

Лекция 6

Микропроцесори

1 Микропроцесори (CPU – Central Processing Unit)

1.1 Исторически преглед на развитието на микропроцесорите

Началото на развитие на микропроцесорните технологии се свързва с фирмата Intel (Integrated Electronics). Тя е основана през 1968 година от Роберт Нойс и Гордан Мур. Основните цели на компанията били да използват достиженията на полупроводниковите технологии за създаване, на основата на силициеви кристали, високоефективни електронни устройства. Първите продукти на фирмата били микросхеми на основата на биполярни транзистори, но след това започнали разработки на електронни схеми с полеви МОП-транзистори.

За начало на разработване на микропроцесори се смята 1971 година, когато фирмата Intel създава микропроцесора **i4004**. Той е имал разрядност 4 бита, можел е да адресира 640 байта памет, работел е с тактова честота 108 kHz и е имал производителност 0.06 MIPS (Million instruction per second - милиони инструкции за секунда). Такъв микропроцесор е можел да работи като изчислително ядро на калкулатори. Съдържал е 2300 р-канални МОП транзистора и е изпълняван по 10 мкм технология.

През 1972 година Intel пуска в продажба процесора **i8008**, който първоначално работи на честота 200 KHz. Разликата от процесора 4004 се състои в това, че той притежава 8-битова шина за данни.

През 1974 година се появява 8-битовия процесор **i8080**, с който се комплектовали различни терминали, контролери и смятаният за първи персонален компютър **Altair**. Той е съдържал 6000 транзистора, изработван е по 6 мкм технология, имал тактова честота 2 MHz и можел да адресира 64 KB памет. Този микропроцесор в продължение на почти цяло десетилетие се явява световен стандарт сред 8-битовите микропроцесори. Различни модификации от него се произвеждат в продължение на доста години, както от компанията Intel, така и от редица други компании.

Следващият етап в развитието на микропроцесорите Intel става **i8085**, с 5 MHz тактова честота, 6500 транзистора и 3 мкм технология. Той съхранява регистровата структура на **i8080** и програмната съвместимост с него, но били добавени портове за последователен интерфейс и бил изменен външният интерфейс. Било установено едно захранващо напрежение от +5V.

Първият 16-битов процесор **i8086** Intel пуска през 1978 година. Той става родоначалник на знаменитото семейство Intel **80x86** (често се означава като **x86**). Архитектурата на този процесор се отличава значително от архитектурата на предишните 8-битови микропроцесори, ориентирани за решаване на несложни задачи. В Intel **8086** са реализирани голям набор команди и способности на адресация на паметта и е обезпечена ефективна обработка на прекъсванията. Той работи с честота 5 MHz, има производителност 0.33 MIPS, изработен е по 3 мкм технология и има 29000 транзистора. Процесорът има 20-битова шина за адреси и 16-битова шина за данни. Адресируемата памет е 1 MB, регистровата архитектура и системата от команди съществено се отличават от тези на **i8085**, но се запазват общите идеи вложени в концепцията на микропроцесорите на фирмата.

Наред с основния микропроцесор е разработен и аритметичен копроцесор **i8087**, който се включва към **i8086** за изпълнение на операции с числа с плаваща запетая (при изчисленията на тригонометрични, логаритмични и други математически функции).

На следващата година се появява **i8088** – същият микропроцесор, но с 8-битова шина за данни. С него започва историята на най-популярните компютърни системи в света и в настоящият момент – IBM PC. През целият период на развитие на IBM PC компютрите, Intel е неразривно свързан с това развитие, докато IBM има доста по-малко участие в него.

Масовото разпространение и откритата архитектура на IBM PC, както и програмната и апаратна съвместимост и лесна експлоатация, довеждат до лавинообразно развитие на технологиите и програмното обезпечаване на компютърните системи и появата на множество неголеми фирми, разработващи оборудване и програмни продукти за тях. Това развитие дава отпечатък и върху развитието на микропроцесорите, те се усъвършенстват с голяма скорост, но развитието им се обуславя от принципа за обратната съвместимост – старите програми трябва да работят на новите усъвършенствани микропроцесори. Следователно, всички нововъведения в архитектурата на процесорите е трябвало да бъдат ‘пристройвани’ към съществуващото процесорно ядро. Върху архитектурата на микропроцесорите се отразяват и особеностите на архитектурата на самите PC компютри.

Микропроцесорът **i80286** отбелязва нов етап в развитието на архитектурата на процесорните устройства. Той се появява през 1982 година и съдържа в структурата си 134000 транзистора комплектовани по 1.5 мкм технология. Основното различие от предишните модификации се изразява във въвеждането на блок за управление на паметта (MMU – **Memory Management Unit**), който реализира така нареченият защитен режим (Protected Mode). Процесорът адресира 16 MB памет, осигурява мултизадачен режим на работа и може да работи с виртуална памет до 1 GB. Тези възможности на **i80286** не намират широко приложение; той се използва като много бърз **i8086**. На основата на този микропроцесор, в средата на 80-те години беше разработен 16-битовият персонален компютър IBM PC/AT, станал много популярен за времето си.

През 1985 година се появява първият 32-битов микропроцесор **i80386**. Той съдържа 275000 транзистора и е изпълняван по 1.5 мкм технология. Има 32-битова шина за данни и адреси, а адресируемата физическа памет достига 4 GB. Усъвършенстван е защитеният режим на работа и се въвежда странична организация на паметта. Аритметическият копроцесор **i80387** е въведен за обработка на данни с плаваща запетая. Като междинна версия е разработен вариант с 16-битова шина (адресируема памет 16 MB) **i80386SX**, който е предназначен за замяна на процесорите **i80286** в компютрите от типа IBM PC/AT.

На основата на **i80386** се появяват първите версии на Microsoft Windows и неговите приложения. От тогава датира така наречената ‘положителна обратна връзка’ – при появата на всеки нов процесор, софтуерните компании да пускат нови привлекателни продукти, оползотворяващи възможностите им. Така новите софтуерни продукти постоянно изискват все по-мощни компютърни системи, а новите апаратни устройства изискват нови софтуерни продукти за ефективно използване на ресурсите им. Получава се затворен кръг, който може да се смята за естествен, но големите апаратни ресурси не стимулират софтуерните специалисти да разработват ефективни алгоритми за решаване на задачите. Типичен пример в това отношение е програмната среда Windows и разработваните на нейна основа приложни продукти. Някои наричат Windows най-големият вирус създаван в компютърните системи.

Процесорът **i80486** се появява през 1989 година. Изграден е от 1200000 транзистора, като е използвана 1 мкм технология. Различава се от **i80386** по вграждането в кристала на микропроцесора на първична кеш-памет (8 KB) и математически копроцесор (за работа с числа с плаваща запетая). В предишните версии на микропроцесорите се използва външен копроцесор с означения x87. Освен това, за повишаване на производителността в основата на този по същество CISC микропроцесор е предвидено RISC ядро. Съществуват разновидности на **i80486**, отличаващи се по отсъствието на копроцесор и вътрешна кеш памет (**i80486SX**), с удвояване на процесорната честота (**i80486DX2**) или утрояване на честота на процесора (**i80486DX4**) и др.

Благодарение на ефективната производствена политика, компанията Intel има лидерска позиция в областта на производството на микропроцесори за персонални компютри. В началото на 90-те години обаче, редица компании, работещи в областта на технологиите за производство на високоинтегрирани електронни схеми, като Advanced

MicroDevices (AMD), Cyrix, Texas Instruments, IBM и др. организираха производство на микропроцесори, функционално аналогични на **i80386** и **i80486**. По редица характеристики, като производителност и цена, някои от тях превъзхождат процесорите произвеждани от Intel. Опитите на Intel, да защити по съдебен ред авторството на тези разработки претърпяват неуспех, тъй като в американското законодателство, числени означения не се разглеждат като запазена марка. При тези условия, Intel е принуден да съсредоточи усилията си в разработката на микропроцесор от ново поколение (пето поколение), който е наречен **Pentium** (пети) – вместо **i80586**.

1993 е годината на появата на първите микропроцесори **Pentium**. Първоначално те работят с тактова честота 60 и 66 MHz. Те са 32-битови микропроцесори с 64-битова шина за данни. Съдържат около 3 100 000 транзистора и е използвана 0.8 мкм технология. В тези микропроцесори е внедрена така наречената **Харвардска архитектура** с разделяне на потока на командите и данните посредством разделяне на кеш-паметта на два блока – за команди и данни. Освен това, в **Pentium** се въвежда суперскаларна архитектура, при която няколко операции едновременно се изпълняват в четири паралелно работещи устройства: две за обработка на целочислени данни; едно за обработка на числа с плаваща запетая и едно за команди с условен преход. Така изпълнението на командите се организира във вид на конвейер, съдържащ пет последователни степени (конвейерна обработка на информацията).

Консумираната мощност на първите микропроцесори **Pentium** е доста висока (до 20 W), което в някои случаи предизвиква прегряване по време на експлоатация. Интересът към този микропроцесор е съдържан в началото поради не дотам високата производителност (в сравнение например с AMD 486DX4), поради високата цена, и поради установена грешка в копроцесорният модул на първите модели **Pentium**. Въпреки, че математически беше доказана малката вероятност за възникване на грешката, това все пак забави в известна степен продажбите на микропроцесорите **Pentium**. Intel беше принудена да замени безплатно, голям брой продадени микропроцесори с нови, в които този дефект беше отстранен.

През 1994 година се появиха микропроцесори **Pentium** с тактова честота 75, 90 и 100 MHz. С почти същите електронни схеми, но изпълнявани по 0.6 мкм технология те са с по-ниска консумация на енергия, което позволява вътрешно умножение на честотата на процесорното ядро. През 1995 се появиха версии със 120 и 133 MHz тактова честота и изпълнение по 0.35 мкм технология. Версиите със 150, 160 и 200 MHz се появиха през 1996 година. Това е периодът, когато **Pentium** става масово използваният микропроцесор.

Паралелно с развитието на **Pentium** се работи и по модификацията **Pentium Pro**, който става родоначалник на ново поколение микропроцесори P6 (**Pentium** от шесто поколение). Той се отличава с разширяване на конвейерната обработка на данните (до 12 степени на паралелно заредени команди). В процесора е реализирано предварително изтегляне на информация от паметта, която предстои да бъде обработена и изпълнение на операциите в зависимост от това дали са готови данните за тях. Така естествената последователност на изпълнение на командите може да не се спазва, като по-задна команда може да се изпълни преди някоя по-ранна, стига данните за нея да са готови. В резултат на това се получава до 1.5 – 2 пъти по голяма производителност при работа с 32-битови операнди (данни). При работа с 16-битовите приложения (DOS), а така също и с Windows 95, **Pentium Pro**, не дава по-голяма производителност.

Друго отличие на **Pentium Pro** е това, че в корпуса на микропроцесора е поместена още една интегрална схема (силициев кристал), която осигурява вторична кеш-памет, работеща с честотата на процесорното ядро – като начало 256 KB. Микропроцесорът е изграден от 5 500 000 транзистора, а кристалът на вторичната кеш-памет - 15 500 000 транзистора. Двата кристала се свързват помежду си с отделна високоскоростна шина, работеща с тактовата честота на микропроцесора.

Използването на две независими шини е характерна особеност на процесорите от семейството P6. Основната системна шина FSB (Front Side Bus) работи с тактова честота определена от възможностите на микропроцесора и системната шина. На сегашният етап FSB шината работи с честоти от 66, 100, 133, 200, 400 и 533 MHz. Отделната високоскоростна шина BSB (Back Side Bus) се използва за свързване на вторичната кеш-памет с процесора. Шината BSB обезпечава обмен на информацията с честота от половината до пълната вътрешна честота на микропроцесора (500 MHz 2 GHz).

През 1997 година след доста отлагания се появява микропроцесорът **Pentium MMX**. Технологиията MMX (MultiMedia eXtention – мултимедийно разширение), предполага паралелна обработка на група данни с една команда (инструкция). Тя е разработена за ускоряване на мултимедийните приложения, в частност с обработка на графични (растерни) изображения или аудиоинформация. Ефективността на тази технология предизвиква доста спорове сред разработчиците, тъй като ускоряването на обработката при изпълнение на операциите се компенсира до голяма степен с допълнителните операции по подготовката на данните за извършване на обработката.

Освен MMX, тези микропроцесори имат удвоен обем на първичната кеш-памет в сравнение с обикновеният **Pentium** и някои елементи от технологията **Pro**. Микропроцесорите **Pentium MMX** съдържат в ядрото си 4 500 000 транзистора и изпълнение по 0.35 мкм технология.

Технологията MMX беше обединена с технологията на **Pentium Pro** и през 1997 се появи като процесор **Pentium II**. Той представлява леко орязан **Pentium Pro** с повишена тактова честота и въведена технология MMX. Трудностите по разполагането на вторичната кеш-памет в корпуса на микропроцесора е преодолян с не много удачен прием – отделна интегрална схема (чип) за микропроцесорното ядро и чипове със статическа памет разположение на една платка (карта). Всички схеми са затворени с един общ корпус и се охлаждат с допълнителен вентилатор. Първите микропроцесори **Pentium II** са с тактова честота на процесорното ядро 233, 266 и 300 MHz (0.35 мкм технология). През 1998 година беше достигната честота 450 MHz (технология 0.25 мкм), като външната тактова честота (на системната шина) се повишава от 66 на 100 MHz. Вторичната кеш-памет на тези микропроцесори работи на половината честота на процесорното ядро.

Микропроцесорите **Pentium II** стават изключително популярни, но конкуренцията от страна на другите производители (AMD, Cyrix), принуждава Intel да разработи по евтини варианти на основния модел микропроцесори. Така се появява семейството процесори **Celeron**, първите модели от които нямат никаква вторична кеш-памет, а следващите модели имат намалена вторична кеш – 128 KB, който по-късно се разполага в самия кристал на микропроцесора. Достига се честота на работа 333, 366, 400 MHz, като вторичната кеш-памет работи с честотата на процесорното ядро.

През 1999 година се пускат рекорден брой нови модификации на Intel микропроцесори и се реализира голям скок в производителността им. Това се дължи на преход към производствена технология с топологическа разрешаваща способност от 0.18 мкм и възможност да се увеличи значително тактовата честота на процесорното ядро. В първите месеци на 1999 се появиха **Pentium III**, **Pentium III Xeon** и **Celeron** с честоти над 450 MHz. В края на годината тактовата честота на микропроцесорите беше увеличена до 800 MHz.

Процесорите **Pentium III** са по-нататъшно развитие на технологията MMX, чрез въвеждане на допълнителни команди изпълняващи операции за едновременна обработка на няколко числа с плаваща запетая. Това разширение на архитектурата на микропроцесорите от семейството P6 е наречено SSE – Streaming SIMD Extension (разширение за поток от данни). Първите микропроцесори **Pentium III** се изпълняват по 0.25 мкм технология, но скоро се преминава на 0.18 мкм технология

Едновременно с **Pentium III** беше организирано производство на **Pentium III Xeon**, ориентиран за работа в мултипроцесорни системи – за сектора на високопроизводителните сървъри и работни станции.

Процесорите **Pentium 4** се появиха през 2000 година и представляват ново поколение микропроцесори от фамилията на Intel. Основните технически промени в него се отнасят до достигане на скорости от 1.3 GHz до 2.8 GHz, 55 000 000 транзистора, 0.13 мкм процес, честота на процесорната шина 400 или 533 MHz, 20 - степенна хиперконвейрна технология, усъвършенствана система за предсказване на преходите в програмите и редица други подобрения. Intel изоставиха римските цифри и ги замениха със стандартни обозначения с арабски цифри. Вътрешно Pentium 4 представя нова архитектура, която от Intel наричат NetBurst микроархитектура. Процесорите Pentium 4 се отнасят към седмо поколение микропроцесори на Intel.

През 2001 беше представен най-високият клас процесор, произвеждан от Intel, **Itanium**, който е проектиран главно за пазара на сървъри. Той е първият процесор от продуктовата фамилия **IA-64** на **Intel** и е първият 64-битов микропроцесор, разпространяван масово на пазара на компютърни елементи. Тези микропроцесори имат изцяло нов дизайн и първоначалната разработка е погълнала изключително много разходи. Върху тази разработка Intel и Hewlett-Packard работят съвместно от 1994 година. **Itanium** включва нова архитектура, която Intel нарича EPIC (explicitly parallel instruction computing - напълно паралелни инструкции за изчисления). Тя позволява изпълнение на няколко инструкции едновременно. За съжаление, кодът, разработен специално за IA-64, няма да работи на x86-32 процесорите, защото наборът от команди на микропроцесора и самата архитектура са коренно различни.

AMD разработват своя конкурентна, но различна 64-битова архитектура. Тя се нарича x86-64 и ще бъде реализирана в чипове с кодово наименование **Hammer**. Архитектурата x86-64 се различава от IA-64 по това, че тя се явява по-скоро разширение на текущата IA-32 архитектура, а не изцяло нова 64-битова архитектура. Затова се очаква, че тя по-бързо ще се адаптира към PC компютрите и ще изпълнява с по-голяма скорост съществуващите 32-битови приложения.

1.3. Спецификация на процесорите

Микропроцесорите могат да се идентифицират по различни признаци, но съществуват два основни параметъра, които определят до голяма степен работоспособността им. Това са ширина (разрядност) и скорост на микропроцесора. Скоростта на микропроцесорите се определя от честотата на управляващите импулси, която се измерва в мегахерци (MHz) и гигахерци (GHz) – брой тактове за секунда. Колкото по-голяма е тактовата честота, толкова по-голям брой операции се извършват за единица време. Ширината на микропроцесор се определя от спецификацията на три основни елемента: регистри, шини за данни и шини за адреси в паметта. Освен тези основни параметри, за качествата на микропроцесорите имат значение и следните допълнителни показатели: тип и големина на кеш-паметта, брой и степени (дълбочина) на конвейерните вериги, технологии MMX, 3DNow! и Enhanced 3DNow и други.

Бързодействие на микропроцесорите. Кварцов стабилизирани генератор контролира тактовите честоти в компютърните системи. В съвременните компютри основният тактов генератор е вграден в чипсета на дънната платка, а в по-старите системи се изпълняваше като отделен елемент. Когато на кварцовата пластина на тактовия генератор се подаде напрежение, той започва да вибрира (трепти) с хармонична честота, която се определя от размерите на кристала. Трептенията на кристала генерират променлив ток с честота, хармонична с честотата на трептене. Този променлив ток представлява тактуващ сигнал, който формира последователност от действия изпълнявани от електронните логически

схеми. Съвременните компютърни системи изпълняват милиони тактове за секунда, което съответства на милиони херци (MHz).

Един такт на тактовия генератор е най-малкият интервал от време за микропроцесора. Всяко действие изисква поне един такт, но обикновено за по-сложни действия се изискват по няколко такта. Различните времена (тактове) за изпълнение на дадена инструкция прави сравнението на компютърните системи по бързодействие доста трудно. Може два микропроцесора да работят на една и съща честота и единият да е по-бърз от другия. Така например, един **i80486** микропроцесор изпълнява два пъти повече инструкции от **i80386** за същия брой тактове. Затова той се смята за по-бърз микропроцесор въпреки същата тактова честота. По-същият начин един **Pentium** микропроцесор изпълнява повече инструкции от **80486** микропроцесор. Това се дължи на допълнителните елементи включени в организацията на работа на микропроцесорите.

Друг важен фактор, който влияе върху бързодействието на микропроцесорите е, че практически всички модерни процесори от **i80486** работят с някакъв множител спрямо скоростта на дънната платка (системната шина). Например **Pentium 4** 2.8GHz работи със скорост, която е $21/4$ (5.25) пъти по-голяма от тази на дънната платка (533 MHz). До средата на 1998 година повечето дънни платки работеха с 66 MHz или по-малка. През април същата година Intel пусна на пазара чипсети и микропроцесори проектирани да работят със 100 MHz. През 2000 и 2001 година скоростта на системната шина достигна 266 и 400 MHz, а за Pentium 4 и до 533 MHz. По принцип, скоростта на процесорната шина се избира така, че да отговаря на типа на паметта, която се използва в компютърната система.

Обикновено скоростта на дънната платка и множителят на честотата на микропроцесора могат да се настройват посредством джъмperi или други механизми за конфигуриране (Setup програма на BIOS). Модерните системи използват схема за синтезиране на променлива честота, която обикновено се намира в чипсета и контролира както честотата на системната шина, така и на микропроцесора. По този начин честотата на микропроцесора може да се настрои така, че да е по-голяма от посочената в паспорта му. Това се нарича **оверклокване** (издуване, изпържаване) на микропроцесора. В много случаи това е допустимо, тъй като основните производители Intel и AMD обикновено преосигуряват своите продукти и допускат работа с по-висока честота. Това крие и известни рискове, тъй като при по-висока честота, топлинното натоварване на микропроцесорите става по-голямо и ако охлаждането не е ефективно може да се получи повреда на процесора.

Повечето процесори на Intel след Pentium II, а по-късно и процесорите на AMD излизат на пазара със заключени множители на честотата. Замисълът на тези мерки е да се попречи на недобросъвестни разпространители да премаркират процесорите (да ги продават като процесори с по-високи показатели). В този случай единственият начин за оверклокване на микропроцесорите е да се използва изменението на скоростта на системната шина (където това е възможно).

Множителят на честота се заключава посредством много малки спойки между няколко контактни точки върху повърхността на чипа. Това означава, че заключването може да се игнорира като се свържат или прекъснат връзките между определени контактни точки. Тази процедура е доста трудоемка тъй като връзките са много тънки и има опасност от повреда на други връзки.

Друг начин, който използват ентусиастите за постигане на по-високи скорости на микропроцесорите е промяна на напрежението, с което работи микропроцесорът. За голяма част от съвременните дънни платки напрежението за микропроцесорите се установява автоматично. При тях системата разпознава и установява правилното напрежение, като чете информация от определени изводи на процесора. Някои дънни платки (Intel) не позволяват ръчни настройки на тези показатели. Други позволяват промяна на напрежението с по една десета от волта нагоре или надолу от стандартната стойност. Чрез изменение на

напрежението могат да се установят условия за стабилна работа на микропроцесорите при оверклокване.

1.4 Шини и регистри на микропроцесорите

Една от характеристиките, която определя бързодействието на микропроцесорите е ширината на неговите шини и регистри. Тази ширина се определя от броя на битовите информация, която могат да бъдат предадени от и към микропроцесора за един машинен цикъл (такт). Шината е група от проводници, по които се пренасят общи сигнали. Обикновено ширината на вътрешната шина и регистрите определя така наречената *машинна дума* – съвкупност от двоични цифри заемащи определен обем памет. Машинната дума за микропроцесорите Pentium е 32 бита (4 байта).

Шини за данни.

Процесорната шина е външната шина за данни. Колкото повече сигнали могат да бъдат изпращани едновременно, толкова повече данни могат да бъдат предавани за единица време. По-широката шина за данни е като магистрала с повече платна, което позволява по-голяма пропускателна способност за трафика.

Данните в компютъра се предават като цифрова информация, състояща се от нули и единици. В даден интервал от време всяка една от линиите на шината провежда 5V импулс (в новите системи по-ниско), с което се сигнализира бит със стойност 1, или 0V, с което сигнализира бит със стойност 0. Колкото повече са линиите, толкова повече битове могат да се изпратят наведнъж. Чиповете 286 и 386SX имат по 16 извода за предаване и приемане на такива данни, т.е. те имат 16-битова шина за данни. Следващите модели на Intel (след 386DX и 486) имат два пъти повече изводи, предназначени за предаване на данни и следователно те са с 32-битова шина за данни. Модерните процесори от типа Pentium имат 64-битови външни линии за данни. Това значи, че всички процесори от Pentium, Athlon, Pentium 4, Itanium имат 64-битова шина за данни.

Друга важна роля на ширината на шината за данни е че тя дефинира и размера на банките памет от които се чете или записва информацията. Така например, 32-битов микропроцесор, какъвто е 486, чете и записва в паметта 32 бита едновременно. Процесорите Pentium четат и записват 64-бита. Тъй като стандартните 72-пинови модули памет с едноредово разположение на изводите SIMM са широки само 32 бита (другите изводи са за адреси и управляващи сигнали), те могат да се инсталират поединично в системите от типа 486, а в системите Pentium трябва да се комплектоват по двойки (за да осигурят 64 линии за данни). Новите модули памет с двуредово разположение на изводите DIMM са широки 64 бита и в системите Pentium те могат да се монтират поединично.

Шини за адреси.

Адресната шина е набор от проводници (линии), пренасящи адресираща информация - информация за описване на местоположението в пространството на паметта, където данните се изпращат или откъдето се четат. Както и при шината за данни, всеки проводник от адресната шина пренася един бит информация. Този единичен бит представлява отделна цифра от адреса на клетката в паметта. Колкото повече проводници се използват за формиране на адресите, толкова по-голям е общия брой възможни адреси на клетки в паметта. Размерът (ширината) на адресната шина определя максималното количество RAM памет (оперативна памет), която може да адресира микропроцесора.

Шината за данни и адресната шина са независими и могат да се използват произволни размери за всяка от тях. На практика обаче, чиповете с по-големи шини за данни имат и по-големи адресни шини. В следващата таблица са дадени размерите на адресните шини на микропроцесорите за PC компютри.

Таблица 4.1. Адресни шини за PC процесори

Процесорна фамилия	Адресна шина	Адресируема памет
088/8086	20-битов	1 MB
286/386SX	24-битова	16 MB
386DX/486/Pentium	32-битова	4 094 MB
Pentium II, III, 4	36-битова	65 536 MB
Itanium	44-битова	16 777 216 MB

Вътрешни регистри (вътрешна шина за данни)

Регистрите представляват клетки памет за съхраняване на информация вътре в микропроцесора. Размерът на вътрешните регистри определя колко информация е способен да обработва процесорът едновременно и как той премества данните вътре между собствените си устройства. Преместването на данните между устройствата на микропроцесора се извършва по линии, които се наричат вътрешна шина за данни. Размерът на регистрите е същият както размерът (ширината) на вътрешните шини.

Когато микропроцесорът извършва някаква обработка на информацията той използва регистрите за да разположи данните преди обработката. Така например, процесорът може да събира числа, разположени в два регистъра и да записва резултата в трети регистър. Размерът на регистрите определя размера на данните върху които процесорът може да оперира. Големината на регистрите също определя и типа софтуер или командите и инструкциите, които процесорът може да изпълнява. Това означава, че процесорите с 32-битови регистри могат да изпълняват 32-битови инструкции, които обработват 32-битови данни. Всички микропроцесори от 386 до Pentium 4 имат 32-битови вътрешни регистри. Микропроцесорите от новото семейство IA-64 (Itanium) има 64-битови регистри.

Някои процесори имат вътрешна шина за данни и регистри, които са по-големи (по-широки) от външната шина за данни. Примери за такива структури са системите 8088 и 386SX. Всеки от тези чипове има два пъти по-широка вътрешна шина за данни и регистри в сравнение с външната процесорна шина. Такива системи се наричат *хибридни* дизайни и се явяват евтини версии на 'истинските' чипове. Така например, 386SX предава данните вътре в процесора по 32 бита едновременно, но при обмяна на данни с външните устройства и паметта комуникацията е ограничена до 16 бита. Това е позволило на проектантите да изготвят евтин вариант на дънна платка, което е било важно за този период.

Когато вътрешните шини са по-големи от външните, микропроцесорът се нуждае от два машинни цикъла за да запълни даден регистър с данни по външната шина. Процесорът 386SX може да запълни един регистър на два пъти по 16-битовата външна шина, докато 386DX извършва зареждането за един машинен цикъл.

При процесорите Pentium размерът на вътрешната и външната шина също е различен, но случая е обратен – външната шина е 64-битова, а вътрешната – 32-битова. Това на пръв поглед създава впечатление, че вътрешната шина и регистрите ще забавят трансфера на данните с външната шина, но трябва да се отбележи, че процесорите Pentium имат два вътрешни 32-битови конвейера за обработка на данните. Така един 32-битов Pentium може да се опиричи на два паралелни 32-битови чипа.

1.5 Конвейерна обработка на инструкциите (суперскаларна архитектура)

При 32-битовите микропроцесори са въведени вътрешни конвейери за изпълнение на инструкциите, което им позволява да изпълняват няколко инструкции едновременно. Тази технология осигурява допълнителна производителност спрямо по-ранните поколения компютърни системи.

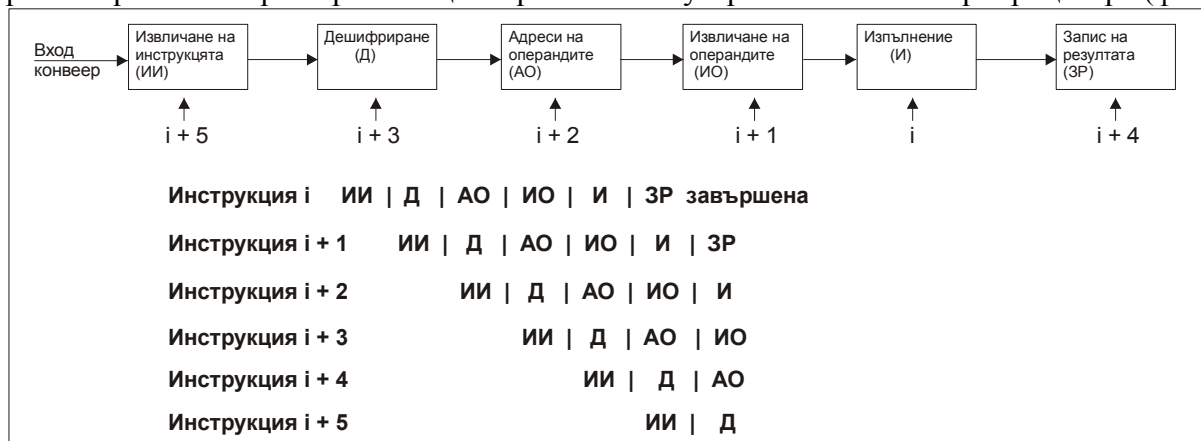
Конвейерната архитектура обикновено се свързва с високопроизводителните RISC процесори. RISC процесорите имат опростен набор инструкции, които освен че са по-прости,

са и по-малко на брой. Въпреки че всяка инструкция върши по-малко работа, като цяло тактовата честота може да бъде по-висока, което увеличава производителността.

Обикновено CISC процесорите използват по-богат и по-пълнен набор от инструкции. Някои от тези инструкции са доста сложни. За изпълнението им се налага те да бъдат разделени на няколко по-прости операции. Например, една операция за сумиране на две числа (данни), намиращи се в паметта, изисква да се изпълнят няколко по-прости операции: извличане (прочитане) на инструкцията от паметта, декодиране (дешифриране) на командата, формиране на адресите на данните, които се обработват, извличане на данните (операндите) от паметта и записването им в регистрите, изпълнение на операцията (сумиране), записване на резултата в паметта и т.н. Тези прости операции общо взето съответстват на набора операции, характерни за RISC процесорите. Както се вижда, разликата между RISC и CISC процесорите се състои в това, че CISC процесорите имат вътрешно машинно реализирани по-сложни команди, които обаче са съставени от по-прости (RISC) инструкции.

При RISC процесорите отделните етапи от изпълнението на една сложна команда се изпълняват от отделни, независими електронни устройства. Това позволява поддръждането на тези устройства в конвейерна верига за последователно изпълнение на инструкциите. Терминът е заимстван от машиностроителната индустрия и описва сходна структура, както конвейера в типичните машиностроителни производства.

В определен момент дадена инструкция се обработва в някое от устройствата на конвейера и след това преминава в следващото. Устройствата през които е преминала дадена инструкция не са натоварени до края на изпълнение на командата и би трябвало да престояват през този период от време. За да не се получава това, тези устройства могат да започнат изпълнение на следващата команда паралелно с изпълнението на текущата. Така се получава застъпване на отделните етапи в изпълнението на няколко операции, което реализира конвейерна организация в работата на устройствата на микропроцесора (фиг.4.3).



Фиг. 4.3. Конвейерна обработка на инструкциите

В даден момент от време всяко устройство обработва различна команда, която се намира в различна степен на завършеност. Когато една инструкция влиза в конвейера, друга излиза, а още няколко се намират в конвейера на различен етап от изпълнението ѝ. Броят на устройствата в конвейера е различен за различните микропроцесори. Понякога броя на устройствата в конвейера се нарича ширина на конвейера. Ако се приеме, че броя на устройствата в конвейера е n , то би трябвало производителността на микропроцесора да се увеличи n пъти в сравнение с безконвейерния микропроцесор. Това е така само в случаите, когато програмата не съдържа инструкции за преход (инструкцията която следва зависи от резултата на текущата инструкция) и когато отделните инструкции са с еднакво времетраене и всички операции минават през всички устройства. На практика тези условия трудно се

изпълняват за цялата програма, поради което производителността е по-ниска от теоретичната.

Микропроцесорите при които за първи път се използва тази технология (80386) има 6 степенна конвейерна организация. В съвременните микропроцесорни системи (от типа Pentium) се използват по няколко конвейерни вериги. Intel наричат възможността за изпълнение на инструкциите в повече от една конвейерна верига *суперскаларна* технология.

1.6 Кеш памет.

Основната памет на компютърните системи (RAM) се реализира с относително бавна динамична памет (DRAM). Обръщението към тази памет обикновено води до престой на микропроцесора за изчакване на зареждането на информацията от паметта. Статичната памет (SRAM) е изпълнена от тригерни елементи и може да работи с честотата на микропроцесора. Тя не се използва като масова оперативна памет поради високата си цена. Освен това, данните от основната памет се трансформират до микропроцесора посредством системната шина, чиято честота е доста по-ниска от честота с която работи микропроцесора.

Разумен компромис за изграждане на икономични и производителни системи е използването на йерархичен способ на организация на паметта. Идеята е да се съчетае голям обем DRAM памет с относително неголяма, но бърза SRAM памет, работеща с честотата на микропроцесора. Такава памет се нарича кеш-памет.

Значението на думата 'кеш' е 'таен склад'. В компютърните системи този склад е 'прозрачен' – за програмите той не представлява допълнителна адресируема памет. Кеш паметта се явява допълнителен бързодействащ склад за адресируемата памет в компютърната система.

Вътрешната кеш-памет представлява бърза буферна памет, която обикновено се вгражда в схемата на микропроцесора. В процеса на работа отделни блокове информация (данни или програмен код) се копират от основната памет (RAM) в кеш-паметта. Тази процедура на копиране се нарича кеширане. В съответствие с алгоритъма на кеширане определени блокове от паметта се копират в кеш-паметта и заместват други блокове, които вече са били използвани от микропроцесора.

Когато микропроцесорът се обръща за прочитане на команда или данни, специален кеш контролер проверява дали те не се намират в кеш-паметта. Ако необходимата информация е там, тя се извлича много бързо, тъй като процеса се извършва с тактовата честота на микропроцесора. Такъв случай на обръщение към паметта се нарича кеш попадение (cache hit). Ако необходимата информация не се намира в кеш-паметта тя се зарежда от основната памет (RAM) и едновременно се записва в кеш-паметта. Такъв случай се нарича кеш пропуск (cache miss).

Повишаването на бързодействието на компютърните системи се получава, когато кеш попадения се реализират много по-често отколкото кеш пропуските. Висок процент на кеш-попадения се получава, благодарение на това, че в по-голямата част от случаите обръщението към клетки от паметта се извършва в области, които са използвани преди това.

В съвременните компютри кеш паметта обикновено се изпълнява на две нива (в най-новите микропроцесори и на три нива). Първичният кеш (L1 cache) се нарича вътрешен кеш и се вгражда в схемата на микропроцесора. Неговият обем е малък (8 – 32 kB). В най-новите модели микропроцесори L1 cache е 64 kB и повече. За повишаване на производителността на микропроцесорите, за данни и програмен код понякога се използва отделна кеш памет - **Харвардска архитектура**. Когато първичната кеш памет е обща и за данни и програмен код микропроцесорът е с **Принстънска архитектура**.

Вторичната кеш памет (L2 cache) се разполага или в кристала (чипа) на микропроцесора или отделно от него на обща платка (Pentium P6). Тази памет се свързва с микропроцесора посредством вътрешна шина на микропроцесора (back side bus) – задна шина. Капацитетът на тази памет е значително по-голям – 256 kB, 512 kB или 1 MB.

Кеш контролерът обезпечава така наречената кохерентност (съгласуваност) на данните от кеш паметта и данните в основната памет. Това е особено важно, тъй като към тези данни може да се обръща не само микропроцесорът но и други активни устройства (адаптери) включени към различните шини в компютърната система. Трябва да се има пред вид и това, че микропроцесорите могат да бъдат няколко и всеки да има собствена кеш памет.

Контролерът на кеш паметта оперира с *низове (cache line)* с определена дължина. Низовете съхраняват блок от паметта имащ дължина каквато е дължината на низа. С всеки низ е свързана информация за адреса на блока в основната памет, който се съхранява в низа. Информацията за съхранявания блок от паметта в низа се нарича *tag (tag)* и е записана в специална памет (памет на таговете).

В зависимост от начина на установяване на взаимно съответствие между низовете и блоковете от паметта се различават три вида архитектура на кеш паметта: кеш с пряко изображение (*direct mapped cache*); напълно асоциативен кеш (*fully associative cache*) и наборно-асоциативен кеш (*set-associative cache*).

1.7 Математически копроцесор.

Математическият копроцесор е предназначен за разширяване на изчислителните възможности на централния процесор - изпълнение на аритметически операции, математически функции и други. В различните поколения процесори той е носил различни наименования - FPU (Floating point Unit - процесор за числа с плаваща запетая) или NPX (Numeric Processor Unit - числов процесор). Прилагането на математическия копроцесор повишава производителността на изчислителната машина многократно.

Физически копроцесорът може да е отделна микросхема (8087, 80287 и 80387 за модели 386 и по-ниски), които се включват към локалната шина на микропроцесора. В този случай централния процесор и копроцесора се свързват посредством специален интерфейс. Процесорите 486 и по-нови модели имат само встроени копроцесори и за тях не се предвижда интерфейс за връзка с централния процесор. Копроцесора изпълнява специфични команди, но цялата дейност по декодиране на инструкциите се изпълнява от CPU. Той може да работи паралелно с централния процесор, без да е зависим от превключването на задачите в защитен режим.

Копроцесорът съдържа блок от регистри за данни, регистри за управление и група регистри за състоянието и указатели. Регистрите за данни са с разрядност 80 бита и са организирани в стек.

1.8 MMX и 3DNow! технология.

Технологията MMX е абривиатура на понятието мултимедийни разширения (MultiMedia eXtensions) или матрични математически разширения (Matrix Math eXtensions). MMX се състои от две архитектурни подобрения в централното процесорно устройство. Първото се отнася до увеличаване на кеш-паметта от първо ниво (L1). Това подобрява значително производителността на компютърната система. Другото подобрение се отнася до въвеждане на допълнителни операции на микропроцесора, свързани с обработката на специфични данни използвани в мултимедийните приложения. При обработката на видео, аудио, графика или анимация се използват специфични повтарящи се цикли, които в много случаи заемат над 90% от времето за обработка на данните. MMX технологията е насочена към облекчаване на обработката на този тип информация.

MMX технологията е ориентирана за използване в 2D/3D графичните мултимедийни приложения и комуникациите. Това разширение на базовата архитектура се появява във второто поколение процесори Pentium. Основната идея на MMX се заключава в едновременната обработка на няколко елементи от данни за една инструкция на

микропроцесора SIMD (Single Instruction - Multiple Data). Технологиата MMX използва нови типове опаковани 64-битови целочислени данни. Тези данни могат да се обработват по специален начин в регистри MMX0-MMX7, представляващи младшите битове на стека на 80-битовите регистри на FPU (регистрите на копроцесора за операции с плаваща точка). Съвпадението на регистрите MMX и FPU налага ограничения на последователността на операциите използващи FPU и MMX. Отговорността за организацията на съвместното използване на тези регистри е оставена на програмистите.

Една от особеностите на MMX технологиите е подържането на аритметика с насищане (saturating arithmetic). Тя се отличава от обикновената аритметика с циклическо препълване (wraparound mode) по това, че при препълване в резултата се фиксира максимална възможна стойност за дадения тип данни, а преноса се игнорира. При препълване надолу, резултатът се фиксира на минимална възможна стойност.

MMX технологията се реализира чрез 57 допълнителни инструкции за едновременна обработка на няколко единици данни. Едновременната обработка на 64-битова дума може да съдържа както една единица данни така и 8-еднобитови, 4-двубитови или 2 4-битови данни. За извършване на съответните операции данните предварително се опаковат в 64-битови единици.

През 1999 година Intel представи микропроцесора Pentium III, в който е въведено допълнение към MMX технологията, чрез добавяне на нови инструкции на микропроцесора. Тези команди се отнасят до така наречените 'поточни SIMD разширения' (Streaming SIMD Extension – SSE). SSE включва 70 нови инструкции за обработка на графика и звук.

SSE2 технологията беше представена през 2000 година с появата на модела Pentium 4. Тя съдържа 144 допълнителни SIMD команди. SSE и SSE2 инструкциите са много полезни при MPEG2 декодирането, което е стандартна схема за компресия при DVD дисковете.

Технология **3DNow!** беше въведена от AMD в процесорите K6-2 като алтернатива на SSE технологията на Intel. Тя позволява да се работи с нов тип данни - двойка опаковани числа с плаваща точка. Тези числа заемат по 64 бита в регистрите на MMX. По-късно беше добавена **Enhanced 3Dnow!** към процесорите Athlon и Duron.

1.9 Програмен модел на 32-битови микропроцесори

32-битовите микропроцесорите съдържат в основата си концепциите залегнали още в първия модел от това семейство – **i80386**. В този модел на Intel се преодолява твърдото ограничение за дължина на непрекъснатия сегмент от паметта от 64 KB. В защитен режим при 32-битовите микропроцесори тази граница е преместена до 4 GB – предел, който по времето на създаване на **i80386** е бил почти равнозначен на безкрайност. Освен това, тези микропроцесори подържат виртуална памет с обем до 64 TB (терабайта - 10^{12} байта). Това се постига посредством встроения блок за управление на паметта **MMU**, поддържащ механизъм за сегментация и странична организация на адресите (Paging). Предвидена е система за защита на паметта при операции за въвеждане и извеждане на информацията и при превключване на задачите, която действа на четири нива. Процесорите могат да работят в два режима, като превключването между тях е доста бързо и надеждно:

Real Address Mode – режим на реална адресация (реален режим – Real Mode), който е напълно съвместим с режима на работа на **i8086**. В този режим е възможна адресация до 1 MB физическа памет.

Protected Virtual Address Mode – защитен режим на виртуална адресация (защитен режим – Protected Mode). В този режим процесорът може да адресира до 4 GB физическа памет, чрез които с използване на странична организация може да се оперира с 64 TB виртуална памет за която и да е задача.