Programiranje 1
2. predavanje — 2. dodatak

Saša Singer

singer@math.hr

web.math.pmf.unizg.hr/~singer

PMF – Matematički odsjek, Zagreb

Sadržaj predavanja

- Stvarni "izgled" računala:
  - Registri modernog procesora (IA–32).
  - Primjer matične ploče, blok–dijagram.
  - Hijerarhijska struktura memorije (cache).
  - "Priča o cacheu".

Stvarni "izgled" računala

Sadržaj

- Stvarni "izgled" računala:
  - Registri modernog procesora (IA–32).
  - Primjer matične ploče, blok–dijagram.
  - Hijerarhijska struktura memorije (cache).
  - "Priča o cacheu".

Standardni kućni procesori

Standardni kućni procesori bazirani su na tzv. IA–32 arhitekturi (Intel ili AMD, svejedno mi je). Osnovna svojstva:

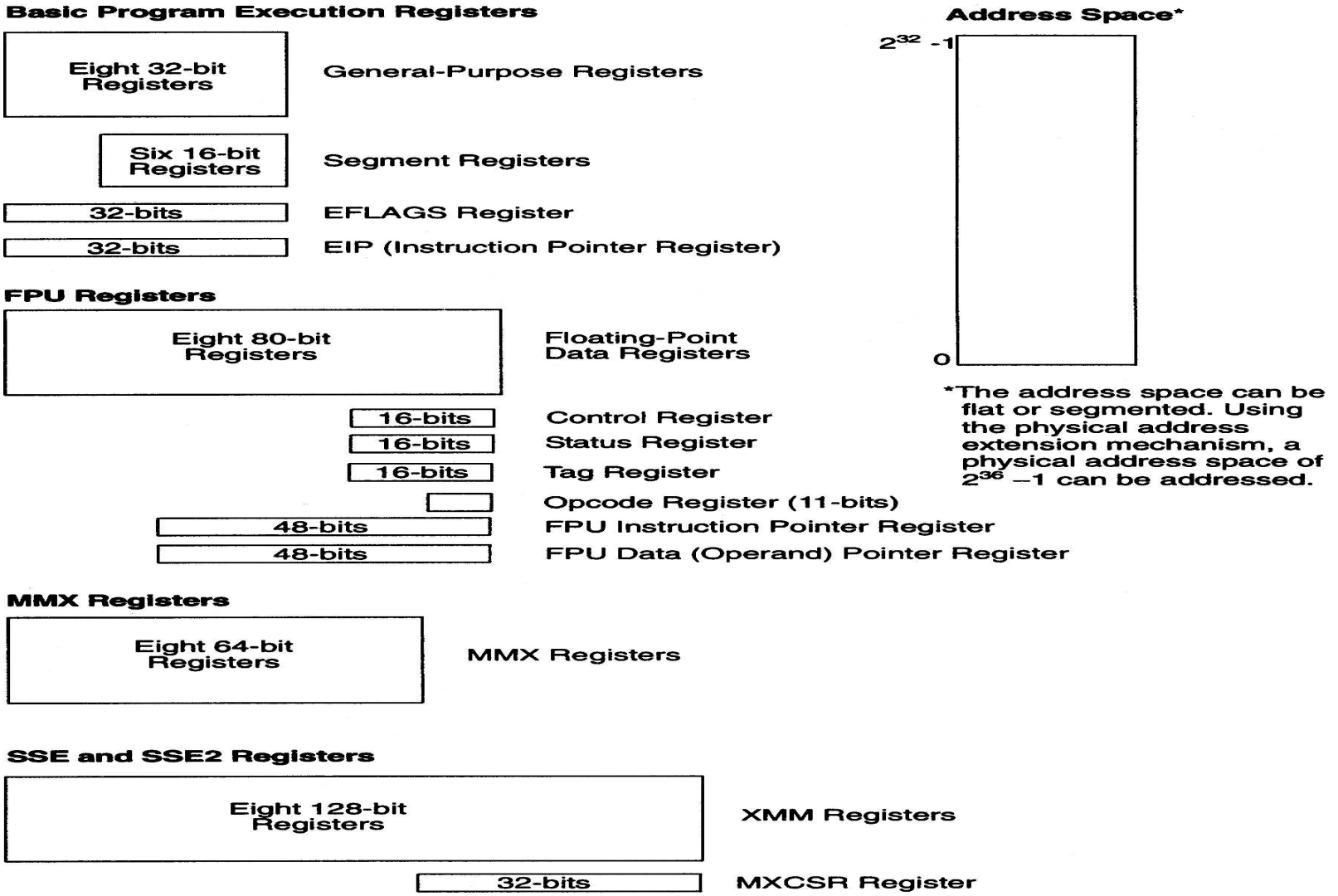
- riječ = 32 bita = 4 B, (toliki je tip `int` u C-u),
- adresa = 32 bita (x86) ili, modernije, 64 bita (x64).

Ovi procesori imaju gomilu registara, raznih namjena, koji sadrže razne vrste podataka i instrukcija (ili dijelova instrukcija).

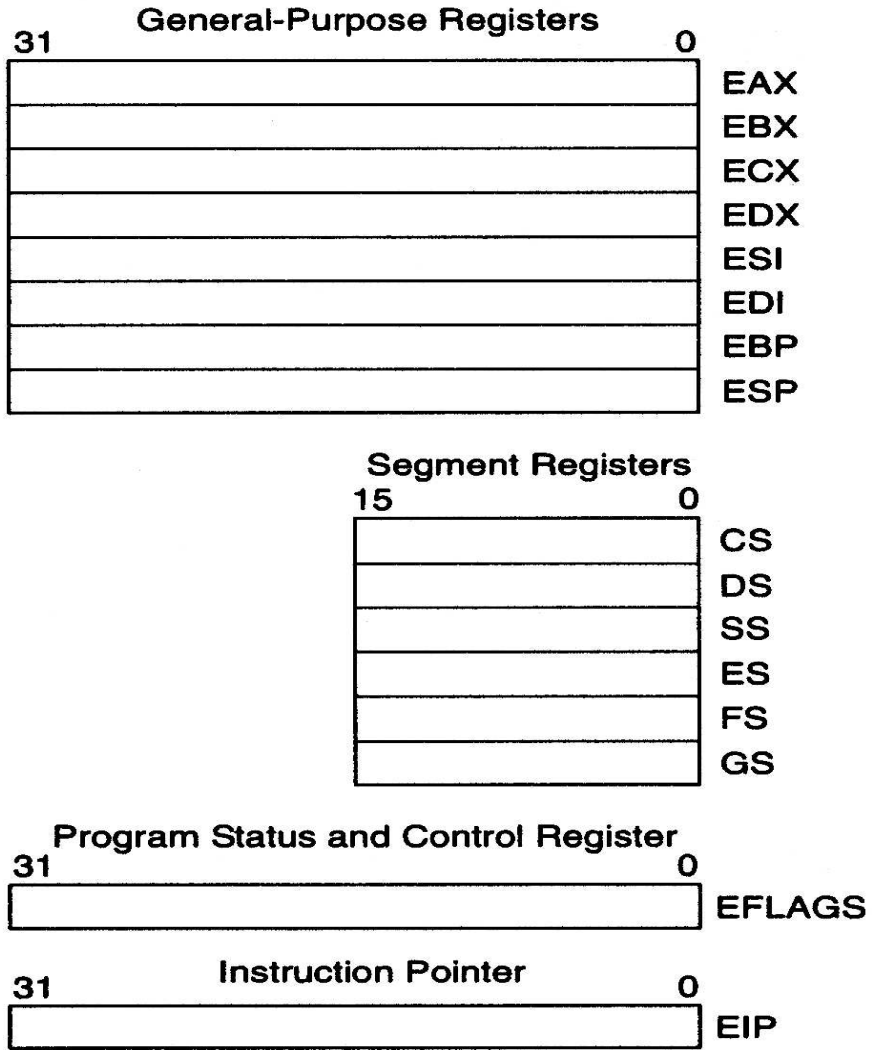
Shematski izgled svih registara, a onda samo registara opće namjene dan je na sljedeće dvije stranice.

Napomena: slike odgovaraju IA–32 procesoru Pentium 4, serija Northwood, podnožje 478 (danas već zastarjelom).

IA–32 — Svi registri i adresni prostor



IA–32 — Osnovni izvršni registri

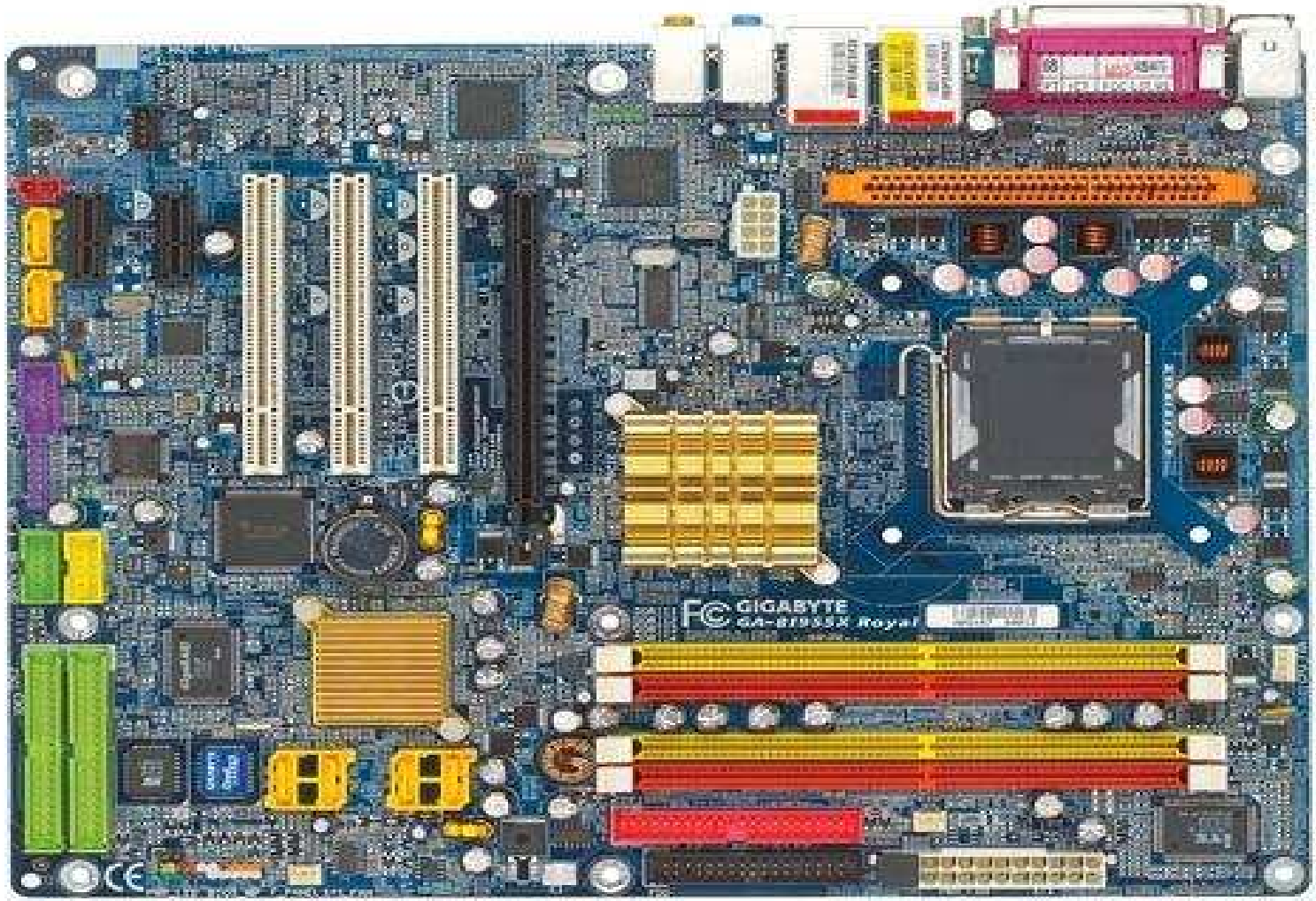


Izgled matične ploče računala

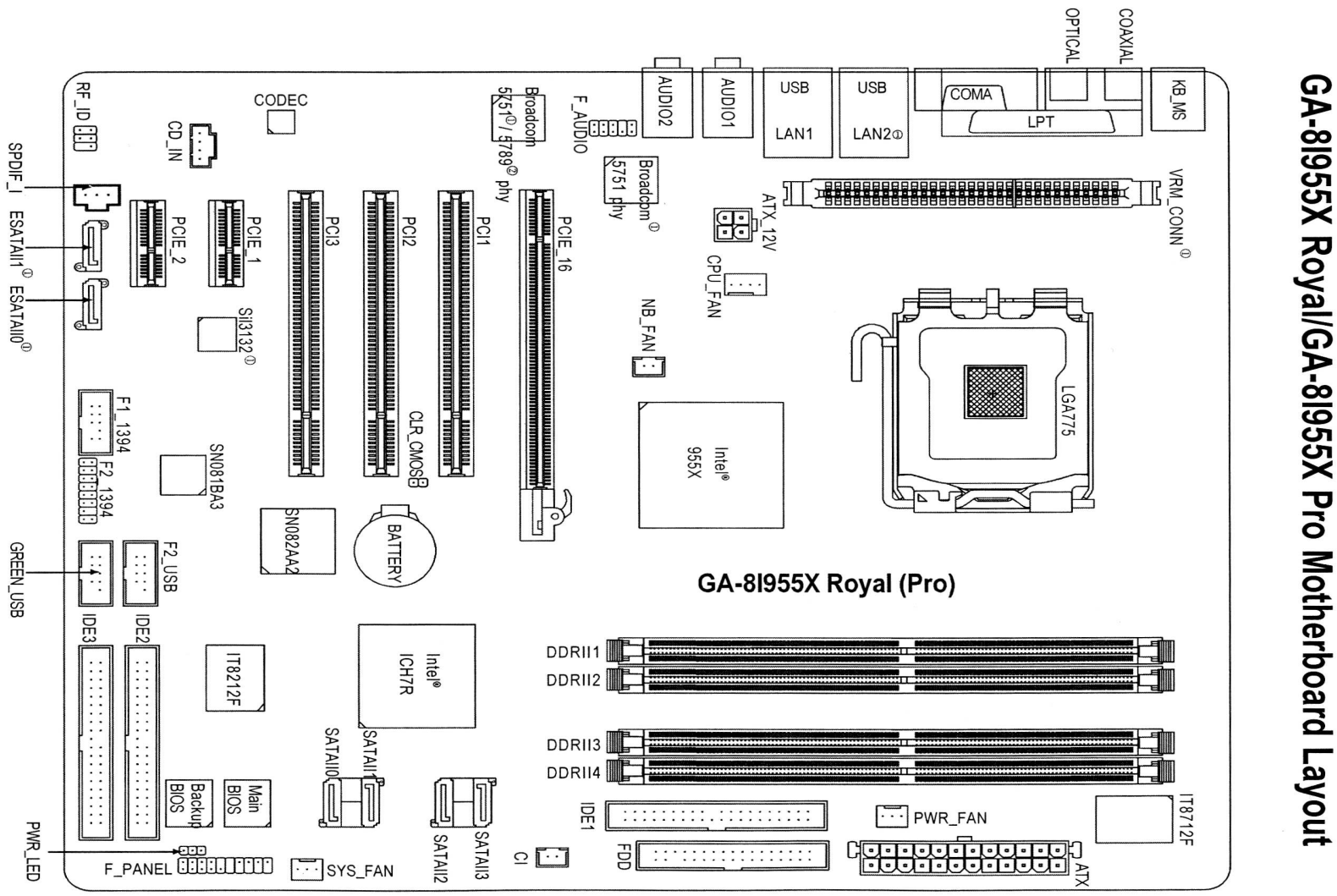
Moderna "kućna" računala, naravno, imaju sve standardne dijelove računala.

- Međutim, zbog "multimedijalne" namjene, ta računala imaju mogućnost priključivanja velikog broja raznih uređaja ("ulaz–izlaz").
- Gomila toga je već ugrađena na modernim tzv. matičnim pločama (engl. motherboard).
- Procesor zauzima relativno "mali" dio površine (ili prostora), a najuočljiviji dio na njemu (nakon ugradnje) je hladnjak.
- Utori za memorijske "chipove", također, ne zauzimaju previše prostora.

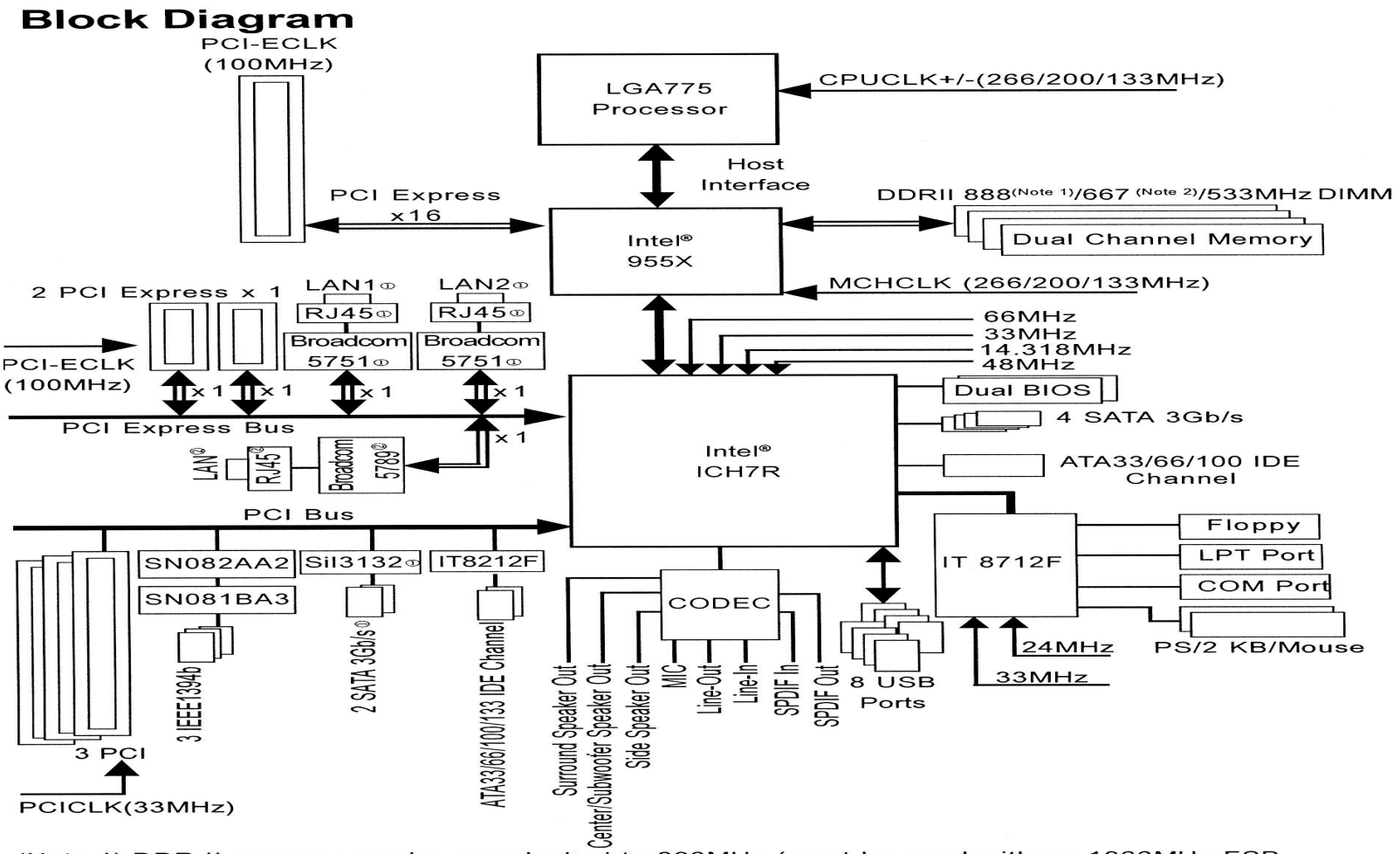
Matična ploča GA–8I955X Royal — izgled



Matična ploča — raspored



Matična ploča — blok dijagram



(Note 1) DDR II memory can be overclocked to 888MHz (must be used with an 1066MHz FSB processor) through overclocking in BIOS. Go to GIGABYTE's website for more information about the supported DDR II memory modules for this feature.
(Note 2) To use a DDR II 667 memory module on the motherboard, you must install an 800/1066MHz FSB processor.

Izgled matične ploče računala (nastavak)

Zbog bitno različite brzine pojedinih dijelova računala, postoje još dva bitna "chipa" koji povezuju razne dijelove i kontroliraju komunikaciju — prijenos podataka između njih. To su:

- Tzv. "northbridge" (sjeverni most), koji veže procesor s "bržim" dijelovima računala. Standardni brzi dijelovi su:
  - memorija,
  - grafika (grafička kartica).
- Tzv. southbridge (južni most), na kojem "visi" većina ostalih "sporijih" dijelova ili vanjskih uređaja.

Izgled matične ploče računala (nastavak)

- Tipični uređaji vezani na southbridge su:
  - diskovi (koji mogu biti i na dodatnim kontrolerima),
  - DVD i CD uređaji,
  - diskete,
  - komunikacijski portovi,
  - port za pisač (printer),
  - USB (Universal Serial Bus) portovi,
  - tzv. Firewire (IEEE 1394a, b) portovi,
  - mrežni kontroleri,
  - audio kontroleri,
  - dodatne kartice u utorima na ploči (modem), itd.

Izgled matične ploče računala (nastavak)

Veze između pojedinih dijelova idu tzv. "magistralama" ili "sabirnicama" (engl. bus, koji nije autobus).

- Ima nekoliko magistrala, raznih brzina.
- Na istoj magistrali može biti više uređaja, i oni su, uglavnom, podjednakih brzina.

Uočite hijerarhijsku organizaciju komunikacije pojedinih dijelova:

- najsporiji su vezani na ponešto brže,
- ovi na još brže,
- i tako redom, do najbržeg — procesora.

Ova hijerarhija je ključna za efikasnu komunikaciju!

Hijerarhijska struktura memorije

Nažalost, ova hijerahija komunikacije nije dovoljna za efikasnost modernog računala. Grubo govoreći, fali joj vrh, koji se ne vidi dobro na izgledu matične ploče.

- Pravo i najgore usko grlo u prijenosu podataka je komunikacija između procesora i memorije.

Gdje je problem?

Podsjetimo: bilo koje operacije nad bilo kojim podacima možemo napraviti samo u procesoru — preciznije, u registrima procesora. To znači da

- prije same operacije, podatak moramo "dovući" iz obične memorije u neki registar procesora.

Baš to je sporo!

Hijerarhijska struktura memorije (nastavak)

Na primjer, ako procesor radi na 3.6 GHz, a memorija na 533 MHz, onda će

- prijenos podatka u registar trajati okruglo 6 puta dulje od operacije na njemu.

Nažalost, isti tehnološki problem se javlja kod svih modernijih računala.

- Obična radna memorija je bitno sporija od procesora.

Kako se to izbjegava, ili, barem ublažava?

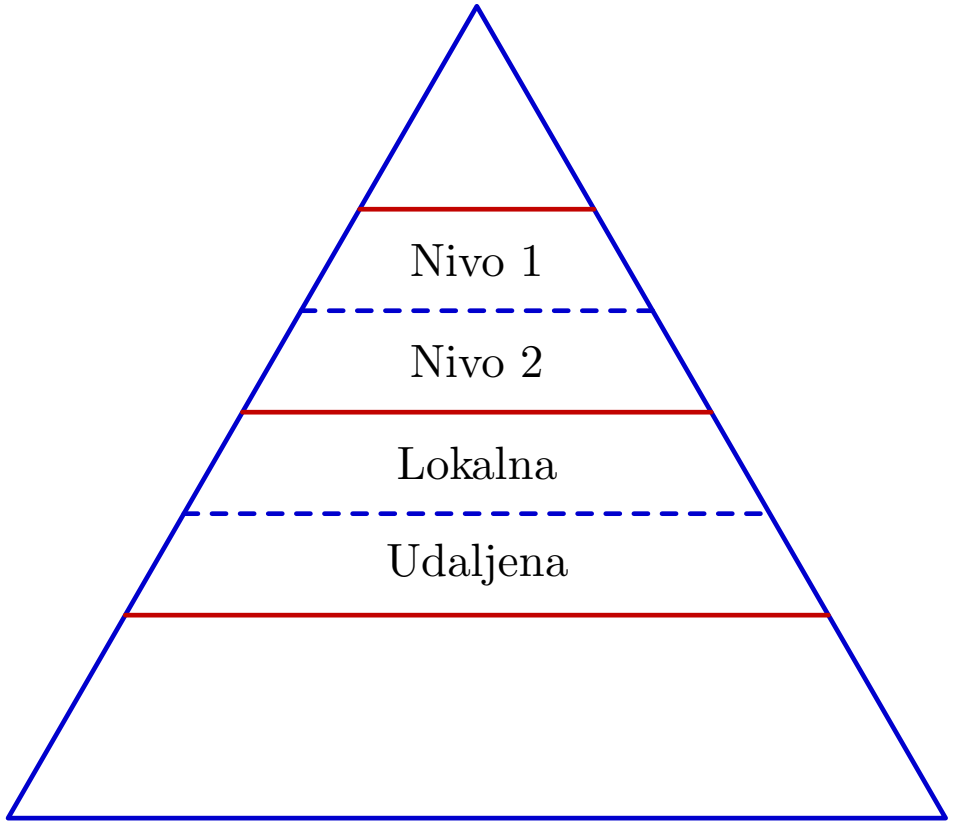
- Dodatnom hijerhijskom strukturom memorije, između obične radne memorije (RAM) i registara procesora.

Ta "dodatna" memorija se tradicionalno zove cache.

Hijerarhijska struktura memorije (nastavak)

Globalna struktura memorije u računalu ima oblik:

Brza, mala, skupa



Registri

Cache

Memorija

Disk

Spora, velika, jeftina

Cache memorija

Dakle, cache je mala i brza "lokalna" memorija — bliža procesoru od obične memorije (RAM). Gdje se nalazi?

- Obično, na samom procesorskom chipu, da bude što bliže registrima.

Nadalje, i taj cache je hijerarhijski organiziran. U modernim procesorima postoji nekoliko nivoa (razina) cache memorije.

- L1 cache za podatke i instrukcije — najbrži, veličina (trenutno) u KB.
- L2 cache za podatke — nešto sporiji, danas obično na frekvenciji procesora, veličina već u MB.
- Katkad postoji i treća razina — L3 cache.

Cache memorija (nastavak)

Na primjer, moj "notebook" ima Intel Pentium 4–M procesor koji na sebi ima (bez pretjeranih tehničkih detalja):

- L1 cache za podatke — 8 KByte-a,
- L1 cache za instrukcije — 12 K tzv. mikro–operacija,
- L2 cache — 512 KByte-a, na frekvenciji procesora.

Ovo su tipični omjeri veličina za Intelove procesore.

Za usporedbu, na AMDovim procesorima omjeri su bitno drugačiji:

- L1 cache je veći,
- L2 cache nešto manji (i, katkad, sporiji).

(Ne ulazimo u to što je bolje!)

Cache memorija (nastavak)

Kako (ugrubo) radi cache?

Kad računalo (tj. njegov operacijski sustav) izvršava neki naš program, onda

- uglavnom, imamo kontrolu sadržaja obične memorije koju taj naš program koristi za podatke i naredbe.

Za razliku od toga,

- nemamo nikakvu izravnu kontrolu nad sadržajem cache memorije.

Naime, cache nije izmišljen zato da bude mala, brža kopija obične memorije i tako ubrza ukupni rad računala.

Cache memorija (nastavak)

Puno je efikasnije da

- cache sadrži podatke koji se češće koriste.

Isto vrijedi i za instrukcije. Dakle, osnovna ideja je:

- "Skrati put do onog što ti često treba".

Naravno, ključna stvar za efikasnost je:

- Što znači "češće" korištenje nekog podatka ili instrukcije?

Dobra globalna ili prosječna efikasnost postiže se samo ako se to odnosi na sve što računalo izvršava u nekom trenutku, tj. na sve pokrenute korisničke programe i dijelove operacijskog sustava.

Cache memorija (nastavak)

U tom svjetlu, kad malo bolje razmislite,

- zaista bi bilo nepraktično da svaki programer određuje što i kada treba ići u koju cache memoriju,

jer prosječna efikasnost nipošto ne ovisi samo o njegovom programu. Zato nema posebnih naredbi za

- učitavanje podataka u cache, ili
- pisanje podataka iz cachea u običnu memoriju.

Umjesto toga, sadržajem cachea upravljaju posebni cache kontroleri, koji

- raznim tehnikama "asocijacije" na više načina povezuju nedavno korištene podatke i instrukcije s onima koje tek treba iskoristiti i izvršiti.

Cache memorija (nastavak)

Bez puno tehničkih detalja, ova asocijacija se realizira otprilike ovako:

- Za svaki sadržaj (podatak ili instrukciju) u cacheu, dodatno se pamti i adresa (iz RAM-a), s koje je taj sadržaj stigao.
- Ako procesor (uskoro) zatraži sadržaj s te adrese, on se "čita" iz cachea (tj. ne treba po njega ići u RAM).
- Po istom sistemu, u cacheu se pamte i stvari koje se "pišu" u običnu memoriju (na putu u RAM).
- Tada se iz cachea brišu podaci koji su najstariji, odnosno, najmanje korišteni (u zadnje vrijeme, otkad su u cacheu).

Cache memorija (nastavak)

Dakle, sadržaj cachea se stalno obnavlja, tako da

- cache čuva najčešće nedavno korištene sadržaje koji bi uskoro mogli trebati.

Iskustvo pokazuje da se isti sadržaji vrlo često koriste više puta, pa se ovo isplati.

Očiti primjer:

- instrukcije u petljama se ponavljaju puno puta!

Ne zaboravimo da je upravo to svrha programiranja i osnovna korist računala.

Cache memorija (nastavak)

Malo kompliciranije je s podacima.

- Ako naš algoritam ne koristi iste podatke puno puta, onda nam cache neće ubrzati postupak.
- U suprotnom, isplati se preurediti algoritam tako da iste podatke koristi puno puta, ali u kratkom vremenskom razmaku — da ne "izlete" iz cachea. (To je neizravna kontrola nad sadržajem cachea.)

Primjeri iz linearne algebre:

- zbrajanje matrica, $C = A + B$ — cache ne pomaže puno;
- množenje matrica, $C = C + A * B$ — dobro korištenje cachea može ubrzati množenje matrica i za 5 puta.