

Savremeni mikroprocesori (1)

Literatura

- John L. Hennessy, David A. Patterson:
Computer Architecture, A Quantitative Approach, 6th ed., Morgan-Kaufmann, 2017
- 1.1–1.4 za ovo predavanje

Mikroprocesori kao kategorija računarskih sistema

- Današnji računari su isključivo zasnovani na mikroprocesorima
- Pre ~50 godina to nije bilo tako
- Procesor je sklop velikog broja elektronskih komponenti; dominantno tranzistora
- Mikroprocesor je moguć samo ako se te komponente mogu integrisati u jedinstveni sklop—integrisano kolo

Početak razvoja mikroprocesora

- Početkom 1970-ih, kada postaje moguće integrisati $\sim 10^3$ komponenti na integrisano kolo
- Taj stepen integracije je tada nazvan **LSI** (=Large Scale Integration), kasnije povećano na **VLSI** ($\sim 10^6$, Very Large Scale...), kasnije je predloženo **ULSI** (Ultra...) ali se od te nomenklature odustalo
- Prvi mikroprocesori su po svim parametrima performansi zaostajali za tadašnjim diskretnim računarima „opšte namene“ (ako dopustimo kategoriju)

Tempo razvoja mikroprocesora

- U veoma dugom razdoblju razvoj se ponašao kao eksponencijalni proces
- Eksponencijalni procesi se odupiru intuicijskom razumevanju (primeri: hiperinflacija, epidemije)
- Ovakav razvoj je imao opipljive posledice na oblast sistemskog programiranja
- Razvoj je dobro opisan sa dva „zakona“ (pre empirijska zapažanja)



Denardovo skaliranje

- Robert Denard (Dennard): elektroinženjer, istraživačka karijera u IBM-u
- 1974.: snaga integrisanog kola po jedinici površine ostaje konstantna sa porastom gustine komponenti
- Uprošćeno: promena fizičkih dimenzija tranzistora menja njegove električne karakteristike tako da očuva gustinu snage, a dopušta rast radne frekvencije



Murov zakon

- Gordon Mur (Moore): inženjer, saosnivač Intel-a, osnivač Fairchild Semiconductors
- 1965.: broj komponenti integrisanog kola se udvostručuje svake godine; kasnije revidirano na 18 meseci ili dve godine (zbog ove promenljivosti i nije „zakon“ u fizičkom smislu)
- Murovo zapažanje je poznatije od Denardovog
- Rade zajedno—posledica je da performanse/W rastu brže od porasta broja komponenti

Kraj eksponencijalnog rasta

- Svaka eksponencijalna progresija ima granicu
- Denardovo skaliranje je prestalo da važi oko 2004., ne zato što su tranzistori prestali da se smanjuju, već zbog toga što napon i jačina struje tranzistora imaju granične vrednosti ako se želi očuvati pouzdanost rada
- Murov zakon je prestao da važi oko 2012.–2014.; broj komponenti i dalje raste, ali daleko od toga da se udvostručuje na dve godine

Processori

8086	29.000	3 μm
80386	275.000	1,5 μm
80486	1.200.000	1 μm
Pentium	3.100.000	0,8 μm
Pentium 4	42.000.000	0,18 μm
Core 2 Duo	291.000.000	65 nm
i7 Skylake	1.750.000.000	22 nm

Napomena o dimenzijama

- Dužina data kao oznaka proizvodnog procesa integrisanog kola danas nema direktne veze ni sa jednom fizičkom dimenzijom tranzistora
- Fizička veza se mogla naći otprilike do 32 nm: razstojanje između istovetnih elemenata u matrici memorijskih ćelija izvedenih u ovoj tehnologiji
- Danas ima više smisla posmatrati gustinu komponenti, recimo milioni tranzistora/mm²

Uticaj na sistemsko programiranje— početak

- 1975.: MOS Technologies 6502
- 8-bitni mikroprocesor
- 3500 tranzistora; 3 korisnička registra opšte namene; radni takt 1 Mhz
- Programiranje uglavnom u assembleru; mikroprocesor je nepogodan za više programske jezike zbog siromašnog skupa registara
- Osnovna memorija se koristi kao proširenje skupa registara

Uticaj na sistemsko programiranje— eksponencijalni rast

- Dok je tehnologija u periodu eksponencijalnog rasta, osnovne performanse prirodno rastu s protokom vremena (=treba samo sačekati)
- • Osnovno merilo performansi kod mikroprocesora opšte namene je broj celobrojnih operacija u jedinici vremena
- Nema potrebe drastično menjati ili dopunjavati arhitekturu ako ne postoji spoljašnji pritisak koji to diktira



Primeri spoljašnjih uticaja na arhitekturu

- Primer 1: operacije u pokretnom zarezu (razlomljene vrednosti), koje se masovno koriste u numeričkim modelima i naučnim izračunavanjima
- Rešenje: matematički koprocesori (dodatni procesori sa instrukcijama za rad u pokretnom zarezu), kasnije sastavni deo procesora
- Primer 2: rad sa većim količinama radne memorije (RAM=Random Access Memory), izvedene u dinamičkoj tehnologiji

Dinamička memorija

- Tip memorije koji se dominantno koristi za „blisku“ radnu memoriju računarskog sistema
- Rast kapaciteta saobrazan porastu broja tranzistora u integrisanom kolu
- 1989: 1 MB
- 2014: 1 GB
- Porast brzine rada ni izdaleka tako dramatičan kao kod mikroprocesora, zbog čega su mikroprocesori morali interno da se prilagođavaju



Kategorije paralelizma

- Kad linearne pojedinačne performanse nisu dovoljne, može se razmatrati paralelizam
- **Paralelizam podataka:** jer postoje podskupovi podataka nad kojima se operacije mogu obavljati istovremeno
- **Paralelizam zadatka:** jer se celokupni zadaci često mogu podeliti na relativno nezavisne podzadatke
- Ove kategorije se mogu iskoristiti organizaciono ili tehnički—nas zanima tehničko iskorišćenje u okviru mikroprocesora



Iskorišćenje paralelizma na nivou mikroprocesora

- Paralelizam na instrukcijskom nivou: korišćenje paralelizma podataka za istovremeno izvršavanje skupova instrukcija
- Vektorske arhitekture, grafički koprocesori, multimedijalne instrukcije: korišćenje paralelizma podataka tako što se jedna instrukcija primenjuje na veću količinu podataka
- Paralelizam na nivou lanaca izvršavanja (*thread-level*): paralelizam podataka ili zadataka u tesno spregnutoj interakciji pojedinačnih lanaca izvršavanja



Flinova taksonomija

- Metod klasifikacije procesorskih sistema i/ili skupova instrukcija po stepenu paralelizma (Flynn, 1966)
- SISD (Single Instruction, Single Data), klasične celobrojne ili pokretno-zarezne instrukcijama
- SIMD (Single Instruction, Multiple Data), vektorske ili multimedijalne instrukcije
- MISD, ne postoji u praksi
- MIMD, kombinacija SIMD za više izvršnih jedinica, podrazumeva paralelizam zadataka

Mikroprocesorske arhitekture

- Danas, dve komercijalno dominantne
- Intel x86
 - dominatno 64-bitni, serverski
 - neuspešan pokušaj serije mobilnih mikroprocesora
- ARM
 - 32-bitni i 64-bitni, mobilni uređaji, sa pokušajima serverskih i desktop/laptop varijanti
- Napuštene: MIPS, SPARC, Alpha, HPPA, Itanium
- Još postoji IBM Power