

Arhitectura Calculatoarelor

T.6 – Evoluția Procesoarelor INTEL

Primul microprocesor 4004, Microprocesorul 80286 (286), Memoria virtuală, Microprocesorul 80386 (386), Microprocesorul 80386SL, Microprocesorul 80486 (486), Magistrala locală a microprocesorului 486, Procesor Pentium, Microarhitectura familiei de procesoare PENTIUM, Unitate de dispocizare și execuție, Unitatea de retragere, Microprocesorul Pentium Pro ("P5"), Microprocesorul Pentium MMX, Microprocesorul Pentium II ("Klamath"), Microprocesorul Pentium III, Microprocesorul Pentium 4, Coprocesoare, Procesoarele DSP (Digită Signal Processor), Extensii MMX (MultiMedia eXtension sau Matrix Math eXtension)

Scopul Lecției: De a înțelege dezvoltarea arhitecturală a procesoarelor intel, de a înțelege momentele de dezvoltare a arhitecturii calculatoarelor în evoluția procesoarelor intel

Trebuie să cunoașteți:

§ Structura arhitecturală a procesorului 180286

§ Structura arhitecturală și caracteristicile procesorului 180386

§ Structura arhitecturală și caracteristicile procesorului 180486

§ Structura arhitecturală și caracteristicile procesorului Pentium

§ Microarhitectura procesoarelor Pentium

§ Microprocesoare Pentium MMX, Pentium II, Pentium III

§ Coprocesoare matematice, Procesoarele DSP (Digită Signal Processor)

Conf. Univ. Dr. Crețu Vasilii

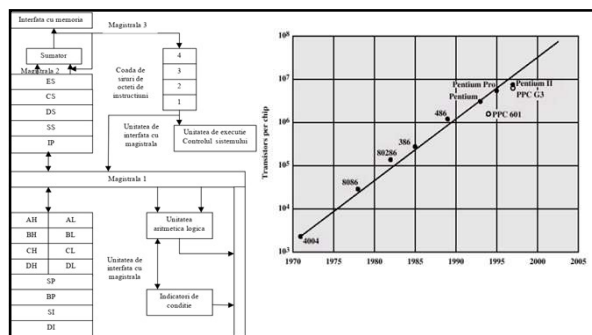
Primul microprocesor, 4004, pe 4 biți, a fost realizat de firma Intel în anul 1971. Acesta a fost repede îmbunătățit, rezultând microprocesorul 8008. În 1974 Intel realizează a doua generație de microprocesoare al cărei reprezentant de bază este 8080. Acesta a fost primul microprocesor de uz general având o importanță deosebită pentru industria microcalculatoarelor. În iunie 1978 este lansat pe piață microprocesorul Intel 8086 (care reprezintă a treia generație de microprocesoare), cu aproape 3 ani înainte de apariția primului calculator IBM PC, bazat pe designul 8080/8085, cu o mulțime similară de registre, dar extins la 16 biți. Acesta este momentul în care începe evoluția familiei x86. Unitatea de interfață cu magistrala (Bus Interface Unit) aducea fluxul de instrucțiuni către unitatea de execuție (Execution Unit) printr-o coadă de preîncărcare, astfel încât aducerea și execuția erau concurențiale - o formă primitivă de pipelining (instrucțiunile 8086 variau de la 1 la 4 octeți).

Primul PC lansat pe piață în 1981 avea însă un procesor Intel care lucra la viteza de 4,77 Mhz. Acesta nu era însă primul produs IBM care folosea un procesor x86 - un sistem de prelucrare de texte - IBM Displaywriter, proiectat la Austin, Texas, folosea deja un microprocesor x86 la viteza de 5 Mhz. De altfel, IBM nici nu era nici prima firmă, nici singura care utiliza un microprocesor x86 într-un PC. O firmă mică, Seattle Computer Products, lansase deja un sistem realizat cu un procesor x86. Această companie a dezvoltat prima versiune a sistemului de operare PC DOS, achiziționat de Microsoft și denumit ulterior MS-DOS.

Pentru primul PC a fost ales microprocesorul 8088, cu performanțe scăzute, datorită necesității de a menține prețul mic al calculatorului. Microprocesorul 8088 admieta o magistrală internă pe 16 biți, însă magistrala externă nu avea decât 8 biți. Aceasta îl făcea mai ușor de conectat la cipurile pe 8 biți ale dispozitivelor periferice și a permis utilizarea unei memorii de dimensiuni mai mici în construcția calculatorului. Printre caracteristici erau 4 registre generale pe 16 biți, ce puteau fi accesate de asemenea ca registre pe 8 biți și 4 registre index pe 16 biți (incluzând pointerul de stivă). Registrele de date erau deseori folosite implicit de instrucțiuni, alocări complicate ale registrelor pentru valori temporare. Existau de asemenea patru registre segment ce puteau fi setate din registrele index.

Registrele de segment permiteau UCP să acceseze 1 megaoctet de memorie folosind tehnica numită segmentare. Instrucțiunile programului nu puteau adresa în mod direct locațiile de memorie din spațiul de adresare, ci se folosea un proces împărțit în două etape: prima dată se încărcă un registru de segment cu adresa unui bloc de 64 Kb de date sau de instrucțiuni, care putea fi plasat oriunde în memoria de 1 Mb. În continuare, orice instrucțiune a microprocesorului avea acces direct la orice dată sau instrucțiune aflată în blocul de 64 Kb. Pentru a se obține accesul în exteriorul blocului de 64 Kb, registrele de segment erau încărcate cu o nouă adresă, folosindu-se cele patru registre de segment: unul pentru accesul la date, al doilea pentru accesul la instrucțiuni, al treilea pentru accesul la stivă și un registru special extra-segment. Schema bloc a microprocesorului 8088 este prezentată în figura.

Dacă pentru construcția lui 8088 au fost necesare 29.000 de tranzistoare într-o capsulă cu 40 de pini și cu o tehnologie de 3 microni, microprocesoarele Pentium 4 actuale sunt construite cu 55 milioane de tranzistoare cu o tehnologie de 0,13 microni! Cu privire la evoluția numărului de tranzistori integrați pe un cip există faimoasa lege a lui Gordon Moore (cofondator la Intel) care a prezis acum 30 de ani că numărul de tranzistoare de pe un cip se va dubla la fiecare 18 luni, lege ilustrată în figura



Microprocesorul 80286 (286)
 Familia 8086 se mărește în 1982 cu microprocesorul 80186, structural identic cu 8086 dar conținând câteva dispozitive sistem integrate în același circuit. În același an este introdus și 80286 care are o arhitectură extinsă față de 8086. El poate lucra exact ca un 8086 având însă unele facilități în plus.
 Începând cu acest microprocesor au fost introduse mecanismele de memorie virtuală, de multitasking și de protecție.
 Calculatorul PC-AT (Advanced Technology - Tehnologie Avansată) 286 era construit cu 134.000 de tranzistori înglobați într-o capsulă cu 68 de pini. Cea mai importantă caracteristică a sa o reprezenta creșterea spațiului de adresare la 16 MB, permițând lucrul în modul protejat și cu memorie virtuală. Despre aceste concepte vom discuta mai pe larg în continuare. Modul protejat de lucru a permis posibilitatea folosirii sistemelor de operare multitasking, cum ar fi UNIX sau diverse variante ale acestuia.

- a) Se introduc două moduri de lucru:
 - modul KERNEL;
 - modul USER.
 În modul KERNEL, care este un mod protejat, se pot executa toate instrucțiunile procesorului, inclusiv cele privilegiate. Este un mod specific sistemului de operare.
 În modul USER nu toate instrucțiunile se pot executa. Este un mod specific aplicațiilor utilizator.
- b) Spectrul de adrese crește la 16MB , acest lucru realizându-se prin adăugarea a patru linii de adrese. În acest fel numărul de linii de adrese este 14.
 $16\text{ MB} = 2^4 \cdot 2^{20}\text{ B} = 2^{24}\text{ B}$
 nr. linii de adrese = $\log_2 2^{24} = 24$
- c) Se îmbunătățește tehnica pipeline. În varianta 286, procesorul are patru unități funcționale:
 - unitatea de interfață cu magistrala;
 - unitatea de instrucțiuni;
 - unitatea de execuție;
 - unitatea de adresare.

Unitatea de interfață cu magistrala realizează toate operațiile de transfer pe magistrală, adică extragerea instrucțiunilor și citirea/scrierea operanzilor. Instrucțiunile sunt citite în avans și sunt transferate către unitatea de instrucțiuni.
Unitatea de instrucțiuni decodifică instrucțiunile și le plasează într-o coadă de instrucțiuni decodificate.
Unitatea de execuție preia aceste instrucțiuni și le execută, în funcție de codul fiecărei instrucțiuni.
Unitatea de adresare calculează adresele de memorie în funcție de diferitele moduri de adresare. Adresele de memorie sunt transmise către unitatea de interfață cu magistrala pentru efectuarea transferurilor.

Memoria virtuală
 Memoria virtuală reprezintă un tip imaginar de memorie folosit de unele sisteme de operare, precum Windows (dar nu și DOS), prin care deficitul de memorie RAM este suplinit folosindu-se hard disk-ul calculatorului. Memoria virtuală poate fi considerată ca o mulțime de adrese de memorie; programele folosesc aceste adrese virtuale în locul celor reale pentru a stoca instrucțiuni și date. În momentul execuției programului, adresele virtuale sunt convertite în adrese reale de memorie, făcându-se transferul datelor din memoria virtuală (de pe disc) în memoria reală.
 Scopul folosirii memoriei virtuale este acela de a mări spațiul de adresare, adică mulțimea de adrese de memorie pe care un program o poate utiliza.
 De exemplu, memoria virtuală poate conține de două ori mai multe adrese decât memoria principală. Din această cauză, un program ce folosește toată memoria virtuală nu poate fi încărcat în întregime în memorie în același timp; totuși, calculatorul poate încărcă în memoria principală doar porțiunile din program necesare la un moment dat pe parcursul execuției.
 Pentru facilitarea copierii conținutului memoriei virtuale în memoria reală, sistemul de operare împarte memoria virtuală în pagini ce conțin fiecare un număr fix de adrese. Fiecare pagină este stocată pe disc până în momentul în care este nevoie de ea. În acel moment, sistemul de operare o copiază de pe disc în memoria reală, prin procesul de translare a adreselor virtuale în adrese reale. Acest proces de translare se mai numește și *mapare*, iar mecanismul de copiere a paginilor virtuale de pe disc în memoria principală se numește *swapping* (uneori și *paginare*).

Microprocesorul 80386 (386)
 Lansat pe piață în octombrie 1985, procesorul 80386 a apărut inițial cu o magistrală de sistem pe 32 de biți, apoi o versiune a acestuia cu o magistrală pe 16 biți - denumită 386SX. În timp ce modelul pe 32 de biți a fost redenumit 386DX, procesorul 386SX era foarte popular, deoarece putea folosi arhitecturile 286 deja existente, cu câteva schimbări minore. Concurența acerbă a firmei AMD (Advanced Micro Devices), principalul producător de microprocesoare clonă a făcut ca prețul sistemelor PC complete să scadă foarte mult, înregistrându-se pentru prima dată prețuri cu mult sub 1000\$. Microprocesoarele 80386DX și 80386SX erau construite folosindu-se inițial o tehnologie CMOS de 1,5 microni, apoi de 1 micron, conținând 275.000 de tranzistori, în timp ce versiunea 80386SL includea 855.000 de tranzistori

Caracteristicile procesorului 80386
 Microprocesoarele 386 au beneficiat de câteva îmbunătățiri semnificative față de microprocesoarele anterioare din familia x86. Posibilitatea prelucrării informației pe 32 de biți și accesul la memorie printr-o magistrală de 32 de biți au permis pentru prima dată adresarea a 4 Giga octeți de memorie în mod direct și a 64 Tera octeți în mod virtual.

De asemenea, vitezele procesorului erau limitate de performanțele memoriei sistemului, folosindu-se în scopul "alimentării" microprocesorului cu mai multe instrucțiuni și date metode ce erau folosite până atunci doar la calculatoare mainframe sau minicalculatoare. Metodele constau în folosirea bancurilor de memorie intercaltate (memoria sistemului era împărțită în blocuri ce puteau fi accesate simultan pentru a crește viteza de lucru) și a memoriilor cache rapide. Se permitea, de asemenea, folosirea unui model de adresare complet liniar, fără a se utiliza registrele de segment, precum și folosirea paginării.

Microprocesorul 386 putea fi folosit pentru a simula comportamentul mai multor procesoare 8086 ce lucrează în mod real, oferind posibilități de multitasking. Ca și în cazul microprocesorului 286, software-ul nu folosea pe deplin capacitățile acestuia, astfel încât alina după zece ani, o dată cu apariția sistemului de operare pe 32 de biți Windows 95 s-au putut valorifica cu adevărat capacitățile procesorului 386.

Arhitecturile de sistem bazate pe microprocesoare 386 s-au schimbat radical față de arhitecturile anterioare. Astfel, subsistemele memoriei s-au conectat la magistrala locală a microprocesorului iar folosirea memoriilor cache rapide și a metodelor de intercaltare a memoriei au devenit lucruri obișnuite. Magistrala AT a devenit doar o magistrală de extensie pentru conectarea adaptoarelor echipamentelor periferice, nemulțumiri la frecvența ceasului microprocesorului. Primele cipuri rula la 12,5 MHz și apoi transformate rapid pentru a rula la frecvențe de 16, 20, 25, 33, 40 și 50 de MHz.

La aceste procesoare s-au introdus unele îmbunătățiri:

- Arhitectura de bază este extinsă la 32 biți. Alături magistrala cât și registrele interne sunt de 32 biți.
- Se poate adresa o memorie de 4 GB, utilizându-se în acest scop 32 linii de adresă.
 $4GB = 2^2 \cdot 2^{30} B = 2^{32} B$
 n nr linii de adresă = $\log_2 2^{32} = 32$
- S-a introdus mecanismul de paginare în microprocesor. Cipul MMU (Memory Management Unity), care la 8086 și 286 era separat de procesor, a fost plasat în interiorul microprocesorului.
- Tehnica pipeline este îmbunătățită cu două module: unitate de paginare și unitatea de preîncărcare a instrucțiunilor.

Microprocesorul 80386SL
 Versiunea 386SL, lansată de Intel era un procesor 386 special ce îngloba 855.000 de tranzistori (de 3,1 ori mai mult decât la un 386 obișnuit), fiind proiectat pentru piața calculatoarelor notebook, aflată în creștere. Acest microprocesor dispunea de un sistem de gestionare a consumului (Power Management), de o memorie cache de 8K, de un controler DRAM și era capabil să funcționeze la 3,3 volți. Produsul avea un concurent puternic reprezentat de versiunea 386SX a firmei AMD, înregistrând un succes limitat, în cele din urmă fiind retras de pe piață de firma Intel

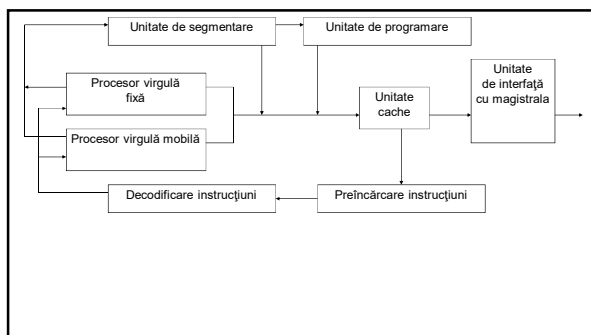
Microprocesorul 80486 (486)
 Firma Intel a prezentat în aprilie 1989 procesorul 486, ce dispunea de puține îmbunătățiri față de 386. Setul de registre, caracteristicile de gestionare a memoriei și tipurile de date erau aproape neschimbate față de cele de la 386, în schimb performanțele erau crescute semnificativ prin integrarea pe cip a coprocesorului matematic și a unei memorii cache de nivel 1 de 8K.

Tehnologia de fabricație era de tipul CMOS, înglobând 1,2 milioane de tranzistori pe cip. Prima versiune, 486DX folosea o tehnologie de fabricație de 1 micron pentru frecvențele de ceas de 25 și 33 Mhz, scăzând apoi la 0,8 microni la 486DX-50.

Mășurarea dimensiunilor tranzistorilor a prezentat două avantaje deosebite de care au beneficiat din plin microprocesoarele 486: în primul rând, fiind mai mici, foloseau mai puțin energie, iar în al doilea rând, pot lucra mai rapid. Alte dimensiuni tehnologice de fabricație erau: pentru 486DX2 - 0,8 microni (Intel), 0,5 microni (AMD), 0,65 microni (Cyrix), iar pentru 486DX4 - 0,6 microni (Intel - cu 1,6 milioane de tranzistori), 0,5 microni (AMD), 0,65 microni (Cyrix).

La procesoarele 486 s-au adus următoarele îmbunătățiri:

- S-a înglobat în procesor așa numitul *coprocesor matematic*, pentru calculi în virgulă mobilă.
- S-a înglobat memorie cache de nivel 1 de 8KB și, de asemenea, o unitate de management a memoriei Cache.
- Structura pipeline a fost extinsă prin divizarea unității de extragere și execuție a instrucțiunilor în cinci nivele. Fiecare nivel poate să prelucereze o altă instrucțiune, traversarea unui nivel făcându-se într-o perioadă de ceas.
- Pentru raționalizarea consumului de energie s-a introdus un mecanism de management ce permite comutarea procesorului în regim de consum redus.



Magistrala locală a microprocesorului 486

Această magistrală s-a modificat sensibil față de cea a microprocesorului 386, permițând o creștere a ratelor de transfer pe magistrală. În timp ce magistrala veche 386 trimitea o adresă pentru fiecare acces la memorie, magistrala 486 transmite o adresă pentru un bloc de până la 16 octeți). S-a permis astfel creșterea cu 50% a ratei de transfer față de rata de transfer de la 386, la aceeași frecvență și dimensiune a magistralei.

Făcându-se transferuri de blocuri de date, se trimite doar adresa blocului inițial ca fiind ideală pentru sisteme cu memorie cache, cum este și cel 486. Transferul pe blocuri de date se face la citire cât și la scriere și sunt necesare două impulsuri de ceas pentru primul transfer pe 32 de biți și câte un impuls de ceas pentru transferurile următoare pe 32 de biți. Numărul de transferuri ulterioare pe 32 de biți este de trei, astfel că pentru un procesor la 50 MHz, transferul unui bloc de maxim 16 octeți se face pe perioada a cinci perioade de ceas, adică 160 M/secundă (față de o rată maximă de transfer pe magistrală de 1M/secundă la primul PC!).

Deoarece diferența de preț dintre procesorul 486 și clonele 386 rapide erau foarte mari, firma Intel a hotărât să scoată pe piață o versiune mai ieftină a procesorului 486, mai puțin performantă, denumită 486SX. Diferența esențială față de microprocesorul 486 obișnuit era lipsa funcțiilor oferite de coprocesorul matematic, iar prețul era de până la o treime față de acesta, denumit ulterior 486DX. Trebuie făcută o precizare cu privire la titlatura impusă de Intel: în timp ce pentru familia procesorilor 386, SX reprezenta un procesor pe 16 biți, pentru familia procesorilor 486, SX reprezenta lipsa coprocesorului matematic!

Ca și în cazul microprocesorului 386SL, Intel a lansat pe piață și o versiune 486 pentru calculatoarele notebook, denumită 486SL, oferind caracteristici avansate de gestiune a consumului și posibilitatea de a lucra la 3,3 volți; succesul a fost limitat și modelul a fost retras de pe piață în scurt timp.

Procesor Pentium

În anul 1993 și-a făcut apariția procesorul Pentium al firmei Intel, având o arhitectură superscalară (se puteau executa în anumite condiții două instrucțiuni simultan în același ciclu de ceas) și memorii cache de nivelu unu separate pentru instrucțiuni și pentru date, de câte 8K. O altă îmbunătățire o reprezenta creșterea dimensiunii magistralei locale Pentium la 64 de biți, iar a vitezei de lucru la 60 sau 66 de MHz.

Tehnologia de fabricație era CMOS bipolară, de 0,8 microni (pentru primele Pentium-uri la 60 și 66 MHz), de 0,6 microni (la modelele ce lucrau la frecvențe de 75, 90, 100 MHz) și de 0,35 microni (la modelele cu frecvențe de 120, 133, 150, 166, 200 MHz) și înglobau de la 3,1 milioane de tranzistoare (La primul Pentium) până la 3,3 milioane la modelele ulterioare.

Referitor la denumire, se impune specificarea că acesta a fost primul microprocesor cu aceeași arhitectură x86, care a renunțat la numele de x86 (ar fi trebuit să se denumescă 586), deoarece firma Intel nu a putut să oprească alte firme producătoare de microprocesoare clonă să folosească acest nume.

Procesoare PENTIUM

Familia de procesoare PENTIUM se bazează pe o arhitectură pipeline superscalară, ceea ce înseamnă că utilizează mai multe linii de prelucrare pipeline autonome ce lucrează în paralel. La varianta de bază există două linii de asamblare (liniile U și V). Versiunile mai noi au trei linii de asamblare.

Controlorul de întreruperi APIC (Advanced Programmable Interrupt Controller) a fost inclus în structura microprocesorului.

În ceea ce privește lungimea cuvântului și a magistrelor, intern procesorul a rămas pe 32 biți și magistrala principală externă are 64 biți. Anumite magistrale interne, însă, au 128 sau chiar 256 biți.

S-a introdus un *mecanism de protecție a salturilor* care se bazează pe memorarea ultimelor salturi efectuate în cadrul secvenței de program. Citirea în avans a instrucțiunilor și introducerea lor în linia de prelucrare se face pe baza probabilității de realizare a unor salturi.

Microarhitectura familiei de procesoare PENTIUM

Schema de principiu a arhitecturii PENTIUM

Microarhitectura specifică procesoarelor de tip PENTIUM PRO, PENTIUM II și PENTIUM III conține trei unități de tip pipeline care comunică prin intermediul unui REZERVOR DE INSTRUCȚIUNI:

- unitatea de extragere și decodificare a instrucțiunilor care se ocupă de extragerea în avans a instrucțiunilor și transformarea lor în secvențe de microoperații;
- unitatea de disperecizare și execuție care selectează micropeenițele ce pot fi executate și le distribuie pentru execuție;
- unitate de retragere care asamblază rezultatele parțiale în ordinea prestabilită de program.

Acastă arhitectură se bazează pe execuția instrucțiunilor într-o ordine dictată de disponibilitățile datelor și a unităților de execuție. În acest sens unitatea de extragere și decodificare ca și unitatea de retragere sunt unități „in order”, adică unități care respectă ordinea de prelucrare a instrucțiunilor prestabilă în program. Unitatea de disperecizare și execuție este o unitate „out of order” care nu respectă această ordine. Dintr-o unități de retragere, care reordonează rezultatele parțiale pe baza ordinii inițiale, se elimină multe din situațiile de blocare temporară a liniei de prelucrare pipeline cauzate de așteptările provocate de transferurile externe de date.

La procesorele PENTIUM, odată cu apariția lui PENTIUM PRO, se introduce conceptul de *execuție dinamică*. Aceasta este o combinație de trei tehnici:

- predicția salturilor;
- execuție speculativă;
- analiza fluxului de date.

Excluderea timpului de așteptare a procesorului

Cele trei tehnici soluționează majoritatea situațiilor de blocare a liniilor de prelucrare și procesorul poate să lucreze la capacitatea maximă de 3 instrucțiuni într-o perioadă de tact. La aceasta mai contribuie și existența mai multor unități de execuție care lucrează în paralel.

Acastă arhitectură elimină în mare parte neajunsurile unei arhitecturi pipeline clasice prin evitarea situațiilor de întârziere a liniei pipeline. Întârzierea poate să survină din diverse cauze:

- linia este golită în urma unei instrucțiuni de salt;
- operanții solicitați nu sunt disponibili;
- nu există o unitate de execuție.

Prezența rezervorului de instrucțiuni oferit unității de disperecizare și execuție o anumită perspectivă ce permite *optimizarea ordinii de execuție a instrucțiunilor* astfel încât să se reducă timpul de așteptare.

Unitatea de extragere și decodificare a instrucțiunilor

Dela BIU (Basic Interface Unit)

Unitatea de extragere și decodificare a instrucțiunilor.

Instrucțiunile se extrag din Cache-ul de instrucțiuni la nivelul L(L1). Adresarea instrucțiunilor se face cu ajutorul **modului Next IP** care folosește în acest scop informațiile conținute în **blocul de memorare a ultimelor adrese de salt**. Astfel vor fi extrase **secvențele de instrucțiuni care au probabilitatea cea mai mare de a fi executate** în vectorul apropiat.

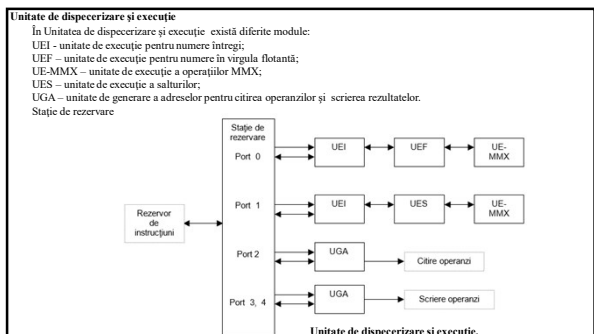
Pe fiecare perioadă de tact se extrage câte o linie de memorare cache de 32 biți. Se **marchează începutul fiecărei instrucțiuni**, după care extras este transmis către cele trei module de **decodificare independente**. Există două module de decodificare simple și unul pentru instrucțiunile complexe.

În urma procesului de decodificare, o instrucțiune este transformată într-o **secvență de microoperații triadice**. O operație triadică este o **operație elementară care are maximum trei operanți**: doi operanzi sursă și unul rezultat.

Instrucțiunile simple se decodifică în una până la patru microoperații. Instrucțiunile complexe sunt decodificate în secvențe predefinite de microoperații păstrate în modulul de secvențiere a microoperațiilor. Decodificatorul poate genera până la 6 microoperații pe o perioadă de tact.

Deoarece sunt utilizate un **număr restrâns de registre interne**, pot să apară **dependențe false** între variabilele care utilizează temporar același registru intern. Aceste dependente conduc la întârzieri în linia de prelucrare pipeline. Pentru a evita astfel de situații, unitatea de decodificare alocă microoperațiilor un **registru alias** dintr-un set de registre invizibile pentru programator. Registrele alias pot fi utilizate în operații aritmetice și logice. Fiecărei microoperații îi **sunt atașați biți de stare**, necesari în procesul de execuție.

Microoperațiile sunt plasate în **rezervorul de instrucțiuni**, rezervor care face legătura între cele trei unități independente de prelucrare din această arhitectură superscalară.

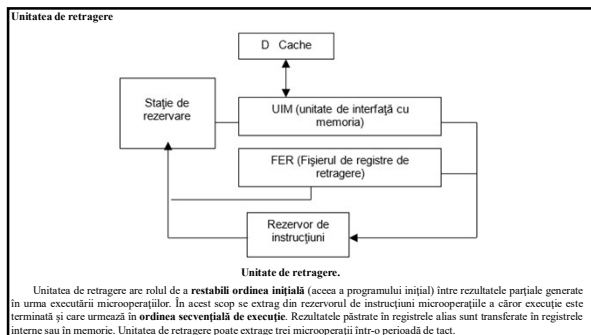


Stajia de rezervare extrage din rezervorul de instrucțiuni microoperații ale căror **condiții de execuție sunt îndeplinite și le alocă în funcție de specificul operației**. O microoperație este executabilă dacă operanzii cu care lucrează sunt disponibili și dacă unitatea de execuție pe care o solicită este liberă. Pentru a determina disponibilitatea operanzilor se folosește o metodă de analiză a fluxului de date, în urma căreia se generează un graf al dependențelor de ordine existente între mai multe operații care utilizează aceleași variabile. Dacă mai multe microoperații sunt simultan disponibile, atunci se folosește un algoritm de planificare de tip FIFO care favorizează execuția în secvență a microoperațiilor.

Stajia de rezervare dispune de 5 porturi prin care poate să comunice cu unitățile de execuție. Pot fi executate simultan maximum 5 microoperații. Sunt disponibile mai multe unități de execuție care pot să lucreze în paralel:

- două unități pentru numere întregi;
- o unitate pentru numere în virgulă mobilă;
- o unitate de execuție a salturilor;
- două unități pentru MMX;
- două unități pentru scrierea și citirea operanzilor.

Microoperațiile executate, împreună cu rezultatele obținute, sunt plasate din nou în rezervorul de instrucțiuni. Pentru instrucțiunile de salt, se verifică dacă previziunea cu privire la adresa de salt a fost corectă. În caz contrar, unitățile de execuție a salturilor invalidează toate operațiile care urmează după instrucțiunea de salt, spre a fi eliminate din rezervor.



Microprocesorul Pentium Pro ("P6")

Microprocesorul Pentium Pro a fost introdus în 1995 ca succesor al procesorului Pentium, aducând câteva caracteristici nemai întâlnite până atunci într-un microprocesor de PC. Microprocesorul Pentium Pro a fost primul microprocesor ce a schimbat radical modul de execuție al instrucțiilor, transformându-le în microinstrucțiuni gen RISC și executându-le apoi mai ușor în unitățile interne. Disponibil în multiple variante cu frecvențe între 150 MHz (noiembrie 1995) și 200 de MHz (ianuarie 1997), microprocesoarele Pentium Pro sunt construite folosindu-se o tehnologie de 0,6 până la 0,35 microni pentru microprocesor și memoria cache integrată de nivel 2.

Numărul de tranzistori folosiți este de aproximativ 5,5 milioane, iar dimensiunea memoriei cache de nivel 2 variază de la 256 KB la 1 MB pentru microprocesoarele ce rulează la frecvențe de 200 de MHz. Cu toate că este vechi de mai bine de trei ani, procesorul Pentium Pro este încă folosit în sisteme high-end (servere, în special), cu toate că Pentium II (și mai nou, Pentium III) începe să-i ia locul în unele cazuri. Pentru astfel de servere ce dispun de mai multe procesoare Pentium Pro, raportul preț/performanță este destul de bun, concurând în acest sens chiar cu unele procesoare (non Intel) pentru servere ale firmei DEC (Digital Equipment Corporation) Alpha.

Principalele caracteristici ale procesorului Pentium Pro sunt următoarele:

- superpipelining* - arhitectură în conductă superioară celei de la Pentium, mărindu-se numărul de stadii în execuție de la 5 la 12;
- memorie cache de nivel 2 integrată pe cip* - în loc să folosească o memorie cache integrată pe placa de bază ce funcționează la viteza magistralei de memorie, se folosește o memorie cache integrată în cip, având propria magistrală și rulând la întreaga viteză a microprocesorului, în general de trei ori mai rapid decât la procesoarele Pentium. De asemenea, arhitectura memoriei cache este diferită, de tip non-blocking, ceea ce înseamnă că atunci când avem de-a face cu un "cache miss" (greșală de memorie cache), procesorul își continuă execuția, neașteptând (rejecția datelor din memoria principală);
- optimizare pentru 32 de biți*: Pentium Pro este optimizat pentru a rula coduri pe 32 de biți (folosite de majoritatea sistemelor de operare și a aplicațiilor), ducând la mai bune performanțe față de Pentium atunci când se folosește software de ultimul tip;
- mai mare adresabilitate a magistralei*: datorită faptului că magistrala de adrese este pe 36 de biți, rezultă o dimensiune maximă a adreselor de memorie fizică de 64 GB;
- multiprocesare superioară*: există configurații de multiprocesare cu până la patru procesoare Pentium Pro (sisteme quad), față de maximum două la Pentium (sisteme duale);
- încheierea instrucțiilor "out of order" (neordonate)*, ceea ce înseamnă că instrucțiunile din stadiile în conductă se pot executa în altă ordine decât cea stabilită inițial;
- previziune superioară a ramificărilor*: dimensiunea BTB (Branch Target Buffer - Memorie Buffer pentru Ramificări) este dublă față de Pentium și acuratețea este crescută (BTB este o mică memorie asociativă (de regulă cu 128 până la 512 de intriri) ce urmărește indexul memoriei l cache și încercă să prezică ce index l cache va fi accesat în continuare, bazându-se pe istoria ramificărilor. Optimizarea actualului algoritim folosit în acest scop reprezintă un domeniu continuu de cercetare, procesorul Pentium Pro folosind o variantă a algoritmului lui Yeh - 1991);

redenumirea registrelor: această facilitate oferă creșterea performanțelor paralele ale conductelor;

execuție speculativă: un mecanism generalizat ce permite instrucțiunilor să fie prelucrate "mai devreme", înainte de ordinea de execuție normală. Rezultatele acestor speculații (previziuni) sunt stocate temporar (în ROB - Re-Order Buffer - Buffer de Reordonare - care este o unitate funcțională a procesorului Pentium Pro unde micro-instrucțiunile inițiale așteaptă, rezultatele speculative sunt colectate și apoi retrase) deoarece există posibilitatea să nu fie utilizate datorită unor schimbări în execuția programului.

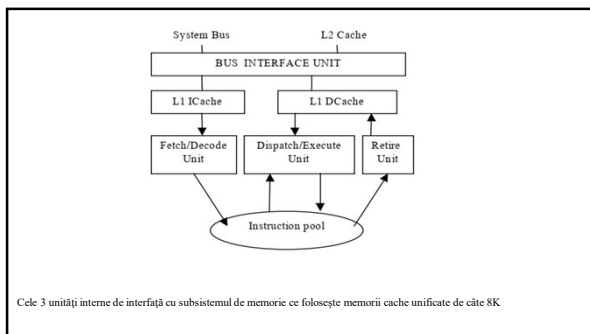
tehnologie de execuție dinamică care poate fi concepută pe scurt ca o ajustare optimă a execuției instrucțiunilor prin prevederea desfășurării programului, analizând graficul desfășurător al programului pentru a alege cea mai bună ordine de execuție a instrucțiunilor și apoi având abilitatea de execuție speculativă a instrucțiunilor în ordinea preferată

Unitatea FETCH/DECODE, care este o componentă ce preia ca input fluxul de instrucțiuni al programului utilizatorului din cache-ul de instrucțiuni și apoi le decodifică într-o serie de microoperații (numite *uops*) ce reprezintă ordinea fluxului de instrucțiuni.

Unitatea DISPATCH/EXECUTE este o unitate "out-of-order" ce acceptă ordinea fluxului, programează execuția microoperațiilor în conformitate cu dependența de date, existența resurselor, stocând temporar rezultatele acestor execuții speculative.

Unitatea RETIRE este componenta "in-order" ce știe cum și când să aplice ("retire") rezultatele speculative temporare în stări arhitecturale permanente.

Unitatea BUS INTERFACE este o componentă parțial ordonată responsabilă cu conectarea celor trei unități interne cu lumea reală. Această unitate de interfață cu magistrala comunică direct cu cache-ul L2 și suportă până la patru accesări cache concurente.



Microprocesorul Pentium MMX

Microprocesorul Pentium MMX (variante P55C) a fost introdus pentru prima dată în ianuarie 1997 și este primul microprocesor Pentium ce a inclus instrucțiuni MMX, urmat de AMD K6, Cyrix 686MX și Pentium II.

Creșterea performanțelor față de procesorul Pentium constă în abilitatea deosebită de a opera cu aplicații multimedia mult mai eficiente, fiind disponibil în variante ale frecvenței de ceas de 166, 200 și 233 MHz pentru sistemele desktop și 133, 150, 166, 200 și 233 MHz pentru sistemele mobile.

Îmbunătățiri aduse microprocesorului Pentium clasic:

- **Noi instrucțiuni.** Inginerii firmei Intel au adăugat **57 de noi instrucțiuni** proiectate special să manipuleze și să proceseze date video, grafice și audio mai eficiente. Aceste instrucțiuni sunt orientate către secvențe paralele, repetitive, ce se găsesc deseori în operații multimedia.
- **SIMD (Single Instruction, Multiple Data).** Aplicațiile multimedia și de comunicație de astăzi folosesc uzual cicluri repetitive ce ocupă sub 10% din codul total al aplicației și folosesc 90% din timpul de execuție al aplicației. Procedul SIMD permite ca o instrucțiune să se execute pentru mai multe seturi de date simultan. Se reduce astfel ciclurile intens calculatorii referitoare la video, audio, grafică și animație. De asemenea, mulțimea instrucțiunilor MMX are permise folosirea a două instrucțiuni MMX într-un singur ciclu de ceas, deci două instrucțiuni SIMD pot fi procesate cu date pe 16 bii într-un singur ciclu de ceas.
- **Mai multă memorie cache.** Firma Intel a dublat memoria cache internă la 32KB (16 KB pentru date, 16 KB pentru instrucțiuni), astfel că se pot stoca mai multe date și instrucțiuni pe cip, reducându-se numărul de accesări la memoria accesată lent din afara microprocesorului.
- Îmbunătățiri bazate pe caracteristicile altor microprocesoare. Pentium MMX folosește o **unitate de predicție a ramificărilor**, concept preluat de la Pentium Pro, având, de asemenea, o implementare a stivei de reîntoarcere ("return stack") - concept al microprocesorului IBM/Cyrix 6x86.

Alte îmbunătățiri. Microprocesorul Pentium MMX are **patru memorii buffer** de scriere față de două la Pentium-ul clasic, iar **conductele U și V** au fost crescute cu un stadiu. A fost îmbunătățită, de asemenea, **capacitatea de procesare paralelă** a celor două conducte, prezintă implementarea tehnologiei Intel MMX. Se pot observa aici cele două conducte (MMX U pipe și MMX V pipe) adăugate în paralel la structura internă deja existentă la Pentium.

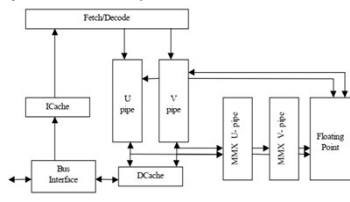


Diagrama implementării tehnologiei Intel MMX

Microprocesorul Pentium II ("Klamath")

Apărut în luna mai a anului 1997, Pentium II, cu numele de cod "**Klamath**" (după numele fluviului din Oregon, SUA), reprezentând un pas important în evoluția de la Pentium Pro. Se pare că obiectivele firmei Intel pentru crearea procesorului Pentium II au fost, în principal, să reducă costurile desorbit de mari ale memoriei cache integrate de nivel 2, care constituia principala dificultate în construcția Pentium-ului Pro. Din punct de vedere arhitectural, Pentium II nu este foarte diferit de Pentium Pro, cu o parte internă de emulare x86 și înglobând majoritatea caracteristicilor acestuia. Diferențele sunt, în mare, următoarele:

- **Memorie cache de nivel 1 dublă:** mărimea memoriei cache interne a crescut de la 16 KB la 32 KB în total (16 KB instrucțiuni, 16 KB date);
- **Cache pentru registrele de segment:** acestea sunt memorii cache speciale folosite pentru a ajuta Pentium II să proceseze codurile pe 16 biți mai eficient, știindu-se că Pentium Pro a fost optimizat pentru coduri pe 32 de biți, ceea ce înseamnă că nu se comportă la fel de bine pentru coduri pe 16 biți. Probabil ca răspuns la dominația sistemului de operare Windows 95 a existat o dorință de îmbunătățire a performanțelor în acest sens
- **Buffer de scriere de mărime mai mare:** mărimea bufferelor de scriere a crescut, ducând la o mică îmbunătățire a performanțelor.

Acestea sunt îmbunătățirile din punct de vedere arhitectural, îmbunătățiri reale au apărut prin **crescerea frecvențelor de ceas și prin adăugarea extensilor mulțimi de instrucțiuni MMX.** Vitezele de ceas au variat de la 233 MHz la 266 MHz, apoi 300 MHz și 333 MHz. Totuși, cea mai mare noutate nu a reprezentat-o cipul în sine, ci modalitatea de prezentare a acestuia. Memoria cache integrată de la Pentium Pro ce rula la viteza de ceas a microprocesorului, constituia o îmbunătățire majoră adusă arhitecturii x86. Intel a înlocuit la Pentium II această memorie cu un circuit special ce conține procesorul și 512 KB de memorie cache secundară ce rulează la **jumătate din viteza microprocesorului.** Acest ansamblu, denumit **SEC (Single-Edge Cartridge - cartuș cu o singură muchie)**, a fost conceput să se potrivească într-un soclu cu 242 de pini pe placa de bază Pentium II. Această schimbare de proiectare a stârnit diverse controverse, accentuate de I, nu va putea fi folosită de companiile rivale AMD și Cyrix pentru noile lor procesoare.

Microprocesorul Pentium III

Inițial, microprocesorul original Pentium III (nume de cod *Katmai*) nu era foarte diferit de Pentium II. De-abia cu noua variantă îmbunătățită de Pentium III (nume de cod *Coppermine*) Intel a reușit să producă ceea ce vroia cu adevărat, dar lucru realizat cu întârziere. Acest microprocesor are o memorie cache L2 de 256 Kb integrată pe plăcuța de siliciu (așa numita memorie on-die). În combinație cu **noile chipset-uri 810/820/840** oferă suport pentru 4 porturi AGP, 133FSB și memorie RDRAM (Rambus). Procesoarele Pentium III (nume de cod *Willamette*) au, de regulă, **viteze cuprinse între 800 și 1200 MHz.**

Microprocesorul Pentium 4

Cea mai nouă arhitectură existentă în acest moment, Pentium 4 are câteva avantaje comparativ cu celelalte procesoare x86: o **latență mai mică a memoriei cache L1 și L2, execuția instrucțiunii de adunare în jumătate de tact și execuția unui număr de 126 de instrucțiuni de tip RISC.**

Pentium 4 poate procesa mai multe instrucțiuni în paralel datorită **unității aritmetico-logice duble** și a memoriei tampon asociate mai mari. **Planificatoarele integrate pot găsi mai multe instrucțiuni independente,** având în vedere numărul de 126 de instrucțiuni ce pot fi derulate. **Unitățile aritmetico-logice pot executa patru instrucțiuni într-un ciclu de tact.** Procesorul Intel® Pentium® 4 cu tehnologie HT (Hyper Threading) oferă cea mai mare putere de procesare pentru aplicațiile avansate din zilele noastre. Tehnologia Hyper-Threading de la Intel permite procesorului să execute două fire de execuție în paralel, astfel încât software-ul poate rula mai eficient prin implementarea mai bună a multitasking-ului. Pentium 4 dispune de o **magistrală de sistem ce acționează la 800 MHz** iar viteza de ceas este cuprinsă **între 2,4 și 3,2 GHz.** Micro-arhitectura de la Intel se numește NetBurst®, bazată pe **tehnologie de 0,13 microni.** Procesorul Pentium 4 oferă performanțe superioare pentru procesare de imagini digitale, video, muzică digitală, jocuri 3D sau procesare DVD și format video MPEG4.

Coprocessoare**Coprocessoare matematice**

În general, un coprocessor este o unitate de procesare ce asistă CPU în calculul diferitelor tipuri de operații. De exemplu, un coprocessor matematic poate realiza **calcul matematice**, în particular **operații în virgulă mobilă**. Coprocessoarele matematice se mai numesc coprocessoare numerice sau coprocessoare în virgulă mobilă.

Istoria microprocesoarelor din familia x86 este strâns legată de cea a coprocessoarelor matematice. Coprocessorul matematic a fost denumit în mai multe moduri: pur și simplu coprocessor, coprocessor matematic, procesor de virgulă mobilă, *NPX (Numerical Processor Extension)*, această denumire din urmă fiind cea acceptată (și preferată) de firma Intel. Acesta este un cip special ce poate efectua operații în virgulă mobilă, **calcula funcții matematice - trigonometrice, logaritmice, a.a.m.d.** - ce a primit codul x87 (8087). De remarcat este faptul că, pentru a beneficia de avantajele unui coprocessor trebuie ca programul respectiv să conțină instrucțiuni ale coprocessorului, altfel coprocessorul nu va fi niciodată utilizat.

Arhitecturile inițiale ale primelor calculatoare personale aveau un soclu liber unde se putea monta un coprocessor matematic sistemului. Fiecare microprocesor din această familie i-a fost asociat un coprocessor pentru a îmbunătăți performanțele sistemului de calcul. Pentru microprocesoarele 8086, 80286, 80386 și 80486SX erau folosite coprocessoarele 8087, 80287, 80387 și respectiv, 80487. Începând cu microprocesorul **486, mai precis versiunea 486DX**, acest coprocessor matematic este încorporat direct în cipul microprocesorului.

Dar să explicăm mai detaliat rolul coprocessorului matematic în îmbunătățirea performanțelor sistemului de calcul. În esență, procesorul principal din familia **x86** lucrează doar cu **numere întregi**, cu sau fără semn. În unele calcule însă, pentru a se executa rapid operații matematice, de exemplu, trebuie să se folosească numere cu un alt format decât cel întreg. Cu toate că există software specializat ce emulează lucrul cu numere în alt format decât cel întreg, această soluție este lentă și consumă o mare parte din puterea microprocesorului sistemului. Apare astfel necesitatea folosirii coprocessorului matematic, pentru a spori viteza cu care se execută aceste calcule cu numere în format diferit de cel întreg.

Designerii procesoarelor x86 au elaborat o metodă de atașare a coprocessorului matematic la microprocesorul principal, print-o interfață cu un nivel înalt de generalizare ce admite toate tipurile de coprocessare special pentru coprocessorul NPE x87. Astfel introduse, coprocessoarele matematice sunt capabile să efectueze operațiile numerice de **20-100 de ori mai rapid decât software-ul specializat în emularea acestor operații**. Aplicațiile ce includ calculul tabelar, aplicațiile științifice sau tehnice, aplicațiile multimedia sau cele de proiectare asistată de calculator (*CAD - Computer Aided Design*) și unele jocuri (Quake, spre exemplu) necesită operații numerice la viteze foarte mari și, de aceea, beneficiază din plin de facilitățile de accelerare a funcțiilor matematice acordate de introducerea **coprocessoarelor matematice**. După cum am mai spus, începând cu microprocesoarele 486DX, coprocessorul este integrat pe același cip cu acesta, în timp ce până atunci calculatoarele personale erau livrate fără coprocessorul matematic instalat, existând posibilitatea atașării sale în-un soclu liber de pe placa de bază. Trebuie menționat, de asemenea, că performanțele **matematice în virgulă mobilă** ale PC-urilor bazate pe microprocesoare Intel din familia x86 (având coprocessor matematic atașat sau integrat în procesorul principal) erau mult inferioare celor obținute de calculatoarele personale bazate pe **procesoare RISC**. De aceea, firma Intel a căutat să le îmbunătățească, astfel că a **reproiectat în întregime coprocessorul matematic** al microprocesorului Pentium, obținând performanțe de calcul în virgulă mobilă de **până la 10 ori mai mari** decât la microprocesorul 486, apropiindu-se în același timp de performanțele **coprocessorilor RISC**. Alături de coprocessoarele matematice, există, de asemenea, și **coprocessoare grafice** (microprocesoare proiectate special pentru a realiza calcule grafice) pentru manipularea imaginilor grafice. Acestea sunt adesea numite acceleratoare grafice (accelerator boards).

Tipuri de date admise de către un coprocessor matematic

Un coprocessor matematic poate lucra cu **numere în virgulă mobilă**, precum și cu date reprezentate în mod întreg sau cod BCD (Binary Coded Decimal - cod în care două cifre zecimale se reprezintă pe un octet). În tabelul 6, sunt evidențiate tipurile de date numerice, cifrele semnificative și domeniile de definiție admise de coprocessoarele Intel. De asemenea, în tabelul 7, sunt ilustrate principalele instrucțiuni ale coprocessorului matematic, funcțiile algebrice și transcendente, constantele aritmetice incluse în coprocessor și folosite deseori în calcule din matematica superioară.

Calculul datelor numerice în interiorul coprocessorului sunt făcute prin translatarea acestora într-o reprezentare internă standard numită reprezentare temporară reală (pe 80 de biți). Coprocessorul are în componență un **set suplimentar de registre**, ce constă din **opt registre de date reprezentate în mod real pe 80 de biți**, care se pot comporta ca o stivă de date sau care pot fi accesate în mod independent. Cu ajutorul instrucțiunilor coprocessorului se pot realiza calculele și modificările din aceste opt registre de date.

Tipurile de date cu care lucrează un coprocessor matematic, numărul de cifre semnificative și domeniul aproximativ de definiție Tabelul 6.

Tipul de date	Numărul de biți	Cifre semnificative	Domeniul aproximativ de definiție
Întreg tip cuvânt	16	4	-32768 - 32767
Întreg scurt	32	9	-2 \cdot 10 ⁹ - 2 \cdot 10 ⁹
Întreg lung	64	18	-9 \cdot 10 ¹⁸ - 9 \cdot 10 ¹⁸
Zecimal compact	80	18	-99...99 - 99...99 (18 cifre)
Real simplu	32	7	1.18 \cdot 10 ⁻³⁸ - 3.4 \cdot 10 ³⁸
Real dublu	64	15-16	2.23 \cdot 10 ⁻³⁰⁸ - 3.4 \cdot 10 ³⁰⁸
Real extins	80	19	3.37 \cdot 10 ⁻⁴⁹³² - 3.4 \cdot 10 ⁴⁹³²

Instrucțiunile coprocesorului matematic Tabelul 7

Clasa de instrucțiuni	Tipul de instrucțiuni
Transferul datelor	Încărcare, stocare, schimb
Aritmetice	Adunare, scădere, înmulțire, împărțire, scădere/împărțire inversă, ridicare la putere, radical, calculul restului, calculul părții întregi, schimbare semn, etc.
Comparați	Comparație, examinare, testare
Constante	0, 1, e , \log , 2 , $h2$, \log , 10 , \log , e
Controlul asupra procesorului	Încărcare/stocare cuvânt de control, stare cuvânt de control, încărcare/stocare mediu, salvare, reîncărcare, inițiere, analiză excepție
Funcții	Funcții, arctangentă, sinus, cosinus, 2^{-1} , $3^{\log_2 x}$, $2^{\log_2(x-1)}$

Cooperarea dintre microprocesorul principal și coprocesor se face în modul următor: pentru activarea coprocesorului matematic, microprocesorul îi transmite acestuia un cod special, numit *escape*. În acest moment se inițiază cooperarea dintre cele două procesoare. După ce datele trimise coprocesorului au ajuns la acesta, ele încep să fie prelucrate prin funcțiile specifice coprocesorului, iar același microprocesorul principal pregătește configurarea datelor pentru următoarea lucră a coprocesorului. Aceste două operații se execută simultan, dar sunt distincte în același timp

Procesoarele DSP (Digital Signal Processor)

Procesoarele de semnale digitale rezintă unul dintre cele mai importante tipuri de coprocesoare existente într-un calculator personal.

Acest tip de coprocesor este capabil să prelucereze semnale analogice din mediul real (imagini, sunete, etc.) ce au fost convertite în semnale digitale conținând în acest sens instrucțiuni folosite în manipularea semnalelor analogice și prelucrare acestora. Astfel, coprocesoarele de tip DSP sunt utilizate în aplicații de tipul:

- Sinteza și recunoașterea vorbirii
- Prelucrare imaginilor video și fotografice
- Sinteza sunetelor și a muzicii
- Comprimarea și decompimarea audio-video
- Accelerarea grafică 2D și 3D
- Funcții de modem

Au apărut astfel și apar în continuare noi tipuri de interfețe ce permit introducerea în sistem a unor coprocesoare DSP. Un exemplu de astfel de interfață e *RMI (Resource Manager Interface - interfață de administrare a resurselor)* ce permite transferul unor aplicații de la microprocesorul principal la un coprocesor DSP care le poate executa în timpul în care microprocesorul este ocupat cu alte operații.

Extensii MMX (MultiMedia eXtension sau Matrix Math eXtension)

Necesitatea creșterii tot mai mari a performanțelor microprocesoarelor calculatoarelor personale a dus la ambiția firmei Intel de înglobare în funcțiunile procesoarelor Pentium a unor funcții de prelucrare a semnalelor ce erau îndeplinite până acum de coprocesoarele DSP. Au apărut astfel instrucțiunile MMX ce au reprezentat prima schimbare majoră în setul de instrucțiuni x86 în ultimul deceniu. MMX definește 57 de noi instrucțiuni și un prim gol de compatibilitate de la introducerea microprocesorului 386. Toate noile procesoare ale firmelor Intel, AMD sau Cyrix înglobează suport pentru aceste noi instrucțiuni.

Scopul extensiei instrucțiunilor MMX este acela de a asigura o performanță hardware pentru anumite tipuri de programare multimedia. În particular, instrucțiunile MMX sunt proiectate să asigure procesarea unei mari cantități de date într-un timp scurt, folosind o singură instrucțiune. Acest procedeu este deseori referit ca *SIMD (Single Instruction Multiple Data)*, adică execuția unei singure instrucțiuni pe mai multe seturi diferite de date în același timp. Aceasta este de fapt, originea numelui *Matrix Math eXtension (Extensie Matricială Matematică)*, din moment ce aceste instrucțiuni operează asupra unei matrice de date (date multiple). Aceste tipuri de instrucțiuni sunt în mod special folosite pentru calcule necesare în o cea ce a condus la cea de-a doua

proveniență a numelui: *MultiMedia eXtensions (Extensie MultiMedia)*. Din moment ce MMX este o extensie a unui set de instrucțiuni, aceasta înseamnă că procesoarele ce vor suporta această extensie vor rula toate aplicațiile software ce rulează pe procesoarele anterioare, dar nu și vice-versa: procesoarele MMX sunt compatibile cu cele mai vechi, dar nu și invers. De asemenea, pentru a utiliza avantajul instrucțiunilor MMX, trebuie ca și software-ul respectiv să fie scris având în vedere aceste extensii. În acest sens software-ul trebuie să detecteze dacă procesorul suportă MMX, deoarece procesoarele non-MMX nu pot procesa deloc instrucțiunile MMX, apoi este posibil ca software-ul să fie scris astfel încât să lucreze atât cu instrucțiunile MMX cât și cu instrucțiunile non-MMX, doar folosind coduri diferite în zonele în care sunt folosite instrucțiunile MMX.

În mod evident, deoarece se referă în mod special la aplicațiile multimedia, celelalte aplicații vor beneficia foarte puțin de avantajele extensiei MMX. Procesările video, editarea fișierelor audio, prelucrările grafice, jocurile și software-ul similar cu acestea beneficiază în mod sigur de performanțele crescute sub extensia MMX, în timp ce aplicațiile standard nu au decât foarte puțin de câștigat sau deloc de pe urma avantajelor tehnologiei MMX.

Memoria cache de nivel 1 și controller-ul de memorie cache

Toate microprocesoarele moderne încorporează o mică memorie de viteză foarte mare aflată direct pe cip, numită memorie cache de nivel 1.

Această memorie este folosită pentru stocarea datelor și instrucțiunilor recent folosite sau ce urmează a fi utilizate imediat. Un principiu al științei calculatoarelor spune că dacă un procesor a referit recent o locație de memorie, este foarte probabil ca să facă referire din nou la acea locație în viitorul apropiat. Folosind o memorie ultrarapidă cache pentru a stoca datele recent folosite absolvă procesorul de căutarea în memorie a acelor date și de a le încărca din nou. Acest lucru are o importanță deosebită și îmbunătățește sensibilitatea performanțelor, deoarece memoria principală este cu multe ordine de mărime mai lentă decât memoria de tip cache a microprocesorului. În mod evident însă, o creștere a performanței impune și un preț de plătit:

memoriile cache sunt memorii foarte scumpe.

Memoria cache integrată în microprocesor se numește memorie cache de nivel 1 (sau memorie cache primară) deoarece este cea mai apropiată de acesta. De fiecare dată când procesorul cere informații ce se găsesc în memorie, controller-ul de memorie cache (sau, pe scurt, controllerul cache) de pe cip folosește un circuit special prin care în primă fază verifică dacă datele respective sunt deja în memoria cache. Dacă da, atunci sistemul economisește timpul respectiv de acces la memoria principală. Cele mai multe PC-uri folosesc și o memorie cache de nivel 2 (sau memorie cache secundară, plasată pe placade bază a PC-ului) pentru stocarea datelor recent folosite ce nu au mai încăput în memoria cache de nivel 1 (mult mai mică).

Memoriile cache primare tipice ale microprocesoarelor variază de la 8KB (la 486) la 32KB (Pentium II) sau la 64KB (AMD K6), putând avea însă dimensiuni chiar mai mari la microprocesoarele recente de tip RISC. În timp ce microprocesoarele dinainte de 486 nu aveau memorie cache primară. Aceste memorii cache sunt foarte rapide deoarece rulează la întreaga viteză a procesorului și sunt integrate direct în acesta.

Există două modalități de organizare a memoriei cache primare de către un procesor; unele proesoare posedă o singură memorie cache pentru a folosi atât date cât și instrucțiuni; o astfel de memorie cache se numește, de obicei, memorie cache unificată. Alte proesoare folosesc două memorii cache separate: una pentru date și alta pentru instrucțiuni, iar modalitățile de descriere pot fi diferite în cele două memorii. De exemplu, la microprocesorul Pentium memoria cache pentru date adoptă o politică de tipul "write-back", în timp ce pentru memoria cache de instrucțiuni este folosită doar metoda "write-through". Politica de scriere a memoriei cache determină modalitatea de scriere în locațiile de memorie ce sunt stocate în memoria cache; din acest punct de vedere există două tipuri de memorii cache:

- Memoriile cache "write-back" (sau cache "copy back"). Acest tip de memorie cache funcționează astfel: când sistemul scrie într-o locație de memorie ce este în prezent stocată în cache, noua informație este scrisă doar în cache, nefiind scrisă efectiv în memoria sistemului. În continuare, dacă altă locație de memorie trebuie să folosească zona de cache unde informația este stocată, este salvată înapoi (write-back) în memoria principală și apoi zona eliberată de cache poate fi folosită de noua adresă. Acest tip de cache oferă performanțe mai bune decât memoria "write-through", deoarece economisește timpul de scriere în memoria principală.

- Memoriile cache "write-through". În acest caz, de fiecare dată când procesorul scrie într-o locație de memorie cache, atât memoria cache cât și memoria sistemului sunt reactualizate, având loc deci o pierdere de timp pentru scrierea în memoria de sistem. Acest tip de cache are performanțe mai slabe decât "write-back", dar este mai simplu de implementat.