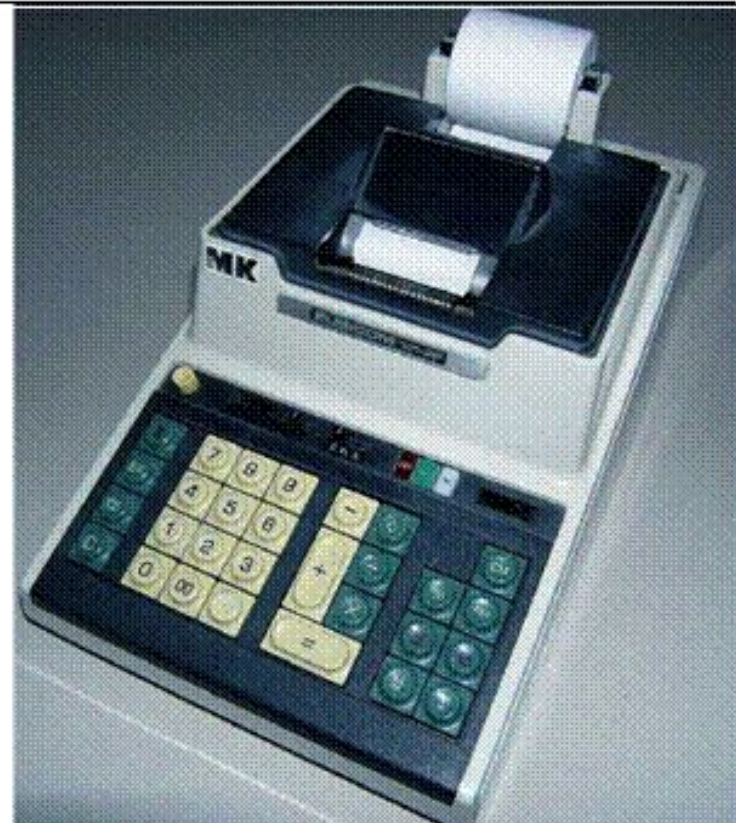
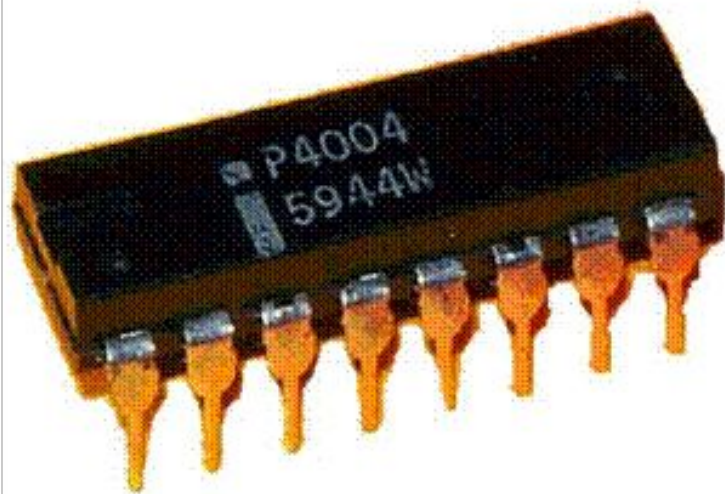
Нарешті, час розробки системи на основі МП менший.

Налагодження масового випуску МП сприяло зменшенню їхньої вартості, зробило вигідним їх використання в приладобудуванні, на транспорті, в побуті і т. д. Поява дешевих МП з широкими функціональними можливостями забезпечила перевагу цифровим методам обробки інформації, а це сприяло їх впровадженню в такі галузі, як автоматика, вимірювальна техніка, радіозв'язок, телефонія і т.д. Так що на сьогодні МП стали елементною базою не тільки засобів обчислювальної техніки, а й засобів автоматики, вимірювальної техніки, радіотехніки, тощо.

Перший МП був створений американською фірмою Intel для потреб японської фірми Busicom у 1971 році при розробці калькулятора. Це був 4-розрядний МП I4004, призначений для обробки 4-розрядних двійкових даних. Він містив 2300 транзисторів, працював на тактовій частоті 108 кГц і адресував 640 байт пам'яті при 0.06 MIPS. Розробниками були Тед Хофф та Фредерік Феггін.

А вже в 1972 році фірма Intel випустила 8-розрядний МП i8080. Він мав тактову частоту 2 МГц, адресував 64 Кбайти пам'яті і містив 6000 транзисторів. Починаючи з цього часу на ринку з'явилася велика кількість типів МП різних фірм. Треба сказати, що принципи, покладені в основу перших МП фірми Intel були дуже вдалим. Тому МП інших фірм були ніби своєрідними клонами МП фірми Intel. Вдосконалюючи і розвиваючи принципи, покладені в основу перших МП, в подальшому фірма Intel зуміла зберегти позиції лідера у їх виробництві і по сьогоднішній день.

В 1973 році фірма Intel випустила 8-розрядний МП I8085, що був покращеним варіантом МП I8080 (5 МГц, 6500 транзисторів, 0.37 MIPS).



З 1978 року на ринку з'явилися 16-розрядні мікропроцесори цієї фірми І8086/8088. Це практично однакові МП з однаковою системою команд, що нараховувала 156 команд. Частота - 5 МГц, продуктивність 0.33 MIPS, 29000 транзисторів, адресована пам'ять 1 Мбайт.

В 1982 році з'являється МП і80286. 134 000 транзисторів, 16 Мбайт адресованої пам'яті, захищений режим та віртуальна пам'ять.

Починаючи з 1985 року фірма Intel приступила до випуску 32-розрядних мікропроцесорів і80386 (275 000 транзисторів, адресована пам'ять 4 Гбайти), з'являється ОС Windows

В 1989 році виходить МП і80486 - 1.2 млн. транзисторів, інтегровані кеш і математичний сопроцесор.

В 1992-1993 роках фірма Intel почала випускати 64-розрядні МП типу Pentium, які в різних модифікаціях продукує і по сьогоднішній день.

Крім МП, розглянутих вище, важливе значення має інший напрям розвитку мікропроцесорної техніки - вбудовані мікроконтролери (embedded microcontrollers), орієнтовані на виконання, перш за все, функцій керування різними об'єктами. Звідси походить і їх назва - мікроконтролери (МК). Їхнє використання досить різноманітне - від складної побутової техніки (холодильники, пральні машини, кухонні комбайни, тощо) до найскладніших систем керування технологічними процесами і робототехнічними комплексами.

Розробка перших МК, як і МП, належить корпорації Intel, яка у 1976 році випустила універсальний 8-розрядний МК 8048.

Ще в 2002-2003 роках у світі випускалося щорічно 3.2 млрд. штук МК, тоді як процесорів для ПК - 200 млн. Так в 2006 році було випущено понад 4 млрд. штук МК, за останні п'ять років їх випуск у світі зріс приблизно в три рази. Кількісний випуск промисловістю МК на сьогодні майже в 10 разів перевищує кількісний випуск традиційних МП.

Основні поняття і визначення

Мікропроцесор (МП) - це пристрій, який здійснює прийом, обробку і видачу інформації. Конструктивно МП містить одну або декілька інтегральних схем і виконує дії за програмою, записаною в пам'яті.

Мікропроцесорна система (МПС) - обчислювальна, контрольно-вимірювальна або керувальна система, в якій основним пристроєм обробки інформації є МП.

Мультипроцесорна система - система, яка утворюється об'єднанням деякої кількості універсальних або спеціалізованих МП, завдяки чому забезпечується паралельна обробка інформації і розподілене керування.

Мікропроцесорний комплект (МПК) - сукупність інтегральних схем, сумісних за електричними, інформаційними та конструктивними параметрами і призначених для побудови електронно-обчислювальної техніки та мікропроцесорних систем керування. Зазвичай МПК містить: ВІС МП, ВІС оперативних запам'ятовувальних пристроїв (ОЗП), ВІС постійних запам'ятовувальних пристроїв (ПЗП), інтерфейси або контролери зовнішніх пристроїв, службові ВІС (тактовий генератор, регістри, шинні формувачі, контролери шин, арбітри шин).

Мікроконтролер - являє собою пристрій, який виконаний конструктивно в одному корпусі ВІС і містить основні складові МПК: процесор, пам'ять даних, пам'ять програм, програмовані інтерфейси.

Інтерфейс - визначає правила взаємодії компонентів системи, а також правила побудови технічних засобів призначених для реалізації цієї взаємодії.

Класифікація мікропроцесорів

МП та МПК класифікують за такими ознаками: призначенням, кількістю ВІС, способом керування, типом архітектури, типом системи команд.

За призначенням МП поділяють на універсальні та спеціалізовані:



1. Універсальні МП - це МП загального призначення, які розв'язують широкий клас задач обчислення, обробки та керування. Ці МП застосовуються в обчислювальних системах: персональних комп'ютерах, потужних серверах, робочих станціях та інших засобах обчислювальної техніки, а також при проведенні науково-технічних розрахунків з використанням операцій з плаваючою комою над 64-розрядними і більш довгими операндами.

На світовому ринку універсальних МП домінують МП компанії Intel - Pentium (P5, P6), та їх клони компанія AMD: K5, K6, компанія Cyrix: M1, M2 з системою команд x86 (CISC-процесори). Решта виробників універсальних МП випускають RISC-процесори, що складає біля 10% ринку. RISC- процесори: Архітектура Power PC - компанія Motorola: Power PC 603, 604, 620, Архітектура PA - компанія HP: PA-8000, Архітектура Alpha - компанія DEC: лінія Alpha (21064, 21164, 21164A), Архітектура SPARC - компанія SUN: лінія SPARC, Архітектура MIPS -компанія Silicon Graphics: лінія MIPS R-x (R10000).

Дані МП працюють з тактовою частотою до декількох ГГц і містять на кристалі від десятків мільйонів до декількох мільярдів транзисторів. У відповідності з емпіричним правилом, яке сформулював Гордон Мур, один з засновників компанії Intel, степінь інтеграції мікросхем подвоюється кожні 1.5-2 роки. Це правило виконувалося на протязі 40 років і можна прогнозувати, що воно буде виконуватися і в найближчому майбутньому.

Мікропроцесори архітектури CISC в основному застосовуються у персональних комп'ютерах, а архітектури RISC-в потужних серверах та робочих станціях.

Спеціалізовані МП призначені для розв'язання задач лише певного класу. До спеціалізованих МП належать: цифрові сигнальні процесори, медійні та мультимедійні МП, мікроконтролери, трансп'ютери.

Цифрові сигнальні процесори (ЦСП) або сигнальні процесори (в англ. DSP - Digital Signal Processors) - призначені для цифрової обробки сигналів у реальному масштабі часу. Перший цифровий сигнальний процесор TMS320C10 був випущений в 1982 році і з того часу сфера застосування ЦСП постійно розширювалася.

Основні області застосування ЦСП

Системи загального призначення	Графіка і обробка зображень	Вимірювальні пристрої
<p style="text-align: center;">Цифрова фільтрація Згортка Кореляційний аналіз, Швидке перетворення Фур'є, Адаптивна фільтрація, Синтез сигналів</p>	<p style="text-align: center;">3D поворот зображень Технічний зір роботів Передача і стиснення зображень Розпізнавання образів Покращення зображення Анімація</p>	<p style="text-align: center;">Аналізатори спектру Функціональні генератори Аналізатори перехідних процесів Синтезатори сигналів</p>
Обробка голосу і мови	Управління	Військова техніка
<p style="text-align: center;">Голосова пошта, Вокодери Розпізнавання мови, Синтез мови</p>	<p style="text-align: center;">Управління роботами Управління електроприводом Слідкуючі системи</p>	<p style="text-align: center;">Спеціальний зв'язок Радари Навігація Наведення ракети на ціль</p>
Телекомунікації		Автомобілебудування
<p style="text-align: center;">Придушення завад, Модеми АОРСМ кодування, Мультимплексування канатів, DTMP кодування-декодування</p>	<p style="text-align: center;">Шифрування даних Факси Мобільні телефони Відеоконференції IP-телефонія</p>	<p style="text-align: center;">Управління двигуном Управління гальмуванням Навігація Автопілот Голосові команди</p>
Побутові пристрої	Промисловість	Медицина
<p style="text-align: center;">Цифрові магнітофони Цифрове телебачення Музичні синтезатори Інформатори</p>	<p style="text-align: center;">Роботи Конвеєри Станки з ЧПУ Промислові комп'ютери</p>	<p style="text-align: center;">Слухові апарати Ультразвукове обладнання Діагностичні прилади Багатофункціональний моніторинг</p>

Архітектура ЦСП визначається декількома базовими операціями, які використовуються в алгоритмах цифрової обробки сигналів (ЦОС) - перш за все цифрової фільтрації і спектральним аналізом.

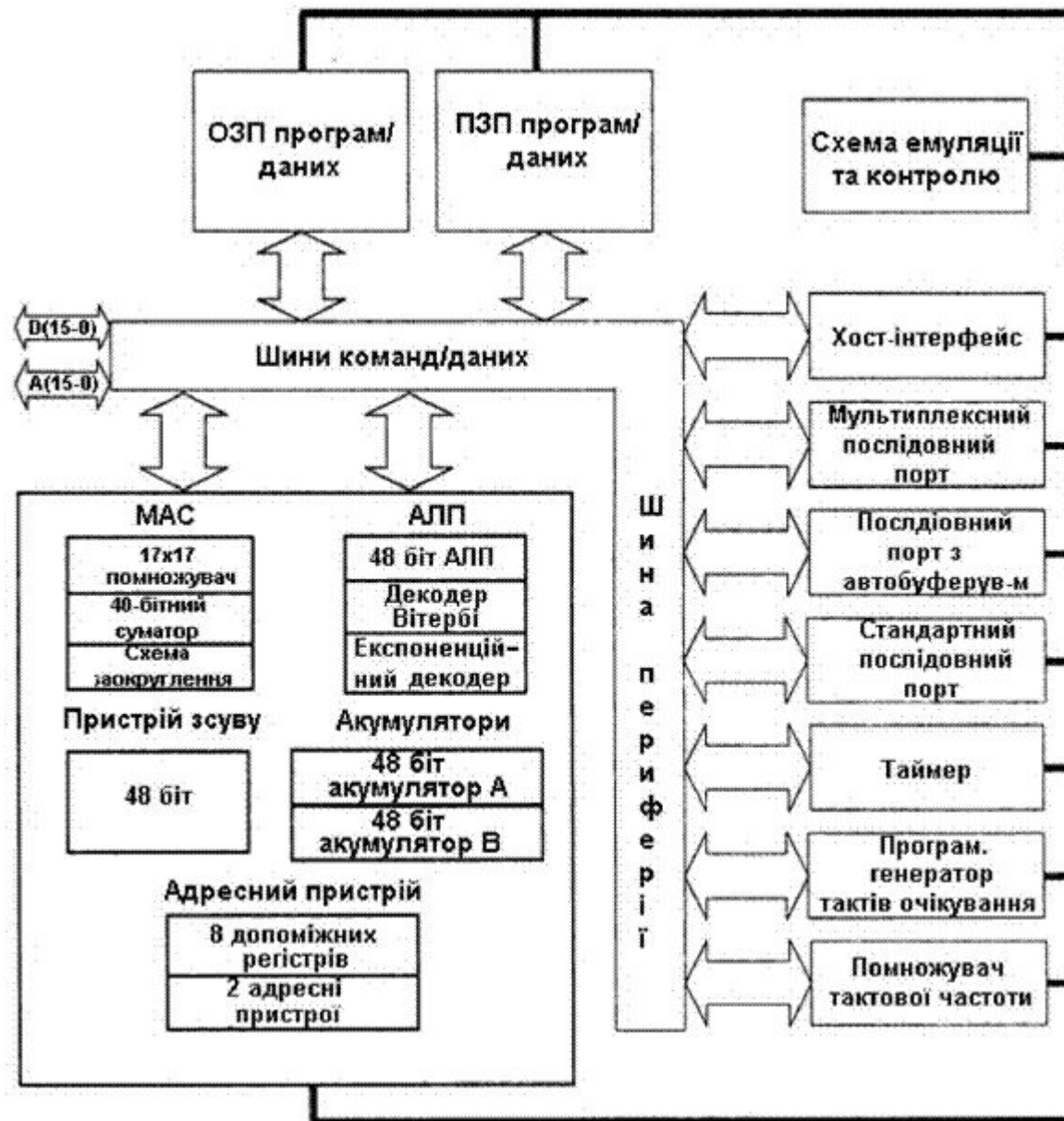
Рівняння рекурсивного цифрового фільтра має вигляд:

$$y(n) = b(0) * x(n) + b(1) * x(n-1) + \dots + b(N) * x(n-N) - a(1) * y(n-1) - a(2) * y(n-2) - \dots - a(M) * y(n-M)$$

Рівняння перетворення Фур'є

$$X(K) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * e^{-j \frac{2\pi n K}{N}} = \frac{1}{N} \left(\sum_{n=0}^{N-1} x(n) * \cos\left(\frac{2\pi n K}{N}\right) - j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * \sin\left(\frac{2\pi n K}{N}\right) \right)$$

Для ефективної реалізації цифрових алгоритмів необхідна апаратна підтримка базової операції ЦОС: множення з накопиченням (MAC - Multiply and Accumulate)



Структура МП TMS320C54x

Для ЦСП характерними є:

1. наявність достатніх об'ємів внутрішньокристалічної пам'яті для даних і програм;
2. можливість захисту програм від несанкціонованого доступу;
3. підтримка режиму енергозбереження (в процесорах TMS320C54x реалізована ефективна трирівнева система управління енергоспоживанням).

Робота в реальному часі вимагає від технічних засобів ЦСП:

1. високої продуктивності (до 66 МП);
2. забезпечення можливості інтенсивного обміну даними з зовнішніми пристроями (хост-інтерфейс дає змогу обмінюватися даними з іншим МП на швидкості до 160 Мбайт/с. Буферизований послідовний порт дає змогу здійснювати обмін з пристроями і пам'яттю без використання ресурсів процесора. Максимальна швидкість - до 40 Мбайт/с).

В ЦСП зараз це досягається завдяки розділу пам'яті та шин програм і даних (так звана гарвардська архітектура) (в TMS320C54x три внутрішні шини даних і одна програм) та апаратному помножувачеві даних, за допомогою якого перемноження двох чисел здійснюється протягом одного такту.

Крім цього в ЦСП використовуються методи скорочення тривалості командного циклу, характерні для універсальних RISC-процесорів:

1. конвеєризація виконання команд;
2. розташування операндів більшості команд в регістрах МП;
3. використання внутрішніх регістрів для зберігання результатів обчислень;
4. реалізація в системі команд таких операцій як множення з нагромадженням MAC ($C=A \times B+C$);
5. реалізація можливості виймання з пам'яті одного або декількох операндів в циклі виконання команди.

ЦСП різних компаній-виробників утворюють два класи, що суттєво відрізняються ціною:

1. більш дешеві МП з обробкою даних в форматі з фіксованою комою;
2. дорожчі МП, що апаратно підтримують операції над даними в форматі з плаваючою комою.

Можливості ЦСП роблять їх привабливими для використання не тільки в ролі спеціалізованих обчислювачів, але й в ролі контролерів у промислових роботах, побутових приладах, системах керування зброєю, засобах безпроводного зв'язку. Серед найпоширеніших сімейств сигнальних процесорів ТМ320Схх - фірми Texas Instruments, 21хх, 210хх - Analog Devices, DSP560хх та DSP9600х - фірми Motorola.

Мікроконтролери призначені для застосування у вбудованих системах управління, в тому числі і у побутових приладах. Звідси й назва "мікроконтролери". Число різних типів МК на сьогодні перевищує 500, і всі вони знаходять своє застосування. Серед них найпоширеніші AVR - фірми Atmel, MSP430 - Texas Instruments, MCS-196/296 - Intel, PIC16/17 - MicroChip, HC05/08/11 - Motorola.

За своїми функціональними можливостями та технічними характеристиками МК найкращим чином придатні до використання у складі пристроїв керування технологічними процесами, інформаційно-вимірювальних та контрольних діагностичних систем. Виробництво і використання МК швидко зростає.

Сучасний МК є складною цифровою системою, розміщеною на кристалі. До її складу входять: 1) один $8^{\text{ми}}$ або $16^{\text{ти}}$, чи рідше 32^{x} розрядний процесор; 2) внутрішня пам'ять програми (від $1^{\text{го}}$ до $10^{\text{—}}$ кбайт) та даних; 3) широкий набір інтерфейсних і периферійних пристроїв, зокрема, портів вводу/виводу, таймерів, аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) та інших. 8-розрядні МК представляють найбільш чисельну групу в класі МК, які мають відносно низьку продуктивність, якої проте цілком достатньо для вирішення широкого кола задач управління різними об'єктами. Це прості і дешеві МК, орієнтовані на використання у відносно нескладних пристроях масового випуску. Основними областями їх застосування є побутова та вимірювальна техніка, промислова автоматика, автомобільна електроніка, теле-, відео- і аудіоапаратура, засоби зв'язку.

Для цих МК характерна Гарвардська архітектура з окремою пам'яттю програм і даних. Внутрішня пам'ять програм має об'єм від одиниць до десятків Кбайтів. Для зберігання даних використовується регістровий блок (банк) або внутрішній ОЗП. Об'єм внутрішньої пам'яті даних становить від декількох десятків байт до декількох Кбайт.

МК цієї групи переважно виконують відносно невеликий набір команд (50-100), використовують найпростіші способи адресації.

16-розрядні МК в багатьох випадках є удосконаленою модифікацією 8-бітних прототипів. Вони характеризуються не тільки збільшеною розрядністю даних, але і розширеною системою команд і способів адресації, збільшеним набором регістрів і об'ємом пам'яті. В багатьох випадках реалізується програмна сумісність з 8-бітними моделями. Основні сфери застосування: складна промислова автоматика, телекомунікаційна апаратура, медична та вимірювальна техніка.

32-розрядні МК містять високопродуктивний RISC- або CISC-процесор, який відповідає по своїм можливостям молодшим моделям універсальних МП. Це дає змогу використати величезний об'єм прикладного і системного програмного забезпечення, створений раніше для відповідних ПК.

В цілому для МК характерні:

- 1.широкі функціональні можливості;
- 2.високі технічні параметри;
- 3.низька вартість.

Медійні та мультимедійні процесори призначені для обробки аудіосигналів, графічної інформації, відеозображень, а також для розв'язування ряду задач у мультимедіакомп'ютерах, іграшкових приставках, побутовій техніці за рахунок створення симетричної мультипроцесорної системи з більш простими процесорами, що опрацьовують цілочисельні операнди.

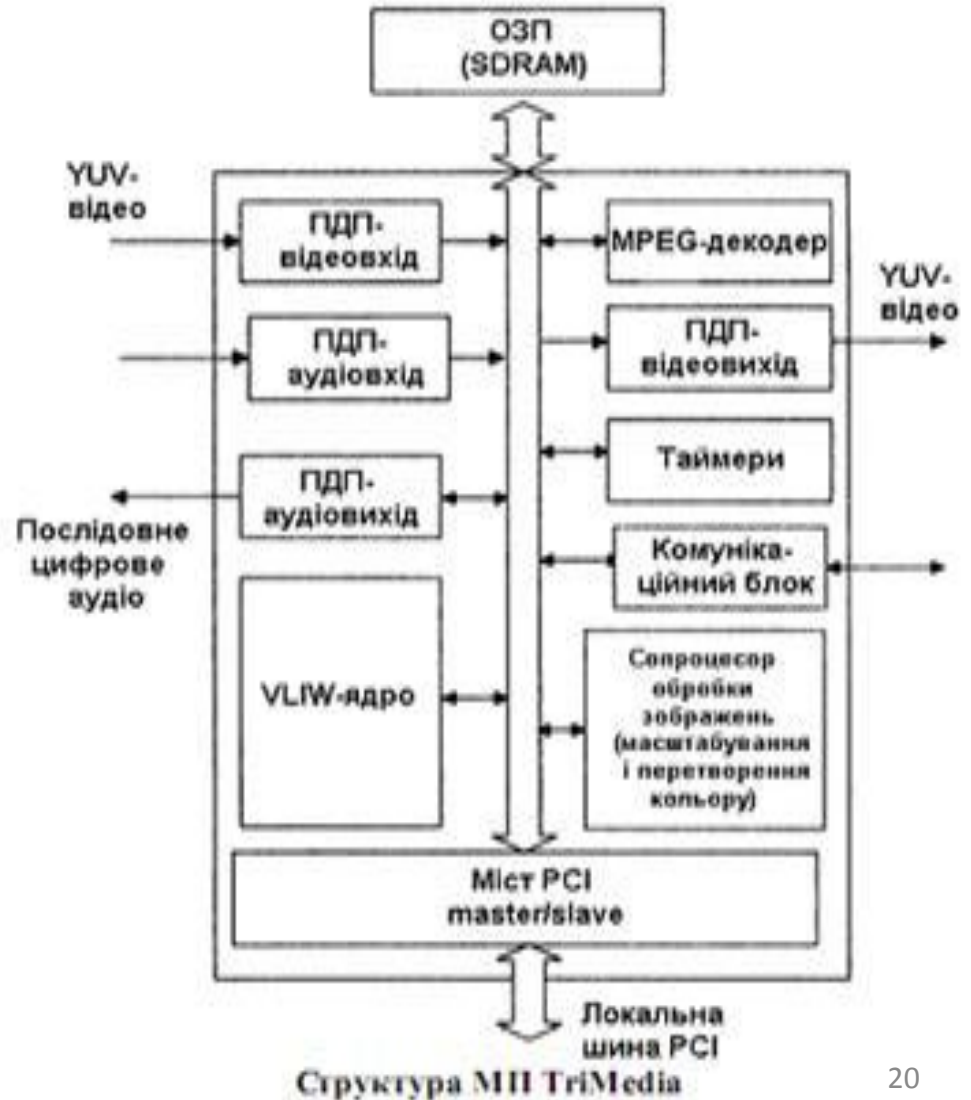
На сьогоднішній день можна виділити два класи МП, які забезпечують підтримку мультимедіа на апаратному рівні: це універсальні процесори з мультимедійним розширенням набору команд (MMX, 3DNow!, SSE) і мультимедійні мікропроцесори. Там, де мультимедійні операції домінують над традиційними числовими операціями ефективніше використовувати мультимедійні МП.

Мультимедійні процесори представляють собою поєднання архітектури традиційних сигнальних і універсальних МП. До медіапроцесорів на сьогоднішній день можна віднести:

- Mediaprocessor компанії MicroUnity;
- TriMedia компанії Philips;
- NVI компанії Nvidia;
- MediaGx компанії Cyrix.

Мультимедійний мікропроцесор компанії Philips TriMedia призначений для використання в якості сопроцесора цифрової обробки сигналів, що розвантажує основний процесор, так і у якості універсального процесора мультимедійних пристроїв: ігрових приставок, програвачів DVD, відео-CD і т.п.

Структура МП TriMedia зображена на рис. Її компонентами є високошвидкісна шина зі швидкістю передачі даних 400 Мбіт/с, яка зв'язує вузли МП: процесорне ядро, відеовхід, відеовихід, аудіовхід, MPEG-декодер, сопроцесор обробки зображень і комунікаційний блок.



В МП використовується роздільна кеш-пам'ять: 32 Кбайти для команд і 16 Кбайт для даних.

Ефективна для мультимедійних задач система команд процесора дає змогу здійснювати одночасне MPEG-декодування аудіо- та відеоданих при використанні всього лиш 22 % обчислювальних ресурсів процесора і 12% ресурсів пам'яті.

У зв'язку з більш простою схемотехнікою вартість медійних процесорів досить низька, а значення показника "продуктивність/вартість" на два-три порядки вища.

Трансп'ютери - призначені для масових паралельних обчислень і роботи у мультипроцесорних системах. Трансп'ютер - це мікрокомп'ютер з власною внутрішньою пам'яттю та каналами (links) для з'єднання з іншими трансп'ютерами. Термін "трансп'ютер" виник внаслідок об'єднання слів "транзистор" і "комп'ютер". Перший трансп'ютер T414 був представлений фірмою Immos Inc. (Великобританія) у 1983 році. Його основні характеристики:

розрядність 32 біти;

об'єм внутрішньої пам'яті 2 Кбайти;

число лінків - 4;

швидкість обміну по лінку 5, 10, 20 Мбіт/с;

тактова частота - 15 МГц;

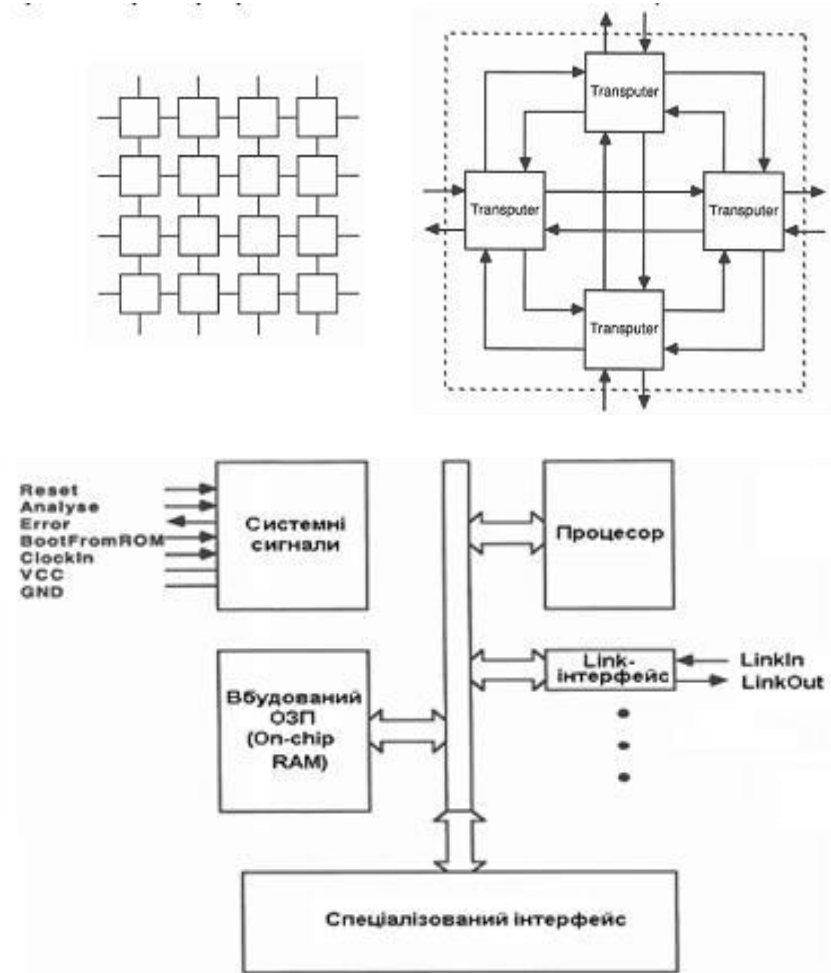
продуктивність 10 MIPS.

Основна область його застосування - це масово-паралельні обчислювальні системи, в яких трансп'ютер відіграє роль базового обчислювального елемента.

Для трансп'ютерів характерним є наявність внутрішньої пам'яті та вбудованого міжпроцесорного інтерфейсу, тобто каналів зв'язку з іншими ВІС МП. Комунікаційні канали можуть здійснювати обмін даними одночасно з обчисленнями, практично не знижуючи продуктивності. Завдяки цьому системи на основі трансп'ютерів характеризуються високими показниками ефективності - продуктивність/вартість.

За кількістю розрізняють багатокристальні МК і однокристальні МК. До багатокристальних комплектів відносять МУК з однокристальними і секційними МП.

Однокристальний МП є конструктивно завершеним виробом у вигляді однієї ВІС, інша назва - МП з фіксованою розрядністю даних. До цього типу належать процесори фірм Intel (P5, P6, P7), AMD - K5, K6, Cyrix - 6XB6, Motorola - Power PC 603, 604, 620, серії K5B0, 1B01, 1B06, 1B10, 1B21 та інші.



У секційних МП в одній ВІС реалізується лише деяка функціональна частина (секція) процесора. Її назва секційних МП - розрядно-модульні МП або МП з нарощенням розрядності. Секційність ВІС МП зумовлює значну гнучкість МТОС, можливість нарощення розрядності даних, створення специфічних команд із набору мікрокоманд. До секційних належать МП серій К5В2, К5В3, К5В4, К5В9, К1В00, К1В02, К1В04.

За способом керування розрізняють МП із схемним та МП з мікропрограмним керуванням.

МП зі схемним керуванням мають фіксований набір команд, розроблений фірмою-виробником, який не може змінювати користувач.

У МП з мікропрограмним керуванням систему команд розробляють при проектуванні конкретного МНК на базі набору найпростіших мікрокоманд з урахуванням класу задач, для розв'язання яких призначений МНК.

За типом архітектури, або принципом побудови розрізняють МП з фоннейманівською архітектурою і МП з гарвардською архітектурою.

За типом системи команд розрізняють CISC (Complete Instruction Set Computing) - процесори з повним набором команд, в яких швидкодія опрацювання інформації визначається тактовою частотою МП. Тому підвищення швидкодії опрацювання інформації в них йшло по шляху підвищення тактової частоти. RISC (Reduced Instruction Set Computing) - процесори зі зменшеним набором команд, в яких велика швидкодія, навіть при використанні невисокої тактової частоти, досягається за рахунок технології опрацювання інформації. VLIW (Very Large Instruction Word) - процесори з довгим командним словом з'явилися відносно недавно - в 1990-х роках. Їх особливістю є використання дуже довгих команд (до 12В біт і більше), окремі поля яких містять коди, що забезпечують виконання різних операцій. Таким чином, одна команда викликає виконання зразу декількох операцій паралельно в різних операційних пристроях, які входять в структуру мікропроцесора. При трансляції програм, написаних на мові високого рівня, відповідний компілятор проводить формування довгих VLIW-команд, кожна з яких забезпечує реалізацію процесором цілої процедури або групи операцій. До VLIW-процесорів відносяться PAB500 компанії Hewlett-Packard, Itanium - спільна розробка Intel та Hewlett-Packard, деякі типи ЦСП та мультимедійних процесорів.

Основними параметрами МП є система (набір) команд, розрядність і тактова частота.

Система команд весь час вдосконалюється. З'являються нові команди, що замінюють цілі групи попередніх. Наприклад, команда множення, що є в системі команд МП i8086/8088 замінила цілі підпрограми множення чисел попередніх МП. Сучасні МП можуть виконувати до кількох сотень команд (інструкцій).

Розрядність показує, скільки двійкових розрядів (бітів) інформації опрацьовується, або передається за один такт, а також скільки двійкових розрядів використовується для адресації пам'яті.

Об'єм пам'яті, що адресується, або по іншому адресний простір, залежить від кількості ліній шини адреси МП. Якщо ліній 20, то адресний простір становить $2^{20}=1\text{Мбайт}$ і т.д.

Тактова частота вказує, скільки елементарних операцій (тактів) МП виконує за секунду. Але вона є лише відносним показником продуктивності МП. Через архітектурні відмінності в деяких МП за один такт виконується робота, на яку інший МП затрачає кілька тактів.

За прогнозами економістів та спеціалістів розвиток технології виробництва МП у найближчі роки ітиме в напрямку: 1) збільшення густини транзисторів на кристалі, яка на сьогодні складає біля 0,05 мкм ($5 \cdot 10^{-6}$ м) при кількості транзисторів на кристалі близько 40 млн.; 2) росту числа шарів металізації; 3) підвищення тактової частоти; 4) зменшення напруги живлення та питомої (на один транзистор) споживаної потужності; 5) зменшення питомої (на один транзистор) теплової потужності, що виділяється в кристалі.

На шляху подальшої мініатюризації крім фізичних обмежень є і економічні. Справа в тому, що для кожного наступного покоління вартість технології подвоюється. Так у 1986 році МП Intel80386 містив $250 \cdot 10^3$ транзисторів і випускався на заводі, що коштував 200 млн. \$. В 1998 році завод фірми Intel, призначений тільки для обробки напівпровідникових кристалів коштував вже 2,4 млрд. \$. Також зростає термін виготовлення МП і відсоток браку. Але основною проблемою є відвід тепла. Вже зараз на кристалі розсіюється потужність до 60 Вт.

Основні області застосування

Основними областями застосування МП можна вважати: по-перше, традиційні для застосування засобів обчислювальної техніки області:

1. використання для створення комп'ютерів, як засобів обчислювальної техніки;
2. використання у вбудованих мікро-ЕОМ, які враховують конкретні умови об'єкту управління;

по-друге, нетрадиційні області (замість структур з "жорсткою" логікою, в яких до появи мікропроцесорів використання засобів обчислювальної техніки і не передбачалось).

Тепер ця нетрадиційна область стала переважаючою областю використання МП і з часом очевидно буде розширюватись. За різними даними з усіх МП, що використовують в нетрадиційних областях, 28% - припадає на застосування в системах автоматизації і управління, 25% - засобах вимірювальної техніки, 17% - економіці та управлінні, 11% - зв'язку, 4.5% - засобах металообробки, 4% - медицині, 1.5% - транспорті, 9% - інших сферах використання. Це середні цифри, які мають тенденцію весь час змінюватися.