

*Univerzitet «Džemal Bijedić»
Fakultet Informacijskih Tehnologija
Mostar*

WORKSHOP

Arhitektura Računarskih Sistema

Poglavlje 12: Mikroprocesor

12.0 Uvod

Prije nego što se upustimo u tehnologiju izrade, spomenuli bi ponešto o samom predmetu izrade - mikroprocesoru. **Mikroprocesori** su elektronski sklopovi koji funkcioniraju kao centralno-procesorski-skup (CPU - Central Processing Unit). Jedan mikroprocesor u svom sklopu sadrži veoma mnogo integrisanih kola. integrisana kola, poznata kao i čipovi, predstavljaju kompleksne elektronske sklopove koji se sastoje od ekstremno malih komponenti poredanih na sloj tankog, ravnog komada materijala zvanog polu-provodnik. *Na sljedećoj stranici prikazat ćemo način proizvodnje integralnog kola na waferu, koji se sastoji od poluprovodnika.*

Principi kojima podliježu svi računari su isti. U osnovi, oni svi uzimaju signale u obliku nula (0) i jedinica (1), manipulišu njima saglasno nekom skupu instrukcija i proizvode izlaze, opet u obliku nula i jedinica.

Procesor radi pomoću reagovanja na ulaz od više 0 i 1 na određene načine i vraćanja izlaza zasnovanog na odluci. Sama odluka se dešava u elektronskim sklopovima koji se zovu logička kola (od kojih svako zahtjeva najmanje jedan tranzistor), čiji su ulazi i izlazi različito uređeni pomoću različitih operacija. Činjenica da današnji procesori sadrže milione tranzistora ukazuje na to koliko je složen takav logički sistem. Logička kola u procesoru rade zajedno na stvaranju odluka koristeći Booleovu logiku.

Tok elektriciteta kroz svako kolo se kontroliše pomoću tranzistora u tom kolu. Međutim, tranzistori nisu pojedinačne i diskretne jedinice. Umjesto toga, njihov veliki broj se proizvodi od jednog komada silicijuma (ili nekog drugog polu-provodničkog materijala) i međusobno povezuje pomoću metalnih provodnika ili nekog drugog spoljašnjeg materijala. Ovakve jedinice se zovu integrirana kola (IC) i njihov razvoj je, u osnovi, učinio ostvarivom složenost mikroprocesora. Integracija kola se nije zaustavila na prvim rezultatima. Baš kao što su prva integrirana kola povezala više tranzistora, tako su se kasnije povezivala i višestruka integrirana kola, u procesu koji je poznat kao visok stepen integracije (Large Scale Integration - LSI); na kraju su i ovakvi skupovi integriranih kola bili povezivani, u procesu koji se zove veoma visok stepen integracije (Very Large Scale Integration - VLSI).

Suvremeni mikroprocesori sadrže na desetine miliona mikroskopski malih tranzistora. Upotrebljeni u kombinaciji sa otpornicima, kondenzatorima i diodama, oni čine logička kola. Logička kola grade integrirana kola, a integrirana kola - elektronske sisteme tj. mikroprocesore. Dijelove mikroprocesora obradit ćemo kasnije u poglavlju.

Mikroprocesori se klasificiraju prema poluvodičkoj tehnologiji izrade na:

- **TTL** - tranzistor-tranzistor logic
- **CMOS** - complementary-metal-oxide semiconductor ili
- **ECL** - emitter-coupled logic

zatim, po veličini formata podataka koji obrađuju na:

- **4-bitne**
- **8-bitne**
- **32-bitne**
- **64-bitne**

i najzad po njihovom instrukcijskom setu na:

- **CISC** - complex-instruction-set computer ili
- **RISC** - reduced-instruction-set computer

TTL tehnologija je u najčešćoj upotrebi, dok je prednost CMOS tehnologije u pogledu prijenosnih računara i drugih uređaja koji se napajaju iz baterija, zbog izraženo umanjene potrošnje električne energije. ECL je u upotrebi tamo gdje se zahtjeva veća brzina, a veća potrošnja električne energije nije presudna. Iako su 4-bitni modeli mikroprocesora jeftini, dobri su jedino za jednostavne kontrole aplikacije, jer općenito: što je format podataka veći - veća je brzina rada, ali i cijena izrade. Više o tranzistorima smo pisali u pod-poglavljima [7.3](#) i [7.3.1](#).

Mikroprocesori se porede sa ljudskim mozgom; njihovu operaciju sa kontrolnim tablama itd. Međutim, prvobitna svrha mikroprocesora se svodila na kontrolu memorije. Mikroprocesori su sa tim ciljem dizajnirani u početku, a to je ono što i dan danas rade! Stoga ovo poglavlje valja čitati zajedno sa poglavljem "Memorija", gdje se nalaze informacije o komunikaciji RAM-CPU koje zbog ponavljanja nismo htjeli stavljati ponovno ovdje, ali ćemo zato dati natuknicu.

CISC

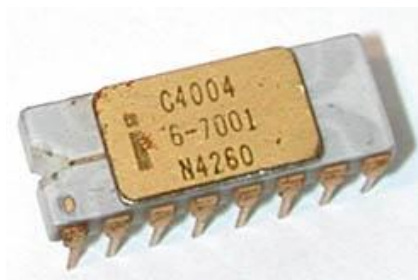
Računar sa složenim skupom instrukcija (complex instruction set computer - CISC) je tradicionalna računarska arhitektura, u kojoj centralna procesorska jedinica koristi mikrokod da bi izvršavala veoma širok skup instrukcija. Te instrukcije mogu da budu promjenljive dužine i da koriste sve načine adresiranja, što zahtjeva složenu elektroniku za njihovo dekodiranje. Proizvođači računara su jedno vrijeme 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 zahtjevaju manje tranzistora, što ih čini jeftinijim za projektovanje i proizvodnju. Još uvijek postoji značajna rasprava između eksperata o krajnjoj vrijednosti RISC arhitektura. Njihove pristalice ističu da su RISC mašine i jeftinije i brže, pa su zbog toga mašine budućnosti. Skeptici primjećuju da učinivši hardver jednostavnijim, RISC arhitekture više opterećuju softver - RISC prevodioci moraju da generišu softverske rutine za izvršavanja složenih instrukcija koje se u CISC računarima izvode u hardveru. Oni ističu da to ne vrijedi uloženog truda, jer su konvencionalni procesori i tako postali brzi i jeftini. Argumenti u izvjesnoj mjeri postaju sporni, jer CISC i RISC su implementacije sve sličnije. Mnogi od današnjih RISC čipova podržavaju isto toliko instrukcija kao i dojučerašnji CISC čipovi i, obrnuto, današnji CISC čipovi koriste mnoge od tehnika koje su ranije bile pridružene RISC čipovima. Čak i šampion među CISC proizvođačima, Intel, upotrebio je RISC tehnike u svom čipu 486, a pogotovu u svojoj familiji procesora Pentium.

12.1 Povijesni pogled na razvoj mikroprocesora

Prvi slavan rezultat firme Intel bio je integracija visokog nivoa (VLSI) svih logičkih kola u jedinstven složeni procesorski čip - Intel 4004 - koji se pojavio krajem 1971. godine. To je bio 4-bitni mikroprocesor, namijenjen za upotrebu u kalkulatoru. On je obrađivao 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).



Slika 1. Intel-C4004

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 vrijeme 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 sabirnica podataka je zahtjevala jeftinije matične ploče od 16-bitnog 8086. Također, u vrijeme kada je projektovan originalni PC računar, većina raspoloživih čipova za sprege bila je namjenjena za upotrebu u 8-bitnim konstrukcijama. Ovi rani procesori ne bi imali ni blizu dovoljnu snagu da izvršavaju današnje programe.

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 svijetom bile preko 16-bitne sabirnice 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 izvjestan broj poboljšanja. Prvo, čitava konstrukcija je bila pažljivo urađena za Intel-ovu familiju 486, čineći ove procesore inherentno više od dva puta bržim. Drugo, oni su svi imali 8 Kbajta skrivene (cache) memorije na samom čipu, baš uz procesorsku logiku. Ovi skriveni prijenosi podataka iz glavne memorije su značili da je procesor u prosjeku morao da čeka na podatak sa matične ploče samo 4% od ukupnog vremena, jer je obično bio u stanju da dobije traženu informaciju iz cache memorije.

Važna inovacija bilo je udvajanje generatora takta uvedeno sa procesorom 486DX2. To je značilo da su kola unutar čipa radila dva puta brže od spoljašnje elektronike. Podaci su bili prenošeni između procesora, unutrašnje skrivene memorije i matematičkog koprocesora dvostrukom brzinom, što je značajno poboljšavalo performansu. Procesor 486DX4 je dalje usavršio ovu tehniku, utrostručavajući brzinu generatora takta da interno radi na 75 ili 100 MHz i udvostručavajući veličinu primarne skrivene memorije na 16 Kbajta.

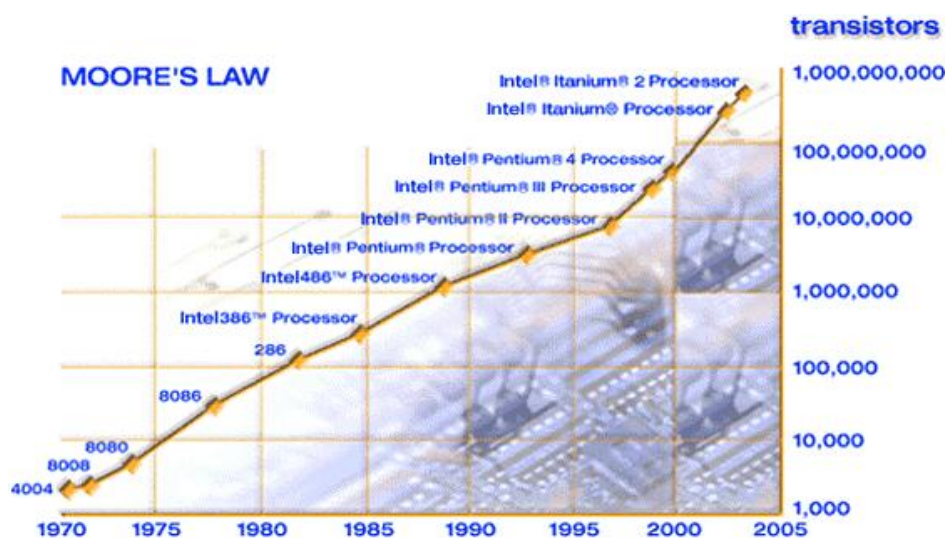
Pentijum je definišući procesor pete generacije koji obezbjeđuje veoma povećanu performansu u odnosu na čipove 486 koji su mu prethodili, zahvaljujući većem broju promjena u arhitekturi koje uključuju i udvostručavanje širine sabirnice podataka na 64 bita. Procesor P55C MMX je napravio dalja značajna poboljšanja udvostručavanjem primarne skrivene memorije na ploči na 32 Kbajta i proširenjem skupa instrukcija u cilju optimizovanja izvršavanja multimedijjskih funkcija. Nadalje su dolazili Pentiumi II, III, Xeon i Pentiumi 4 koji su iz generacije u generaciju donosili više cache memorije, više megaherca i širu sabirnicu.



Slika 2. Pentium 4

12.2 Napredovanja u arhitekturi

Glavni zakon koji diktira razvoj mikroprocesora, kao i praktično cijelu industriju čipova, formulirao je Gordon Moore, jedan od osnivača "Intela". Moore je utvrdio zakonitost po kojoj se broj tranzistora (osnovnih elemenata) u čipovima udvostručuje svakih 18 mjeseci. Na prvi pogled to ne djeluje upečatljivo, dok se ne sagleda da proizvodnja mikroprocesora ovu zakonitost prati već više od 35 godina! Da bismo shvatili gotovo nevjerovatne posljedice Mooreovog zakona, dovoljno je da izvršimo malu računicu: ukoliko uzmemo 1973. godinu za početnu točku u razvoju (Intel 8008 koji se smatra prvim "ozbiljnim" mikroprocesorom lansiran je 1972. godine), do 2000. je prošlo 27 godina, odnosno $27 \times 12 = 324$ mjeseci, tako da se za to vrijeme broj tranzistora na čipu udvostručio 18 puta! Obratite pažnju da to nije 2×18 već 2^{18} , odnosno 262 144 puta! Ova zavisnost nije apsolutno precizna, tako da se u nekim periodima razvoj odvijao nešto sporije, ali krajnji je rezultat da moderni mikroprocesori imaju desetine miliona tranzistora. Na primjer, najnoviji "Intelov" Pentium 4 ima ih 42 miliona! Ne treba zaboraviti da su, pored toga što su neusporedivo složeniji, moderni procesori i neusporedivo brži: Intel 4004 je radio na frekvenciji od 200 KHz, dok najnoviji Pentium 4 radi na 1,5 GHz, dakle 7500 puta brže! Svi ovi podaci pokazuju ogroman progres koji je napravljen u relativno kratkoj povijesti razvoja mikroprocesora.



Slika 3. Mooreov zakon

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 sabirnica 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 jedinoj instrukciji. Većina današnjih procesora ima 32-bitnu arhitekturu, ali imamo i 64-bitne varijante.

U prvim danima, procesori su mogli da rade samo sa cijelim brojevima. Bilo je moguće napisati program da se radi sa razlomcima pomoću jednostavnih instrukcija, ali bi to bilo sporo. Gotovo svi današnji procesori imaju instrukcije za direktan rad sa brojevima u pokretnom zarezu.

Kada se kaže "da se neke stvari dešavaju sa svakim otkucajem generatora takta", podcjenjuje se koliko je stvarno vremena potrebno da bi se izvršila neka instrukcija. Tradicionalno, potrebno je pet taktova - jedan da se učita 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.

Većina procesora danas primenjuje protočnu obradu (pipelining) koja podsjeća na fabričku proizvodnu liniju. Jedan stepen u protočnoj obradi posvećen je svakom koraku potrebnom da se izvrši instrukcija i svaki stepen prepušta instrukciju sljedećem stepenu kada završi sa njom. To znači da u bilo kom trenutku vremena, jedna instrukcija je učitana, druga je dekodirana, za treću je uzet podatak, četvrta se stvarno izvršava i rezultat se upisuje za petu. Sa suvremenom tehnologijom, na taj način se postiže da se izvršava jedna instrukcija po jednom taktu generatora.

Pored toga, mnogi procesori sada imaju superskalarnu arhitekturu. To znači da je elektronika za svaki stepen protočne obrade udvostručena, tako da više instrukcija može da prolazi paralelno. Na primer, Pentijum Pro može da izvršava do pet instrukcija po ciklusu njegovog generatora takta.

12.3 Proizvodni proces mikroprocesora

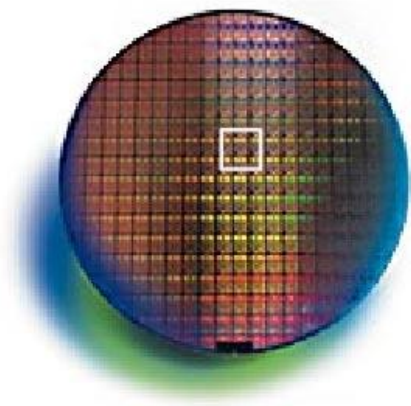
Zbog enormne složenosti, moderni mikroprocesori su veoma kompleksni za dizajniranje i proizvodnju. Kao ilustraciju razvoja složenosti procesa proizvodnje navest ćemo da se cijena samo jedne moderne tvornice za proizvodnju kreće oko 1,5 do 2 milijarde dolara! Ova zaprepašćujuća cifra zvuči još nevjerovatnije kada se uzme u obzir da praktičan vijek efikasnog korištenja tvornice nije veći od 2-3 godine. Ukoliko se prisjetimo Mooreovog zakona, trenutno najmoderniji procesor postat će četiri puta slabiji za tri godine, tako da će tada morati da se prodaje mnogo jeftinije i tvornica će biti mnogo manje rentabilna. Kao posljedica ovog pada vrijednosti, moderne tvornice rade bez prestanka 365 dana u godini, i danju i noću, pošto i najmanji prekid čini ogroman gubitak.

Inače, proces proizvodnje procesora zahtjeva tisuće puta veću čistoću od najčistije operacijske sale. Radnici moraju koristiti specijalna odijela sa filtracijom pošto i najmanja nečistoća (na primjer: u razvoju sa integriranim tranzistorima, vlas kose djeluje kao balvan) može da dovede do gubitka od jednog ili više wafera, tj. ploča sa stotinama mikroprocesora vrijednih stotine tisuće dolara. Od početka do kraja, treba 2 mjeseca da bi se proizveo procesor. Proizvodnja počinje sa veoma tankom pločom silikona. Oko 250 proizvodnih koraka kasnije, silikonski wafer sadrži stotine mikroprocesora.

Wafer je tanki, ravni dio poluvodičkog kristala koji se koristi u proizvodnji mikroprocesora i integriranih kola. Komponente integriranog kruga se kreiraju na površini wafera tijekom serije proizvodnih tehnika koje uključuju pravljenje slojeva i urezivanje.

Izrada silijumskih wafera, da bi se proizvela integrisana kola - uključuje dobar dio kemije i fizike. Počevši od tankih i okruglih odrezaka wafera silicijumskih kristala, u promjerima pd 150, 200 ili 300 mm, procesi koji su opisani na slici 2 - formiraju niz slojeva materijala i geometrijskih oblika da bi proizvele tisuće elektronskih sklopova minijaturne veličine, koji zajedno funkcionišu kao integralna kola. Elementi koji sada zauzimaju površinu jednog kvadratnog inča integrisanih kola, prije 20 godina bi zauzimali površinu prostoriije srednje veličine. Uslovi pod kojima se ovim procesima silicijum može uspješno transformirati u integrirana kola, zahtijevaju apsolutno odsustvo prašine.

Nakon procesa proizvodnje na jednom waferu nalazi se oko 100 mikroprocesora. Zatim se čipovi ispituju i označava svaki koji ima grešku.



Slika 4. Nakon procesa proizvodnje na waferu se nalazi oko 100 procesora.

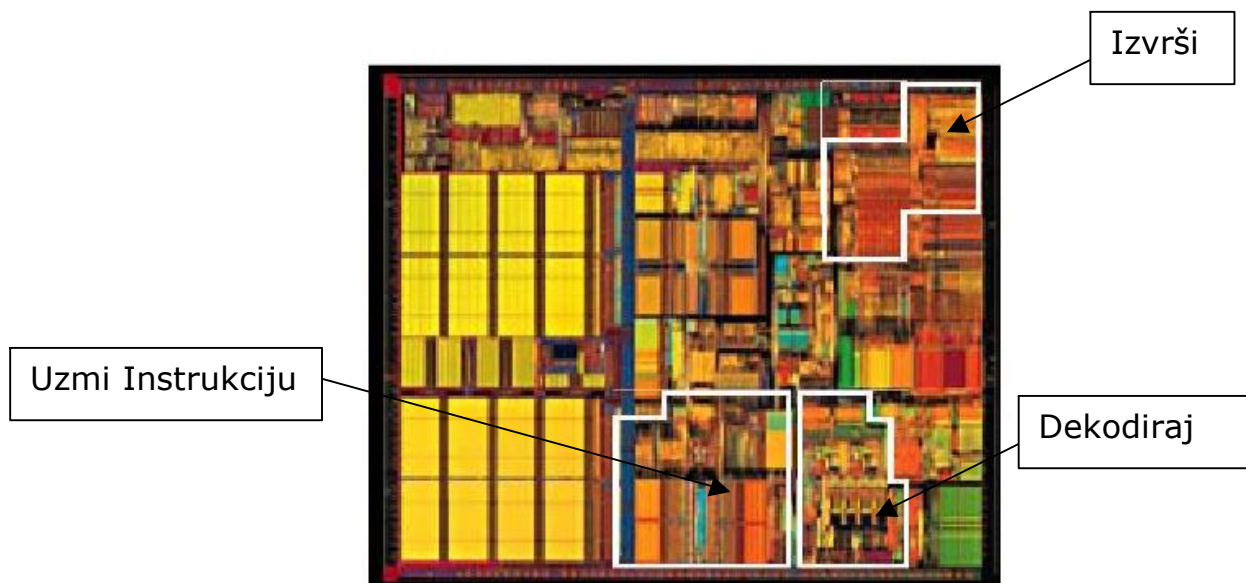
Onda se pojedini čipovi razdvajaju i od tog trenutka se nazivaju integriranim kolima. Ona neispravna se odbacuju, dok se dobra pakuju u matrice pinova (Pin Grid Array - PGA) - keramičke pravougaonike sa redovima pinova na dnu, za koje se tada može reći da su mikroprocesori.

12.4 Osnovni koraci mikroprocesora

Kada igramo igricu, pišemo u wordu ili surfamo po Webu, mikroprocesor u računaru procesira naše podatke uzastopno koristeći tri ista koraka. Ova tri koraka izvršava pri nevjerovatnoj brzini - milioni puta u sekundi. Ta tri koraka su:

- **Uzmi Instrukciju** (Fetch) - Mikroprocesor uzima softversku instrukciju iz memorije koja mu govori što da radi sa podacima.
- **Dekodiraj** (Decode) - Mikroprocesor određuje što instrukcija znači.
- **Izvrši** (Execute) - Mikroprocesor izvodi instrukciju.

U mikroprocesoru ova tri koraka izvršavaju tranzistori. U računaru, ovi koraci se izvršavaju neprekidno milionima puta u sekundi. Koraci dohvati, dekodiraj i izvrši obavljaju se u specifičnim područjima mikroprocesora. Na slici se vidi koja grupa tranzistora obavlja svoj zadatak.



Slika 5. Područja mikroprocesora

Procesor obrađuje i izvršava mašinski kod (binarni) koji mu govori šta da procesor radi. Jedini razumljivi jezik procesoru je mašinski jezik. CPU radi tri osnovne stvari:

- Pomoću ALU (engl. Arithmetic/Logic Unit) procesor je u mogućnosti da izvodi osnovne matematičke operacije (sabiranje, oduzimanje, množenje i dijeljenje). Moderni procesori su u mogućnosti da obavljaju i jako komplikovane operacije.
- Procesor prebacuje podatke s jednog memorijskog mjesta na drugi.
- Shodno naredbama, procesor može skočiti na novi set instrukcija.

Procesor radi u tijesnoj suradnji sa RAM memorijom, ustvari procesor adresira svaki podatak koji ide na memoriju. RAM memorija je veoma brza, i svi podaci u njoj su brzo dostupni, stoga je bitno imati što više RAM memorije jer CPU onda može adresirati mnogo više podataka.

Glavne komponente mikroračunarskog sistema međusobno su povezane pomoću sabirnice (bus-a). Sabirnicu čini skup vodova po kojima se prenose adrese, podaci i upravljački signali. Adresnom sabirnicom se prenose signali koji označavaju adresu memorijske lokacije ili ulazno/izlazne jedinice koja treba izmjenjivati podatke s mikroprocesorom i to jednosmjerno od mikroprocesora prema memoriji ili ulazno/izlaznoj jedinici.

Broj adresnih vodova je različit za pojedine mikroprocesore, a obično je to od 16 do 32. Tako npr., uz 24 bitnu sabirnicu, mikroprocesor može pristupiti do 2^{24} memorijskih lokacija.

Memorije su sastavljene od memorijskih lokacija duljine od 8, 16, 32 ili 64 bita.

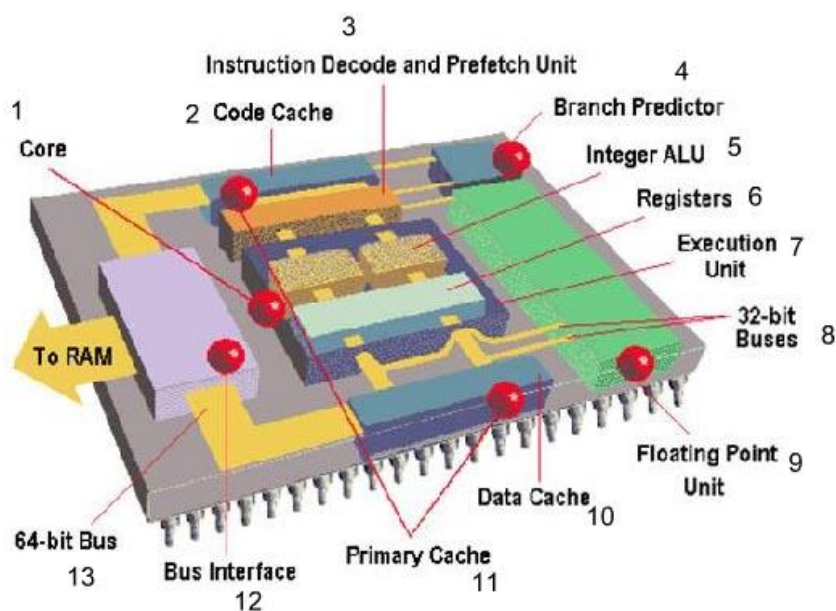
Sabirnicom podataka se prenose podaci između mikroprocesora, memorije i ulazno/izlaznih jedinica. Sabirnica podataka omogućava dvosmjerni tok podataka.

Širina sabirnice je od 8 do 64 bita. Signali koji se prenose preko upravljačke sabirnice služe za vremensko usklađivanje djelovanja memorijske i ulazno/izlaznih jedinica, odabir rada s podacima iz memorijske ili ulazno/izlazne jedinice te prijenos zahtijeva za pisanjem u ili čitanjem iz odabrane jedinice.

12.5 Osnovna struktura mikroprocesora

Glavni funkcionalni sastavni dijelovi procesora nalaze se na slici.

- Jezgro: Srce moderne izvršne jedinice. Pentium ima dva paralelna sklopa za protočnu obradu koji mu omogućavaju da čita, interpretira, izvršava i šalje dvije 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 dekodiranje može unaprijed da pripremi instrukcije.
- Jedinica za obradu u pokretnom zarezu: Treća izvršna jedinica u Pentiumu u kojoj se vrše necjelobrojna izračunavanja.
- Primarna skrivena memorija: Pentium ima dvije skrivene memorije na čipu, svaka od po 8 Kbajta, od kojih je jedna za kod, a druga za podatke i koje su daleko brže od veće spoljašnje sekundarne skrivene memorije.
- Sprega za sabirnicu: Ovaj sklop donosi centralnoj procesorskoj jedinici pomješane podatke i kod, odvaja ih kada treba da se koriste i ponovo ih kombinuje i vraća natrag.



Slika 6. Mikroprocesor

Svi elementi procesora drže korak pomoću generatora takta koji diktira brzinu rada. Prvi mikroprocesor je imao generator takta na 100 KHz, dok Pentium Pro koristi generator takta od 200 MHz, što će reći da ovaj sat "otkucava" 200 miliona puta u sekundi. Kada sat "otkucava" dešavaju se razne stvari. Programski brojač (Program Counter - PC) je jedna od lokacija u unutrašnjoj memoriji koja sadrži adresu sljedeće instrukcije koja treba da se izvrši. Kada dođe vrijeme da se ona izvrši, upravljačka jedinica (Control Unit - CU) prenosi instrukciju iz memorije u njen registar za instrukciju (Instruction Register - IR).

U isto vrijeme, sadržaj programskog brojača se uvećava, tako da pokazuje na sljedeću instrukciju u sekvenci; procesor sada izvršava instrukciju koja se nalazi u registru za instrukciju. Neke instrukcije izvršava sama upravljačka jedinica, tako da ako neka od njih kaže "skoči na lokaciju 2749", 2749 se upisuje u programski brojač da bi procesor kao sljedeću izvršio tu instrukciju.

Mnoge instrukcije uključuju i aritmetičku i logičku jedinicu (Arithmetic and Logic Unit - ALU). Ona radi sa registrima opće namjene - privremenim područjima u koja se mogu učitavati podaci iz, ili upisati podaci u RAM memoriju. Tipična instrukcija aritmetičko logičke jedinice bi mogla da doda sadržaj memorijske lokacije registru opće namjene. Aritmetičko logička jedinica također mjenja bitove u registru stanja (Status Register - SR) kad god se izvršava neka instrukcija; ovaj drži informaciju o rezultatu prethodne instrukcije. Tipično, bitovi registra stanja pokazuju da je rezultat bio 0, prekoračenje, prijenos itd. Upravljačka jedinica koristi informacije u registru stanja da izvrši uslovne instrukcije kao što je na primjer "skoči na adresu 7410 ako je prethodna instrukcija rezultovala prekoračenjem".

Ovo bi bilo uglavnom sve u vezi sa osnovnim osobinama procesora i operacijama koje se izvršavaju upotrebom sekvenci jednostavnih instrukcija.

1. Core - Jezgro
2. Code cache - Instrukcijski keš
3. Instruction Decode and Prefetch Unit - Jedinica za dekodiranje i prethodno donošenje
4. Branch Predictor - Jedinica za predviđanje grananja
5. Integer ALU - Aritmetičko/Logička jedinica
6. Registers - Registri
7. Execution Unit - Izvršna jedinica
8. 32-bit Buses - 32-bitne sabirnice
9. Floating Point Unit - Jedinica za obradu u pokretnom zarezu
10. Data cache - Podatkovni keš
11. Primary cache - Primarni keš (instrukcijski, podatkovni)
12. Bus Interface - Sprega za sabirnicu (sučelje sabirnice)
13. 64-bit Bus - 64-bitna sabirnica

12.5.1 Prikaz rada mikroprocesora

Da bih vam pomogli razumjeti kako mikroprocesor radi svoj posao ići ćemo korak po korak kroz jedan jednostavan zadatak zbrajanja dva broja. *Svaki dio procesora ima specifičan zadatak.*

Korak 1: Pritisak tipke 2

A

Pritisak tipke 2 obavještava mikroprocesor i signalizira Jedinici za Prethodno Donošenje (Prefetch Unit) da pita računalnu glavnu memoriju za specifičnu instrukciju u vezi novog podatka pošto nema nikakvih instrukcija u Instrukcijskom Kešu.

B

Nova podatkovna instrukcija dolazi u mikroprocesor kroz sabirnicu iz glavne memorije računara i sprema se u Instrukcijski Keš, gdje joj se dodjeljuje kod "2=X".

C

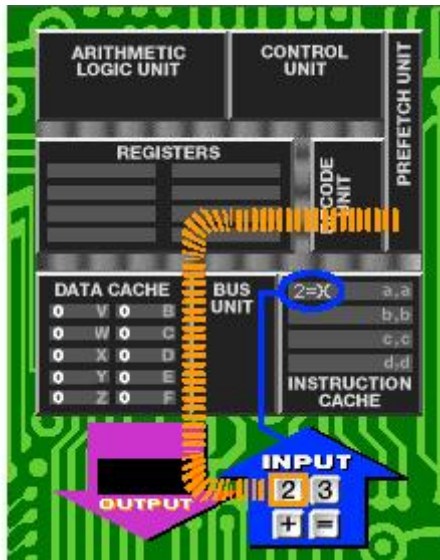
Jedinica za Prethodno Donošenje tada pita Instrukcijski Keš kopiju koda "2=X" i šalje ga u Jedinicu za Dekodiranje za daljnje procesiranje.

D

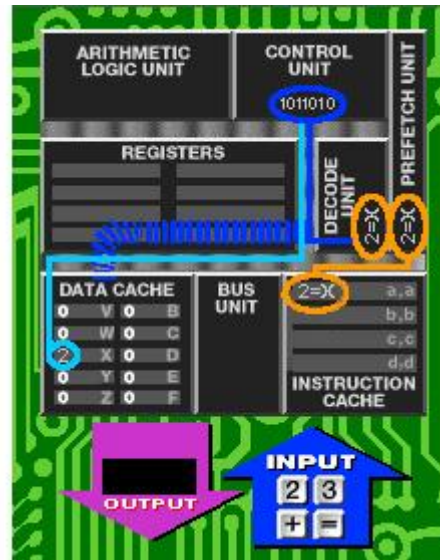
U Jedinici za Dekodiranje instrukcija "2=X" se prevodi ili dekodira u niz binarnog koda koji se šalje ka Kontrolnoj Jedinici (Control Unit) i Podatkovnom Kešu da bi im rekao šta da rade sa instrukcijom.

E

Pošto je Jedinica za Dekodiranje shvatila da se broj 2 treba spremiti za ubuduće u Podatkovni Keš, Kontrolna Jedinica sada izvodi instrukciju za "2=X". Ovo uzrokuje slanje broja 2 na adresu u Podatkovni Keš zvanu "X", gdje vidimo da čeka daljnje naredbe.



Slika 7.1. Pritisak tipke 2 (A, B)



Slika 7.2 pritisak tipke 2 (C, D, E)

12.5.2 Korak 2 Pritisak tipke 3

A

Kada pritisnemo tipku 3, Jedinica za Prethodno Donošenje (Prefetch Unit) pita glavnu memoriju računara i Instrukcijski Keš za specifične instrukcije o ovom novom podatku. Odgovarajuća instrukcija nije nađena u Instrukcijskom Kešu pa će instrukcija doći iz glavne memorije.

B

Slično kao i sa za "2=X", nove podatkovne instrukcije dolaze u mikroprocesor iz glavne memorije i bivaju spremljene na adresu u Instrukcijskom Kešu gdje im se dodjeljuje kod "3=Y".

C

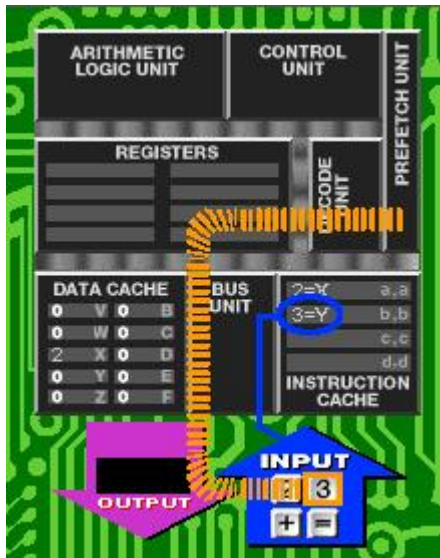
Jedinici za Prethodno Donošenje tada izvlači kopiju koda "3=Y" iz Instrukcijskog Keša i šalje ga Jedinici za Dekodiranje (Decode Unit) za daljnje procesiranje.

D

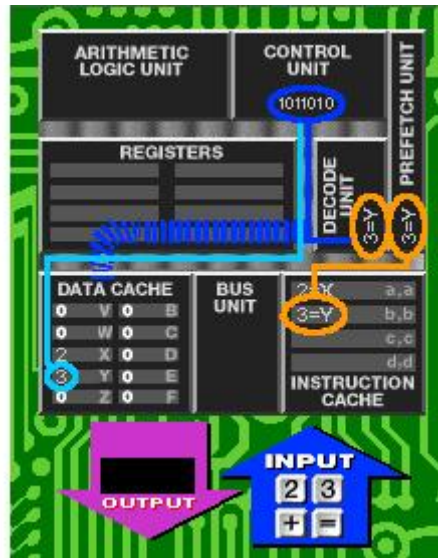
U Jedinici za Dekodiranje instrukcija "3=Y" se prevodi ili dekodira u niz binarnog koda koji se šalje ka Kontrolnoj Jedinici (Control Unit) i Podatkovnom Kešu (Data Cache) da bi im rekao šta da rade sa instrukcijom.

E

Pošto je Jedinica za Dekodiranje shvatila da se broj 3 treba spremiti za ubuduće u Podatkovni Keš, Kontrolna jedinica sada izvodi instrukciju za "3=Y". Ovo uzrokuje slanje broja 3 na adresu u Podatkovni Keš zvanu "Y", gdje čeka kao i "2" daljnje naredbe.



Slika 8.1. Pritisak tipke 3 (A, B)



Slika 8.2 pritisak tipke 3 (C, D, E)

12.5.3 Korak 3: Pritisak tipke +

A

Kada pritisnemo tipku "+", Jedinica za Prethodno Donošenje pita glavnu memoriju računara i Instrukcijski Keš za instrukcije o ovom novom podatku, koje moraju biti dobavljene iz glavne memorije.

B

Pošto je ovo nova instrukcija, "+" dolazi u mikroprocesor iz glavne memorije računara i biva spremljena na adresu u Instrukcijskom Kešu kao kod "X+Y=Z", pokazujući da će se izvršiti zbrajanje.

C

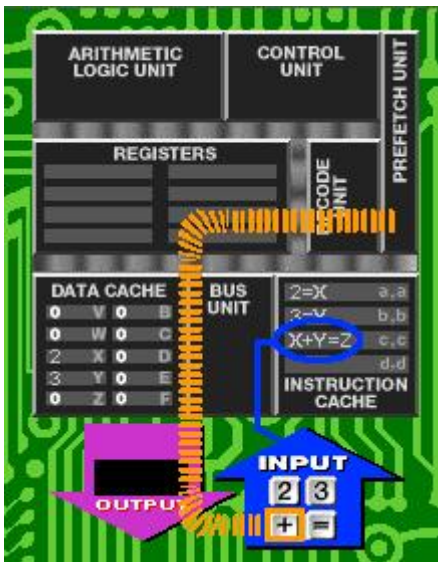
Jedinica za Prethodno Donošenje (Prefetch Unit) tada pita Instrukcijski Keš kopiju koda "X+Y=Z" i šalje ga u Jedinicu za Dekodiranje za daljnje procesiranje.

D

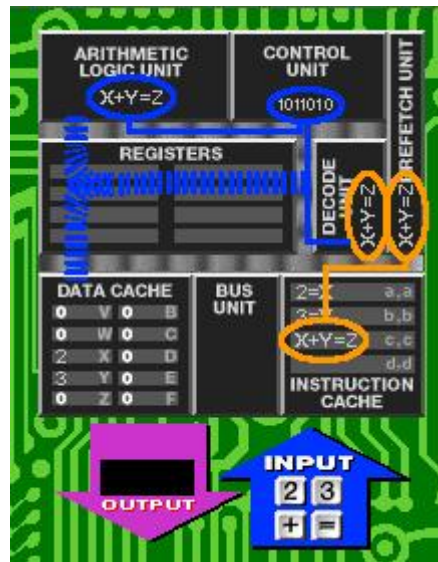
U Jedinica za Dekodiranje, "X+Y=Z" se prevodi ili dekodira i šalje Kontrolnoj Jedinici i Podatkovnom Kešu da bi im rekao šta da rade sa instrukcijom - također ALU je data poruka da će se izvršiti ADD funkcija.

E

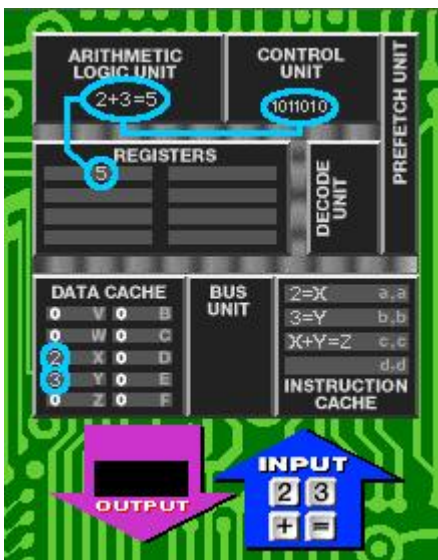
U Kontrolnoj Jedinici (Control Unit), kod se dekodira i ADD komanda se šalje u ALU gdje se "X" i "Y" zbrajaju nakon što bivaju poslani iz Podatkovnog Keša. ALU tada priča sa svojim prijateljima, Registrima, i šalje "5" da se spremi na jednu adresnu lokaciju u Registru.



Slika 9.1. Pritisak tipke + (A, B)



Slika 9.2 pritisak tipke + (C, D)



Slika 9.3 pritisak tipke + (E)

12.5.4 Pritisak tipke =

A

Kada pritisnemo tipku "=", Jedinica za Prethodno Donošenja ponovno provjeri Instrukcijski Keš za instrukciju, za nove podatke, koju ne nalazi.

B

Instrukcija za "=" dolazi u mikroprocesor iz glavne memorije računara kroz Sabirnicu i biva smještena na adresu u Instrukcijski Keš kao kod "Print Z".

C

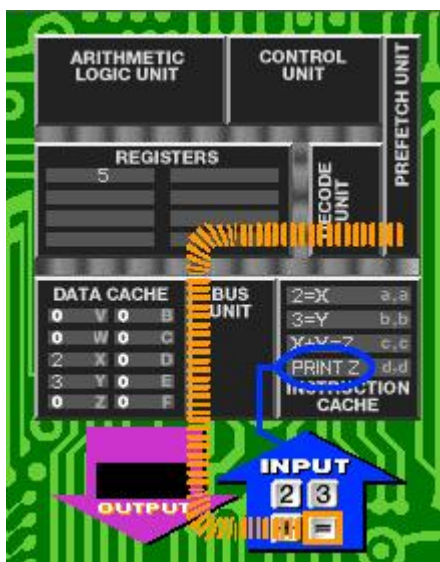
Jedinica za Prethodno Donošenje tada pita Instrukcijski Keš kopiju koda "Print Z" i šalje ga u Jedinicu za Dekodiranje za daljnje procesiranje.

D

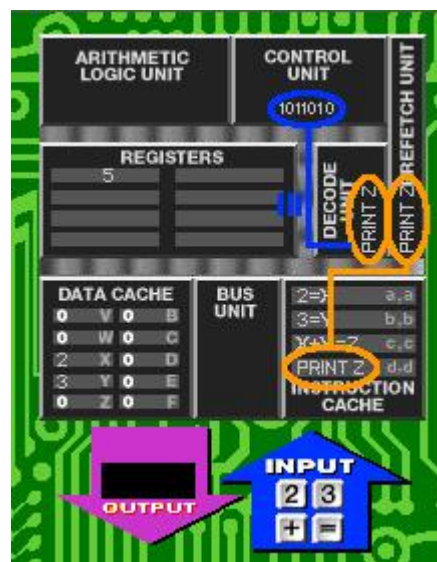
U Jedinici za Dekodiranje (Decode Unit) instrukcija "Print Z" se prevodi ili dekodira u niz binarnog koda koji se šalje ka Kontrolnoj jedinici koja joj govori šta da radi sa instrukcijom.

E

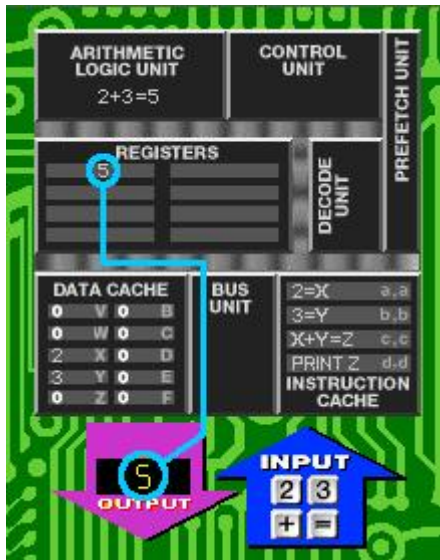
Sada, kada je vrijednost Z izračunata, i nastanjena je u registru #5, print komanda mora samo uzeti sadržaj registra 5 prikazati ga na ekranu, tako da konačno vidimo sumu zbrajanja brojeva 2 i 3. Mikroprocesor je završio svoj zadatak.



Slika 10.1. Pritisak tipke = (A, B)



Slika 10.2 pritisak tipke = (C, D)



Slika 10.3. Pritisak tipke = (E)