

PROCESSORI



Procesor (u stvari kratak oblik za reč mikroprocesor, koji se često zove i CPU ili centralna procesorska jedinica) predstavlja središnji sastavni deo PC računara. Ova vitalna komponenta je na neki način odgovorna za sve što radi PC računar. Procesor pored ostalog određuje, u najmanju ruku delimično, koji operativni sistemi će se upotrebiti, koji softverski paket može da radi na PC računaru, koliko mu je električne energije potrebno i koliko će sistem biti stabilan. Procesor takodje uglavnom određuje i koliko će ceo sistem da košta: što je procesor noviji i moćniji, mašina će biti skuplja.

Kada je mađjar po rođenju John von Neumann prvi predložio pamćenje niza instrukcija - to će reći programa - u istoj memoriji gde se nalaze i podaci, to je stvarno bila inovativna ideja. On je to napisao 1945. godine u svom "Prvom nacrtu izveštaja o EDVAC-u". U tom izveštaju, računar je bio organizovan u četiri glavne celine: centralna aritmetička jedinica, centralna upravljačka jedinica, memorija i ulazno/izlazni uredjaji.

Danas, posle više od pola veka, gotovo svi procesori imaju "von Neumann-ovu" arhitekturu.

Principi

Principi kojima podležu svi računari su isti. U osnovi, oni svi uzimaju signale u obliku nula (0) i jedinica (1) (koji se zato zovu **binarni** signali), manipulišu njima saglasno nekom skupu instrukcija i proizvode izlaze, opet u obliku nula i jedinica. Napon na liniji u trenutku kada se signal pošalje određuje da li je taj signal 0 ili 1. U sistemu koji radi na 3,3V, napon od 3,3V znači da je to 1, dok napon od 0V znači da je 0.

Savremeni mikroprocesori sadrže na desetine miliona mikroskopski malih tranzistora. Upotrebljeni u kombinaciji sa otpornicima, kondenzatorima i diodama, oni čine logička kola. Logička kola grade integrisana kola, a integrisana kola - elektronske sisteme. Prvi slavan rezultat firme Intel bio je integracija visokog nivoa svih logičkih kola u jedinstven složeni procesorski čip - Intel 4004 - koji se pojavio krajem 1971. godine. To je bio 4-bitni mikroprocesor, namenjen za upotrebu u kalkulatoru. On je obradivao podatke od 4 bita, ali su mu instrukcije bile dužine od 8 bita. Memorije za program i podatke bile su razdvojene. Intel 4004 je imao 46 instrukcija, koristio je svega 2300 tranzistora u 16-pinskom pakovanju sa dvojnim priključnim sklopom (Dual in Line Package - DIP) i imao je brzinu generatora takta od 740 kHz (osam ciklusa generatora takta po ciklusu centralne procesorske jedinice od 10,8 mikrosekundi).

Dve familije mikroprocesora su nekoliko godina vladale industrijom PC računara - Pentijumi firme Intel i PowerPC firme Motorola. Ove centralne procesorske jedinice bile su takodje prvi primeri dve konkurentne procesorske arhitekture u poslednje dve decenije - od kojih se prva klasifikuje kao CISC, a druga kao RISC čip.

CISC

Računar sa složenim skupom instrukcija (complex instruction set computer - CISC) je tradicionalna računarska arhitektura, u kojoj centralna procesorska jedinica koristi mikrokôd da bi izvršavala veoma širok skup instrukcija. Te instrukcije mogu da budu



promenljive dužine i da koriste sve načine adresiranja, što zahteva složenu elektroniku za njihovo dekodovanje.

Proizvodjači računara su jedno vreme težili da izgrade sve složenije centralne procesorske jedinice koje su imale sve veće skupove instrukcija. 1974. godine, John Cocke iz IBM-ovog istraživačkog sektora odlučio je da pokuša sa pristupom koji bi dramatično smanjio broj instrukcija koje čip izvršava. Do sredine 80-ih godina to je dovelo do toga da je jedan broj proizvođača računara obrnuo trend gradeći centralne procesorske jedinice koje su mogle da izvršavaju samo veoma ograničen skup instrukcija.

RISC

Centralne procesorske jedinice računara sa smanjenim skupom instrukcija (reduced instruction set computer - RISC) imaju konstantnu dužinu instrukcija, isključile su indirektni način adresiranja i zadržale su samo one instrukcije koje mogu da se preklapaju i izvršavaju u jednom mašinskom ciklusu ili manje od toga. Prednost RISC centralnih procesorskih jedinica je u tome što one mogu veoma brzo da izvršavaju instrukcije, jer su te instrukcije tako jednostavne. Druga, možda mnogo važnija prednost je u tome što RISC čipovi zahtevaju manje tranzistora, što ih čini jeftinijim za projektovanje i proizvodnju.

Još uvek postoji značajna rasprava između eksperata o krajnjoj vrednosti RISC arhitektura. Njihove pristalice ističu da su RISC mašine i jeftinije i brže, pa su zbog toga mašine budućnosti. Skeptici primećuju da učinivši hardver jednostavnijim, RISC arhitekture više opterećuju softver - RISC prevodioci moraju da generišu softverske rutine za izvršavanje složenih instrukcija koje se u CISC računarima izvode u hardveru. Oni ističu da to ne vredi uloženog truda, jer su konvencionalni procesori i tako postali brzi i jeftini.

Istorijska perspektiva

Procesor 4004 bio je preteča svih današnjih ponuda firme Intel i, do dana današnjeg, svi procesori PC računara bili su zasnovani na originalnim projektima ove firme. Prvi čip koji je upotrebljen u IBM PC računaru bio je Intel 8088. U vreme kada je odabran, to nije bila najbolja raspoloživa centralna procesorska jedinica, u stvari Intel-ov sopstveni procesor 8086 bio je moćniji i pojavio se ranije. Procesor 8088 je odabran iz ekonomskih razloga: njegova 8-bitna magistrala podataka je zahtevala jeftinije matične ploče od 16-bitnog 8086. Takođe, u vreme kada je projektovan originalni PC računar, većina raspoloživih čipova za sprege bila je namenjena za upotrebu u 8-bitnim konstrukcijama. Ovi rani procesori ne bi imali ni blizu dovoljnu snagu da izvršavaju današnje programe.

Sledeća tabela prikazuje generacije procesora od prve generacije 8088/86 firme Intel u kasnim 70-tim godinama do sedme generacije AMD Athlon koja je uvedena u leto 1999. godine:



Tip/ Generacija	Godina	Širina magistralne podatka / adresa	Skrivena memorija 1. nivoa (KB)	Brzina memorijske magistrale (MHz)	Brzina unutrašnjeg generatora takta (MHz)
8088/Prva	1979	8/20 bit	Nema	4.77-8	4.77-8
8086/Druga	1978	16/20 bit	Nema	4.77-8	4.77-8
80286/Druga	1982	16/24 bit	Nema	6-20	6-20
80386DX/Treća	1985	32/32 bit	Nema	16-33	16-33
80386SX/Treća	1988	16/32 bit	8	16-33	16-33
80486DX/Četvrta	1989	32/32 bit	8	25-50	25-50
80486SX/Četvrta	1989	32/32 bit	8	25-50	25-50
80486DX2/Četvrta	1992	32/32 bit	8	25-40	50-80
80486DX4/Četvrta	1994	32/32 bit	8	25-40	75-120
Pentium/Peta	1993	64/32 bit	8	60-66	60-200
MMX/Peta	1997	64/32 bit	16	66	166-233
Pentium Pro/Šesta	1995	64/36 bit	8	66	150-200
Pentium II/Šesta	1997	64/36 bit	16	66	233-300
Pentium II/Šesta	1998	64/36 bit	16	66/100	300-450
Pentium III/Šesta	1999	64/36 bit	16	100	450-600

Čipovi treće generacije, zasnovani na Intel-ovim 80386SX i DX procesorima, bili su prvi 32-bitni procesori koji su se pojavili u PC računarima. Glavna razlika među njima bila je u tome što je 386SX bio 32-bitni procesor samo u svojoj unutrašnjosti, dok su njegove sprege sa spoljašnjim svetom bile preko 16-bitne magistrale podataka. To je značilo da su se podaci kretali između SX procesora i ostatka sistema upola manjom brzinom nego kod procesora 386DX.

Četvrta generacija procesora je bila također 32-bitna. Ipak, oni su svi nudili izvestan broj poboljšanja. Prvo, čitava konstrukcija je bila pažljivo uradjena za Intel-ovu familiju 486, čineći ove procesore inherentno više od dva puta bržim. Drugo, oni su svi imali 8 Kbajta skrivene (keš) memorije na samom čipu, baš uz procesorsku logiku. Ovi skriveni prenosi podataka iz glavne memorije su značili da je procesor u proseku morao da čeka na podatak sa matične ploče samo 4% od ukupnog vremena, jer je obično bio u stanju da dobije traženu informaciju iz keš memorije.

Model 486DX razlikovao se od 486SX samo po tome što je imao i matematički koprocesor na ploči. To je bio zaseban procesor, projektovan da preuzme proračune sa pokretnim zarezom. On je imao malo uticaja na svakodnevne primene, ali je menjao performansu tabelarnih proračuna, programa za projektovanje pomoću računara itd.

Pentijum je definišući procesor pete generacije koji obezbeđuje veoma povećanu performansu u odnosu na čipove 486 koji su mu prethodili, zahvaljujući većem broju promena u arhitekturi koje uključuju i udvostručavanje širine magistrale podataka na 64 bita. Procesor P55C MMX je napravio dalja značajna poboljšanja



udvostručavanjem primarne skrivene memorije na ploči na 32 Kbajta i proširenjem skupa instrukcija u cilju optimizovanja izvršavanja multimedijских funkcija.

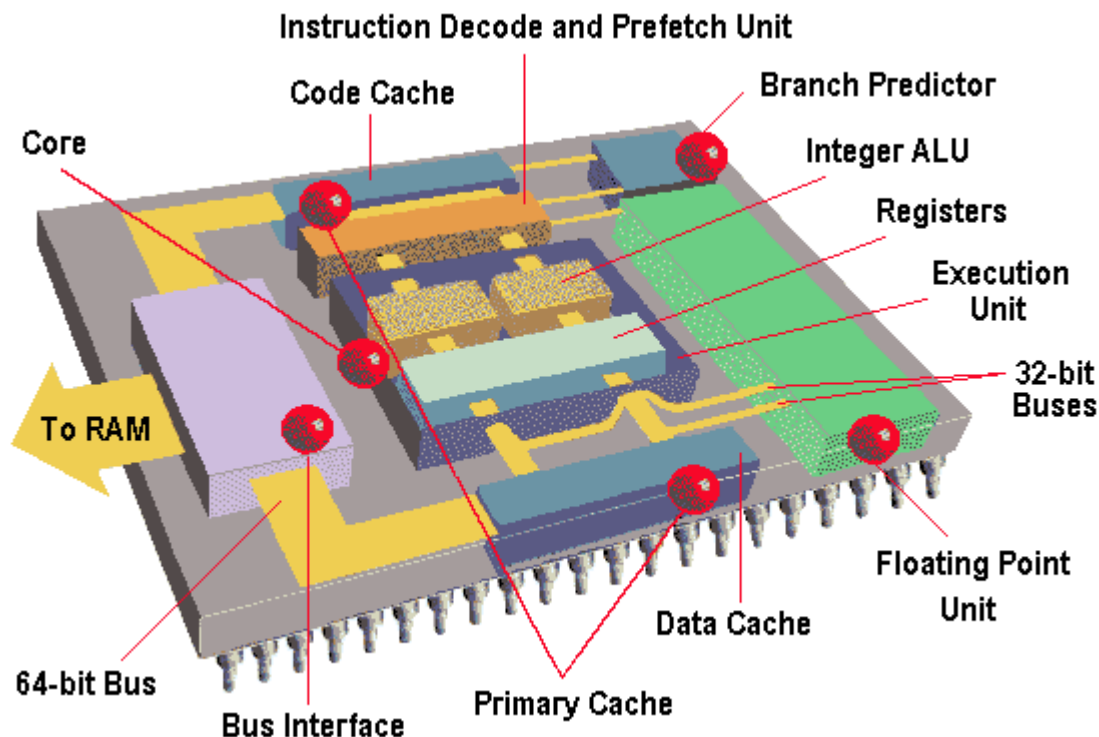
Procesor Pentijum Pro, uveden 1995. godine kao naslednik Pentijuma, bio je prvi u šestoj generaciji procesora i uveo je više jedinstvenih osobina arhitekture koje nikada ranije nisu bile vidjene u procesorima PC računara. To je bila prva centralna procesorska jedinica iz glavnog proizvodnog toka koja je radikalno promenila način izvršavanja instrukcija, prevodeći ih u mikroinstrukcije slične onima kod RISC procesora i izvršavajući ih u vrlo naprednom jezgru. Takodje je uvedena skrivena memorija koja je imala dramatično viši nivo performanse u poredjenju sa svim ranijim procesorima. Umesto da se koristi keš memorija sa matične ploče koja radi brzinom memorijske magistrale, upotrebljena je integrisana skrivena memorija drugog nivoa sa njenom sopstvenom magistralom, koja radi punom brzinom procesora, tipično tri puta brže od skrivene memorije na Pentijumu.

Osnovna struktura

Glavni funkcionalni sastavni delovi procesora su (**Slika 2**):

- Jezgro: Srce moderne izvršne jedinice. Pentijum ima dva paralelna sklopa za protočnu obradu koji mu omogućavaju da čita, interpretira, izvršava i šalje dve instrukcije istovremeno.
- Jedinica za predviđanje grananja: Ovaj sklop pokušava da pogodi koja sekvenca će biti izvršena svaki put kada program sadrži uslovni skok, tako da jedinica za prethodno donošenje i dekodovanje može unapred da pripremi instrukcije.
- Jedinica za obradu u pokretnom zarezu: Treća izvršna jedinica u Pentijumu u kojoj se vrše necelobrojna izračunavanja.
- Primarna skrivena memorija: Pentijum ima dve skrivene memorije na čipu, svaka od po 8 Kbajta, od kojih je jedna za kôd a druga za podatke i koje su daleko brže od veće spoljašnje sekundarne skrivene memorije.
- Sprega za magistralu: Ovaj sklop donosi centralnoj procesorskoj jedinici pomešane podatke i kôd, odvaja ih kada treba da se koriste i ponovo ih kombinuje i vraća natrag.





Slika 2: Glavni funkcionalni sastavni delovi procesora

Napredovanja u arhitekturi

Prema Moore-ovom zakonu (koji je 1965. godine formulisao Gordon Moore, jedan od osnivača firme Intel), centralne procesorske jedinice udvostručavaju svoje kapacitete i sposobnosti na svakih 18 do 24 meseca. Poslednjih godina Intel je uspevao da se uporno drži ovog zakona i ostane na čelu svih konkurenata, uvodeći više moćnih čipova za PC računare od bilo kog drugog preduzeća. 1978. godine, procesor Intel 8086 je radio na učestanosti generatora takta od 4,77 MHz i imao manje od milion tranzistora. Do kraja 1995. godine njihov Pentijum Pro je imao zapanjujućih 21 milion tranzistora na čipu i radio je na učestanosti od 200 MHz.

Fizički zakoni ograničavaju projektante u beskrajnom povećavanju brzine generatora takta i, mada te brzine rastu svake godine, samo to ne bi dalo povećanja performanse na koja smo se navikli. To je razlog zašto inženjeri stalno traže načine da procesor preuzme na sebe sve više rada sa svakim otkucajem generatora takta. Jedan od pristupa je da se prošire magistrala podataka i registri. Čak i 4-bitni procesor može da sabere dva 32-bitna broja, ali je za to potrebno mnogo instrukcija, dok 32-bitni procesor može da obavi taj zadatak u jednoj jedinjoj instrukciji. Većina današnjih procesora ima 32-bitnu arhitekturu, ali već stižu i 64-bitne varijante.

Kada se kaže "da se neke stvari dešavaju sa svakim otkucajem generatora takta", potcenjuje se koliko je stvarno vremena potrebno da bi se izvršila neka instrukcija.



Tradicionalno, potrebno je pet taktova - jedan da se učitava instrukcija, jedan da se dekodira, jedan da se uzme podatak, jedan da se instrukcija izvrši i jedan da se upiše rezultat. U ovom slučaju, vidi se da je procesor koji radi na 100 MHz sposoban da izvrši 20 miliona instrukcija u sekundi.

Softverska kompatibilnost

U prvim danima računarstva, mnogi ljudi su pisali svoj sopstveni softver, tako da je tačan skup instrukcija koje bi procesor mogao da izvršava bio od malog značaja. Danas, međutim, ljudi očekuju da mogu da koriste gotov softver, tako da je skup instrukcija najvažniji. Mada sa tehničke tačke gledišta arhitektura procesora Intel 80x86 nije ništa posebno, ona je odavno postala industrijski standard.

Ako treće lice pravi procesor koji ima različite instrukcije, on neće moći da izvršava standardni industrijski softver, što će rezultovati praktično nikakvom prodajom. Zato su, u vreme procesora 386 i 486, firme kao što je AMD klonirale Intel-ove procesore, što je značilo da su one bile uvek za oko jednu generaciju u zaostatku. Procesori Cyrix 6x86 i AMD K5 su bili suparnici Intel-ovom Pentijumu, ali oni nisu bili kopije "pod indigo-papirom". K5 je imao svoj sopstveni skup instrukcija i prevodio je instrukcije 80x86 u svoje pre nego što ih je uzimao u obradu, tako da firma AMD nije morala da čeka na Pentijum da bi projektovala svoj K5. Mnogo toga oni su projektovali paralelno sa Intel-om - samo je sklop za prevodjenje bio zadržavan. Kada se K5 pojavio, on je nadmašio Pentijum u performansama u slučajevima kada su brzine generatora takta bile podjednake.

Pentijum

Reč Pentijum ne znači ništa, ali sadrži slog **pent**, grčki koren za broj **pet**. Na početku, Intel je nazvao ovaj procesor 80586, da bi nastavio seriju prethodnika ovog čipa 80x86. Ali, kompaniji se nije dopala ideja da AMD, Cyrix i drugi proizvođači klonova takodje koriste ime 80x86, pa je zato Intel odlučio da novom proizvodu da zaštićeno ime - odatle Pentijum.

Uvodjenje Pentijuma u 1993. godini napravilo je revoluciju na tržištu PC računara, stavljanjem više moći u PC kućište nego što je NASA imala u svojim klimatizovanim računarskim salama ranih 1960-ih godina. Pentijumova CISC arhitektura predstavljala je skok napred u odnosu na procesore 486. Verzije sa 120 MHz i više, imale su preko 3,3 miliona tranzistora, proizvedenih u 0,35-mikronskom procesu. U svojoj unutrašnjosti, procesor je imao 32-bitnu magistralu, ali spoljna magistrala podataka imala je širinu od 64 bita. Spoljna magistrala je zahtevala drukčiju matičnu ploču i da bi to podržao, Intel je takodje uveo poseban skup čipova za povezivanje Pentijuma sa 64-bitnom spoljašnom skrivenom memorijom i PCI magistralom.

Pentium Pro



Intel-ov Pentijum Pro, koji je bio uveden krajem 1995. godine sa jezgrom centralne procesorske jedinice koje se sastojalo od 5,5 miliona tranzistora i 15,5 miliona tranzistora u skrivenoj memoriji drugog nivoa, bio je prvo namenjen tržištu servera i vrhunskih radnih stanica. To je superskalarni procesor koji ima procesorske osobine višeg reda, optimizovan za rad na 32 bita. Pentijum Pro je isto tako bio i prvi Intel-ov procesor koji nije koristio cenjeno podnožje tipa Socket 7, zahtevajući veći 242-pinski interfejs podnožja tipa Socket 8 i novu konstrukciju matične ploče.

Pentijum Pro se razlikuje od Pentijuma po tome što ima skrivenu memoriju drugog nivoa na čipu kapaciteta između 256 Kbajta i 1 Mbajta koja radi na učestanosti unutrašnjeg generatora takta. Smeštanje sekundarne skrivene memorije na čip, a ne na matičnu ploču, omogućava signalima da prolaze preko 64-bitnog spojnog puta za podatke, a ne preko 32-bitnog puta Pentijumovih sistemskih magistrala. Fizička bliskost takodje doprinosi poboljšanju performanse. Kombinacija je toliko moćna da Intel izjavljuje kako je 256 Kbajta skrivene memorije na čipu ekvivalentno ili čak nadmašuje 2 Mbajta skrivene memorije na matičnoj ploči.

Pentijum II

Uveden sredinom 1997. godine, Pentijum II je doneo veći broj važnih promena u oblasti procesora PC računara:

- Prvo, sam čip i sistemska skrivena memorija drugog nivoa su povezani pomoću posebne namenske magistrale koja je mogla da radi istovremeno sa magistralom koja povezuje procesor sa sistemom.
- Drugo, procesor, sekundarna skrivena memorija i rashladni element su svi montirani na malu ploču koja se uključuje u slot na matičnoj ploči, na način koji više potseća na dodatne kartice nego na tradicionalni raspored procesor/podnožje. Intel je ovo nazvao jednoivični kertridž (single-edge cartridge - SEC).
- Treća promena je stvarno više sinteza, jer Pentijum II ujedinjuje osobinu udvojenih nezavisnih magistrala (Dual Independent Bus - DIB) Pentijuma Pro sa MMX poboljšanjima, praveći tako novu vrstu Pentijum Pro/MMX hibrida. Prema tome, dok izgleda vrlo različito u odnosu na prethodne Intel-ove procesore, u svojoj unutrašnjosti Pentijum II je mešavina novih tehnologija i poboljšanja onih starijih.

Za razliku od Pentijuma Pro koji radi na 3,3V, Pentijum II radi na 2,8V, dozvoljavajući tako Intel-u da koristi više učestanosti bez preteranog povećavanja zahteva za napajanjem. Dok Pentijum Pro na 200 MHz sa skrivenom memorijom od 512 Kbajta troši oko 37,9 W snage, Pentijumu II na 266 MHz sa skrivenom memorijom od 512 Kbajta potrebno je 37,0 W.



Celeron

U pokušaju da se bolje obrati sektoru PC računara niske cene, do tada carstvu proizvođača klonova, firmi AMD i Cyrix, koje su nastavile da razvijaju nasledjenu arhitekturu oko Podnožja 7, Intel je u aprilu 1998. godine uveo svoj niz procesora Celeron.

Zasnovani na istoj arhitekturi P6 kao i Pentijum II i koristeći isti 0,25-mikronski proizvodni proces, sistemi Celeron nude celokupno pakovanje najnovijih tehnologija, uključujući podršku AGP grafici, pogone diskova ATA-33, sinhronu dinamičku memoriju sa direktnim pristupom (SDRAM) i ACPI. Celeron će raditi sa svakim skupom čipova za Intel Pentijum II koji podržava sistemsku magistralu od 66 MHz, uključujući 440LX, 440BX i novi 440EX, koji je posebno projektovan za tržište "osnovnih PC računara". Za razliku od Pentijuma II sa njegovim pakovanjem u kertridžu sa jednoivičnim kontaktom (SEC), Celeron nema plastičnu zaštitnu oblogu oko procesorske kartice, što Intel zove Jednoivično procesorsko pakovanje (Single Edge Processor Package - SEPP). On je još uvek kompatibilan sa Slotom 1, dozvoljavajući da se koriste postojeće matične ploče, ali mehanizam za zadržavanje kartice centralne procesorske jedinice treba da se prilagodi da bi mogao da radi sa SEPP faktorom forme.

Prvi Celeroni na 266MHz i 300MHz, bez skrivene memorije drugog nivoa, nisu baš naišli na neki oduševljen odziv tržišta, jer su nudili malu ili nikakvu prednost u odnosu na sisteme sa Podnožjem 7 zasnovane na klonovima, a ipak ne uspevajući da daju značajnije preimućstvo u performansi. U avgustu 1998. godine, Intel je pojačao svoj niz Celeron sa procesorom prvobitno nazvanim Mendocino. Shodno tome, počevši od tipa 300A, svi celeroni su došli opremljeni sa 128 Kbajta skrivene memorije drugog nivoa na čipu koje su radile punom brzinom centralne procesorske jedinice, uz spoljašnju komunikaciju preko magistrale od 66 MHz. Ovo je učinilo novije Celerone daleko sposobnijim od njihovih tromih prethodnika.

Ono što donekle zbunjuje je činjenica da su svi procesori Celeron, od 300A do 466 MHz, bili raspoloživi u dve verzije - u faktorima forme SEPP ili plastična matrica pinova (plastic pin grid array - PPGA). Prvi od njih je verzija za glavni tok proizvodnje, kompatibilan sa postojećom Intel-ovom arhitekturom oko Slota 1, dok je drugi Podnožje Pin 370 koje nije ni Podnožje 7 ni Slot 1. Upotreba podnožja, pre nego slota, daje projektantima matičnih ploča više fleksibilnosti, jer podnožje zauzima manje mesta i istovremeno ima bolje karakteristike disipacije toplote. Posledica je da ono obezbeđuje proizvođačima originalne opreme više mogućnosti za konstrukcije sistema manje cene. Verzija od 500 MHz bila je raspoloživa samo u PPGA pakovanju.

Pentium III

Intel-ov naslednik Pentijuma II, prvobitno nazvan Katmai, došao je na tržište u proleće 1999. godine. Sa uvođenjem procesora MMX, došao je i proces nazvan



Jedna instrukcija - višestruki podaci (SIMD). To je omogućilo da jedna instrukcija izvede istu funkciju na više podataka istovremeno, povećavajući brzinu kojom su skupovi podataka koji su zahtevali iste operacije mogli biti obradivani. Novi procesor je uveo 70 dodatnih SIMD proširenja - ali nije napravio nikakva poboljšanja u arhitekturi.

Od tih novih SIMD proširenja, 50 je bilo namenjeno poboljšanju performanse za rad u pokretnom zarezu. Da bi se pomoglo manipulisanje podacima, postoji osam novih 128-bitnih registara. U kombinaciji, ova poboljšanja su dovela do toga da je do četiri rezultata u pokretnom zarezu moglo biti vraćeno u svakom ciklusu procesora. Postoji takodje 12 novih instrukcija za medije koje se dopunjavaju sa postojećih 57 celobrojnih MMX instrukcija obezbeđivanjem dodatne podrške obradi multimedijjskih podataka. Poslednjih 8 instrukcija se kod Intel-a označavaju kao nove instrukcije za skrivenu memoriju. One poboljšavaju efikasnost skrivene memorije prvog nivoa centralne procesorske jedinice i dozvoljavaju naprednijim projektantima softvera da pojačaju performanse svojih primena ili računarskih igara.

Itanium

U junu 1994. godine Hewlett-Packard je najavio njihov združeni istraživačko-razvojni projekat namenjen da se dobiju napredne tehnologije za radnu stanicu za kraj milenijuma, server i računarske proizvode za preduzeća, a u oktobru 1997. godine oni su otkrili prve detalje njihove 64-bitne računarske arhitekture. U to vreme, prvi član Intel-ove nove porodice 64-bitnih procesora - nazvan Merced, po reci u Kaliforniji - bio je pripremljen za proizvodnju u 1999. godini, upotrebom 0,18-mikronske tehnologije. U situaciji kada je razvojni program Merced posrnuo i bio procenjen na još uvek godinu dana daleko od završetka, Intel je objavio izbor imena Itanium na svom razvojnom forumu u oktobru 1999. godine.

Glavna korist od 64-bitne računarske arhitekture je količina memorije koja može da se adresira. Sredinom 1980-ih godina, 4 Gbajta adresibilne memorije 32-bitnih platformi je bilo više nego dovoljno. Međutim, do kraja milenijuma, velike baze podataka su prevazišle tu granicu. Vreme potrebno da se pristupi memorijskim uređajima i podaci smeste u virtuelnu memoriju ima značajan uticaj na performansu. 64-bitne platforme mogu adresiraju enormnih 16 Tbajta memorije. U stvarnim terminima to znači da opslužuju baze podataka dovoljno velike da, dok 32-bitna platforma može da opsluži bazu podataka dovoljno veliku da zapamti ime svakog stanovnika SAD od 1977. godine, ona 64-bitna je dovoljno moćna da zapamti ime svake osobe koja je ikada živela od postanka sveta! Međutim, bez obzira na uticaj koji će imati povećano adresiranje memorije, njegova tehnologija Eksplicitnog računanja pomoću paralelnih instrukcija (Explicitly Parallel Instruction Computing - EPIC) - temelj nove 64-bitne arhitekture skupa instrukcija (Instruction Set Architecture - ISA) - je ono što predstavlja Itanium-ov najveći tehnološki napredak.

EPIC, koji sadrži inovativnu kombinaciju spekulacije, predviđanja i eksplicitnog paralelizma, predstavlja napredak u najsavremenijim dostignućima u procesorskim tehnologijama, posebno se obraćajući ograničenjima performanse koja se nalaze u



RISC i CISC tehnologijama. Dok obe od ovih arhitektura već koriste razne interne tehnike da bi pokušale da obraduju više od jedne instrukcije odjednom gde je to moguće, stepen paralelizma u kôdu je određen jedino u vreme izvršenja od strane delova procesora koji nastoje da analiziraju i promene redosled instrukcija u hodu. Ovaj pristup troši vreme i prostor na čipu koji bi mogli biti upotrebljeni za izvršenje, a ne za organizaciju instrukcija. EPIC vrši proboj kroz sekvencijalnu prirodu uobičajenih arhitektura procesora, dozvoljavajući softveru da komunicira eksplicitno sa procesorom kada operacije treba da se izvode paralelno.

Rezultat je da procesor može jednostavno da zgrabi što je moguće veću gomilu instrukcija i izvršava ih istovremeno, sa minimalnom predobradom. Povećana performansa je ostvarena pomoću smanjivanja broja grana i promašaja u pogadjanju grananja i pomoću smanjivanja efekata kašnjenja između memorije i procesora. IA-64 arhitektura skupa instrukcija - objavljena u maju 1999. godine - primenjuje tehnologiju EPIC da pruži velike resurse sa urođenom skalabilnošću, što nije bilo moguće sa arhitekturama prethodnih procesora. Na primer, sistemi mogu da se projektuju da se uključuju u nove izvršne jedinice kad god se zahteva nadgradnja, slično kao što se uključuje više memorijskih modula u postojeće sisteme. Prema firmi Intel, IA-64 ISA predstavlja najznačajniji napredak u mikroprocesorskoj arhitekturi od uvođenja njihovog čipa 386 u 1985. godini.

Procesori IA-64 će imati masivne računarske resurse koji uključuju 128 celobrojnih registara, 128 registara za pokretni zarez i 64 predikatna registra, uz još jedan broj registara posebne namene. Instrukcije će biti pakovane u grupama za paralelno izvršavanje pomoću različitih funkcionalnih jedinica. Skup instrukcija je optimizovan za potrebe kriptografije, video kodovanja i drugih funkcija koje će biti više potrebne u sledećoj generaciji servera i radnih stanica. U procesorima IA-64 je odražana i unapredjena podrška Intelovoj tehnologiji MMX i proširenjima za SIMD.

Pentium 4

Novе osobine koje je uvela nova mikroarhitektura Pentijuma 4, nazvana NetBurst, obuhvataju:

- inovativnu implemenraciju skrivene memorije prvog nivoa koja sadrži - pored 8 K bajta podataka - keš za praćenje izvršenja, koji pamti do 12K dekodovanih instrukcija x86 (mikrooperacija), otklanjajući tako kašnjenje pridruženo sa dekoderom instrukcija u glavnim petljama izvršenja;
- brzu mašinu za izvršenje koja gura procesorske aritmetičko-logičke jedinice na dvostruku učestanost jezgra, što rezultuje većom propusnom moći izvršenja i njegovim smanjenim kašnjenjem - čip u stvari koristi tri odvojena generatora takta: na učestanosti jezgra, aritmetičko-logičkih jedinica i magistrale;



- veoma duboku, izvršnu mašinu za vanredno spekulativno izvršenje - koje se zove Mašina za napredno dinamičko izvršenje - za izbegavanje zastoja koji mogu se pojaviti dok instrukcije čekaju da se razreše međusobne zavisnosti, a pomoću obezbeđivanja velikog skupa instrukcija iz koga izvršne jedinice mogu da biraju;
- Skrivena memorija drugog nivoa sa naprednim prenosom od 256 Kbajta koja obezbeđuje spregu od 256 bita (32 bajta) za prenos podataka u svaki blok jezgra, dajući tako mnogo veću propusnu moć kanala podataka - 44,8 Gbajta u sekundi (32 bajta x 1 prenos podataka po ciklusu x 1,4 GHz) za procesor Pentijum 4 na 1,4 GHz;
- SIMD proširenja 2 (SSE2) - najnovija iteracija Intel-ove tehnologije Jedna instrukcija - više podataka (SIMD) - koja ima 76 novih SIMD instrukcija i poboljšanja za 68 celobrojnih SIMD instrukcija, što dozvoljava čipu da zgrabi 128 bitova podataka istovremeno i za rad u pokretnom zarezu i za celobrojni rad i tako ubrza operacije kodovanja i dekodovanja koje zahtevaju intenzivan rad centralne procesorske jedinice, kao što su procedure za video, govor, trodimenzionalno prokazi, multimediju i slično;
- Prvu industrijsku sistemsku magistralu na 400 MHz, koja obezbeđuje trostruko povećanje propusne moći, poredjeno sa trenutnom Intel-ovom sistemskom magistralom na 133 MHz.

Pentium Prescott

Stigao je novi procesor Pentium 4 "E", poznat takodje i kao "Prescott". Prescott sadrži iste sastavne blokove kao i njegov prethodnik, procesor Pentium 4 "Northwood", ali ima dvostruko veće skrivene memorije oba nivoa (16 KB za nivo L1 i 1 MB za nivo L2), dodaje SSE-3 i poboljšano predviđanje programskog grananja, kao i desetine drugih manjih doterivanja. U isto vreme, prinešena je žrtva na oltaru brzine generatora takta: protočna obrada je povećana sa 21 na 31 stepen.

Kako je sistem distribucije signala iz generatora takta procesora Prescott znatno poboljšan u odnosu na onaj kod procesora Northwood i može da se skalira do 5 GHz, jasno je da je tome morala da se prilagodi i sama arhitektura procesora. Sa druge strane, duboke protočne obrade predstavljaju oštre kazne za pogrešna predviđanja programskog grananja i duga kašnjenja, ako je jednoj instrukciji potreban rezultat prethodne instrukcije.

Ali pre svega, obratićemo pažnju na novu arhitekturu procesora Pentium 4 "Prescott" i utvrdićemo da li vlasnici procesora Northwood mogu ili ne mogu da nadgrade svoje sisteme na ovu novu centralnu procesorsku jedinicu.

Specifikacije centralne procesorske jedinice



U ovoj tabeli su najvažnije tehničke specifikacije porodice procesora Pentium 4, zajedno sa njenom konkurencijom.

Svojstva	Athlon 64 FX	Athlon 64	Pentium 4 "C"	Pentium 4 "E"	Pentium 4 EE	Athlon XP 3200+
Brzina generatora takta	2,2–2,4 GHz (uskoro)	2 –2,2 GHz	2,4-3,4 GHz	2,8–3,4 GHz	3,2-3,4 GHz	2,2 GHz
Procesna tehnologija (µm)	0,13 SOI Cu	0,13 SOI Cu	0,13 Cu	0,09 Cu	0,13 Cu	0,13 Cu
Tranzistori (milioni)	105,9	105,9	55	125	168	37,5
Napon	1,55V	1,550V	1,5-1,55V	1,3V – 1,5V	1,55V	1,65V
Veličina matrice (mm ²)	193	193	131	112	> 200	101
Dužina protočne obrade (celobrojna/FP)	12/17	12/17	21	31	21	10/15
Adresni prostor	Athlon 64FX	Athlon 64	Pentium 4 "C"	Pentium 4 "E"	Pentium 4 EE	Athlon XP 3200+
Najveći fizički adresni prostor	1024 GB flat (40 bitova)	1024 GB flat (40 bitova)	64 GB PSE (36 bitova)	64 GB PSE (36 bitova)	64 GB PSE (36 bitova)	4 GB
Najveći virtuelni adresni prostor	256 TB (48 bitova)	256 TB (48 bitova)	4 GB	4 GB	4 GB	4 GB
SIMD	SSE2 / 3DNow! / SSE	SSE2 / 3DNow! / SSE	SSE2 / SSE	SSE / SSE2/SSE3	SSE2 / SSE	3DNow!/SSE
Konfiguracija skrivene memorije	Athlon 64FX	Athlon 64	Pentium 4 "C"	Pentium 4 "E"	Pentium 4 EE	Athlon XP 3200+
Skrivena memorija L1 (podaci/instrukcije)	64/64 KB	64/64 KB	8 KB/ 8-16 KB**	16 KB/ 8-16 KB**	8 KB/ 8-16 KB**	64/64 KB
Kašnjenje skrivene memorije L1 (učitavanje do upotrebe)	3	3	2	2	2	3
Skrivena memorija L2	1024 KB	1024 KB	512 KB	1024 KB	512 KB	512 KB
Širina skrivene memorije nivoa L2	128 bitova	128 bitova	256 bitova	256 bitova	256 bitova	64 bita
Kašnjenje skrivene memorije L2 (učitavanje do upotrebe (+kašnjenje L1))	16	16	9-20	9-20***	9-20	11-20 (*)
Skrivena memorija L3	-	-	-	-	2 MB	-
Memorija	Athlon 64FX	Athlon 64	Pentium 4 "C"	Pentium 4 "E"	Pentium 4 EE	Athlon XP 3200+
Konfiguracija memorije	2x DDR400	1x DDR400	2 x DDR400	2 x DDR400	2xDDR400	DDR400
Najveća širina propusnog opsega memorije do centr. procesora	6,4 GB/s	3,2 GB/s	6,4 GB/s	6,4 GB/s	6,4 GB/s	3,2 GB/s

** 12000 Mikro operacija u sekundi, što je uporedivo sa oko 8 KB x86 instrukcije skrivene memorije sa mnogo složenih instrukcija, ali sa 16 KB konvencionalne instrukcije memorije, ako se program sastoji od jednostavnih instrukcija

*** Nije mereno.

Naravno, veliko iznenadjenje bilo je to što su u kompaniji Intel proširili protočnu obradu procesora Pentium 4 za još 10 stepeni iza keša trasiranja. Da su stepeni za dekodovanje ispred keša za trasiranje ostali isti, to bi značilo da bi Prescott



verovatno imao oko 39 (31+8) stepeni ukupno. Zaista, tih 8 dodatnih stepeni neće imati – u većini slučajeva – nikakvog efekta na kažnjavanje zbog promašaja u predviđanju programskog grananja, ali to vam daje izvesnu zamisao koliko mnoge je ta arhitektura razradjena zbog brzine generatora takta. Radi poredjenja, Athlon 64 ima samo 12 stepeni u protočnoj obradi, uključujući tu i dekodovanje.

Mi sada imamo mnogo tačniju procenu koliko je velika skrivena memorija za trasiranje u poredjenju sa uobičajenom skrivenom memorijom za instrukcije nivoa L1: u Intelu procenjuju da je ona negde izmedju 8 KB i 16 KB. Sa skrivenom memorijom za podatke udvostručenom na 16 KB, porodica procesora Pentium 4 konačno ima skrivenu memoriju nivoa L1 približno iste veličine kao stari Pentium III, mada sa bržim ciklusom.

Veličina matrice procesora Prescott je takodje vredna pomena: samo 112 mm² sa 125 miliona tranzistora! Kada ove jeseni kompanija AMD predje na 90-nanometarsku (0,09-mikronsku) tehnologiju, odgovarajuće “skupljanje” matrice dovešće do veličine matrice procesora Athlon 64 od oko 120 mm².

125 miliona tranzistora?

Pomenutih 125 miliona tranzistora zapanjilo je mnogo ljudi, uključujući tu i skromnog potpisnika ovih redova. Hajde prvo da izračunamo koliko mnogo novih tranzistora se zahteva za dodatnih 512 KB skrivene memorije nivoa L2:

512*1024 (KBajtova) * 8 (8 bitova) * 6 (1 ćelija SRAM memorije) = 25,2 miliona

Sada to dodajte broju tranzistora procesora Northwood (55 miliona) i stići ćete na oko 80 miliona tranzistora. Još jedan milion za 16 KB skrivene memorije nivoa L1 i nekoliko većih bafera I jo uvek smo “kratki” za rečenu cifru od 125 miliona.

Markus Weingartner, Intel Europe:

Veliki broj tranzistora takodje odlazi na tehnologiju “Full Scan”. To je tehnologija za otkrivanje i otklanjanje grešaka, koja nam dozvoljava da otkrivamo greške u centralnoj procesorskoj jedinici do najmanje funkcionalne grupe.

Trebalo bi takodje da uzmete u obzir druge nove instrukcije. I one su dodate procesoru Prescott – a ne samo još 512KB za skrivenu memoriju.

Ugradjeni testovi za samoispitivanje (Built-In Self Tests, ili skraćeno **BIST**), koriste se od strane mnogih proizvođača da bi se otkrili kvarovi u čipovima. Oni su se nalazili u ugradjenim centralnim procesorskim jedinicama, grafičkim procesorima i drugim centralnim procesorskim jedinicama za stone sisteme ili servere, uključujući tu i one koje proizvodi firma Sun. Čak i uz ovakvo obašnjenje, veoma je verovatno da izvestan broj tranzistora unutar procesora Prescott u ovom trenutku nije u funkciji. Verovatni kandidati za njihovu upotrebu su podrška za 64-bitne arhitekture x86 i podrška za dinamičku obradu po više programskih niti (*Dynamic Multi-Threading*, DMT) sa spekulativnim prethodnim izvršenjem.

Arhitektura centralne procesorske jedinice

U osnovi, procesor Prescott je Northwood Pentium 4 sa četiri glavne kategorije poboljšanja:

- poboljšano skaliranje frekvencije;



- smanjen uticaj dugačke protočne obrade;
- poboljšana performansa hiperobrade po više programskih niti (*Hyperthreading*);
- opšte poboljšanje IPC (*instruction per clockcycle*, broja instrukcija po ciklusu generatora takta).

Prvo unapredjenje arhitekture podrazumeva poboljšanu distribuciju signala generatora takta, koja je četiri puta bolja u poredjenju sa procesorom Northwood, kao i automatizovanu konstrukciju funkcionalnih blokova za bolje skaliranje generatora takta.

Zato, hajde da prodiskutujemo ova različita pojačanja arhitekture procesora. Naša slika desno prikazuje različite delove arhitekture Netburst, koja je poboljšana u okviru procesora Prescott.

Ublažavanje uticaja ultra duboke protočne obrade

Uz sve te silne priče oko pogrešnog predviđanja programskog grananja, često se zaboravlja da sem njega postoje i drugi problemi koji muče centralne procesorske jedinice sa veoma dubokom protočnom obradom. Uzmite u obzir mnoge algoritme u kojima jedan proračun zahteva rezultat onog prethodnog. Ili, drugim rečima, jedno učitavanje ne može da se dogodi, pre nego što se drugo memorisanje ponovo upiše. Zaista, dok izvršenje instrukcije može da se dešava van redosleda, pravila x86 i dalje zahtevaju da se upisivanja dešavaju u redosledu programa.

Tako je moguće da kašnjenje između memorisanja koje ima važeći podatak i podatka koji se upisuje u skrivenu memoriju bude dosta veliko, naročito u slučaju sa toliko dugačkom protočnom obradom. Slučajevi u kojima učitavanje mora da čeka na memorisanje da završi sa svojim podatkom, mogu za rezultat da imaju značajno smanjenje performanse, a veće skrivene memorije ovde ne mogu da pomognu. Svaki put kada je instrukciji potreban rezultat prethodne instrukcije, sa dugačkom protočnom obradom zapadate u nevolju. Savremene centralne procesorske jedinice pokušavaju da donekle otklone ovaj problem pomoću prosledjivanja memorisanja do učitavanja (*Store-to-Load Forwarding*). Mehanizam prosledjivanja omogućava učitavanju zavisnom od podatka iz memorije da ime svoj podatak "prosledjen" čak i pre nego što je podatak memorije upisan nazad u skrivenu memoriju nivoa L1. Ovaj mehanizam kod procesora Prescott je fleksibilniji i dobro obradjuje slučajeve koji su bili ignorisani u procesoru Northwood.

Da bi smanjili pogrešno predviđanje programskog grananja, u kompaniji Intel su poboljšali kako statičko, tako i dinamičko (odluka zasnovana na prethodnim slučajevima) predviđanje grananja. Prvo poboljšanje se odnosi na jednostavnu statičku šemu predviđanja koja se koristi kada bafer ciljnog grananja (*Branch Target Buffer*, BTB) nema predviđanje za uslovno grananje. Statičko predviđanje grananja na osnovu prethodnih slučajeva kod procesora Northwood, jednostavno je predviđalo da se grananje preduzima ukoliko je smer grananja unazad, a da se ne preduzima ukoliko se skače unapred, što se dešava u većini petlji. Tipično, petlje se ponašaju po pravilu "uradi ovo grananje mnogo puta, sve dok neka posevba vrednost ne bude jednaka ...", kao što se vidi u sledećem primeru:



```
for (int inc = 0; inc < limit; inc++) {  
    ...  
}
```

Medjutim, nisu sva grananja unazad u vezi sa završetkom petlje. Jedinica za predviđanje grananja (*Branch Prediction Unit*, BPU) procesora Prescott razmatra takodje i "rastojanje" izmedju grane i uslova od koga zavisi grananje, kao i vrstu uslova, zato što su istraživanja u Intelu pokazala da izvesne vrste uslova češće nisu bile uzete u obzir i da rastojanje izmedju grananja unazad i njegovog cilja može da ukaže na to da li se radi o grananju kao delu petlje ili ne. Moglo bi se reći da je Prescottova jedinica za predviđanje grananja (BPU) postala mnogo "pametnija".

U Intelu su takodje ukazali da su dodali "indirektni prediktor grananja" da pomogne dinamičkom predviđanju grananja, ali trenutno nemam nikakvih podataka šta ta BPU u stvari radi. Ta ideja o indirektnoj BPU potiče od tazvojnog tima procesora Pentium M, koji ju je sa uspehom implementirao na P-M ("Centralna procesorska jedinica Centrino").

Sve u svemu, rezultati ostavljaju dubok utisak. U predjenju sa Northwoodovom, jedinica za predviđanje grananja procesora Prescott je samo 4% bolja na testu Crafty (šahovski program u ispitivanju performansi SPECint2000) ali **do 18% bolja u testovima kompilacije (gcc) i parsiranja (parser) u SPECint2000**. Naši prvi proračuni na potpunom izvršenju testa SPECint2000 (podaci: Intel) pokazuju da ima 9% manje pogrešnih predviđanja, zato što je broj pogrešno predviđenih grananja opao sa 0,88 na 0,8 od 100 instrukcija.

