Uvod u HPC

Šta je HPC i zašto postoji

Sadržaj

1. Servisne informacije
2. Problemi Performansi
3. Uvod u koncept modernog HPC
4. Kratka istorija

Servisne informacije

Opšti podaci o predmetu.

Malo o predavaču

- Veljko Petrović
- Sedim u NTP 330 kancelariji
- Uvek je dobro najaviti se na konsultacije
- Konsultacije mogu i po posebnom dogovoru kada je potrebno
- Možemo da se čujemo i online, naravno.

Kontaktiranje - elektronska pošta

- Najbolje me je tražiti na `pveljko@uns.ac.rs`
- Vodite računa da neretko dobijam čitav *tsunami* elektronske pošte, možda vašu ne vidim ili ne vidim na vreme.
- Ako ste zabrinuti da vam nisam video poruku, slobodno je šaljite opet.
- Ako želite da dobijete odmah odgovor (makar on bio samo 'video') molim stavite reč HITNO u subject poruke.

Šta je RVP

- U pitanju je prevod—tehnički kalk—engleskog termina 'High Performance Computing' čiju ću skraćenicu (HPC) ja koristiti kao ime kursa u budućnosti.
- Opšte govoreći, videćete neobično puno engleskih termina u ovim predavanjima.
- Što?
  - Nekad nema prevoda
  - Nekad prevod odudara zbog naše nenaviknutosti
  - Uvek je neophodno znati engleski termin ako želite da koristite Internet pretragu.

Šta je cilj predmeta

- Uvod u programiranje, ali za super-računare.
- Formalnije rečeno, namena predmeta jeste da se steknu veštine iz:
  - Arhitekture sistema visokih performansi.
  - Alata, biblioteka, i tehnologija za opšte visoko-paralelno programiranje.
  - Alata, biblioteka i tehnologija za domenski-specifično visoko-paralelno programiranje.
    - Naročit fokus ove godine na visokoperformantno mašinsko učenje
  - Alata, biblioteka, i tehnologija za merenje performansi algoritama.
  - Alata, biblioteka, i tehnologija za vizualizaciju velikih skupova podataka.
- Neformalnije rečeno, namena predmeta jeste da se nateraju programi da idu jako **jako** brzo.

Literatura

- Dokumentacija, ovi slajdovi, i beleške sa predavanja bi trebali da budu sasvim dovoljni.
- Predavanja su bazirana u velikoj meri na izvrsnoj knjizi "High Performance Computing: Modern System and Practices" čiji su autori T. Sterling, M. Anderson, i M. Brodowicz. Takođe se preporučuje: "Introduction to High Performance Scientific Computing," Victor Eijkhout koja je dostupna kroz CreativeCommons licencu. http://pages.tacc.utexas.edu/~eijkhout/Articles/EijkhoutIntroToHPC.pdf.

O slajdovima

- Slajdovi su novi za ovu generaciju i predstavljaju proširenu verziju slajdova ranijih godina
- Promenila se i tehnologija slajdova: sada postoji samo jedna verzija, koja je online na: https://pveljko-ftn.github.io/predavanja-HPC/01/.
- Dalja predavanja su naravno 02, 03, i tako dalje.
- Sa samog sajta prezentacije možete generisati i preuzeti PDF i PPTX format, a .md format je dostupan na zahtev.

Kako se polaže?

- Predispitne obaveze nose 70 bodova
- Kako te bodove stičete ćućete na vežbama
- Ispit nosi 30 bodova
- Te bodove stičete na klasičnom ispitu koji će gotovo sigurno biti usmen i pokrivaće gradivo koje ste radili na predmetu.

Infrastruktura

- Budući da je predmet zahtevan, nemamo baš najbolju moguću podršku u laboratorijama fakulteta
- Trebaće vam Linux, idealno najsvežija Fedora ili Ubuntu bilo direktno instaliran, bilo u virtuelnoj mašini.
- Dosta posla će se raditi iz komandne linije.
- Naš primarni jezik je C/C++, mada će biti i malo Python-a i R-a kasnije.
- Sav naš alat će biti Open Source izuzimajući, opciono, CLion IDE.
  - CLion se plaća i to puno, ali kao studenti FTN-a imate pravo na besplatnu JetBrains licencu.
  - Ako ne želite IDE, Visual Studio Code / Codium je sasvim prikladan ili naravno neki drugi editor u kome uživate.

Infrastruktura

- Budući da je predmet zahtevan, nemamo baš najbolju moguću podršku u laboratorijama fakulteta
- Trebaće vam Linux, idealno najsvežija Fedora ili Ubuntu bilo direktno instaliran, bilo u virtuelnoj mašini.
- Dosta posla će se raditi iz komandne linije.
- Naš primarni jezik je C/C++, mada će biti i malo Python-a i R-a kasnije.
- Sav naš alat će biti Open Source izuzimajući, opciono, CLion IDE.
  - CLion se plaća i to puno, ali kao studenti FTN-a imate pravo na besplatnu JetBrains licencu.
  - Ako ne želite IDE, Visual Studio Code / Codium je sasvim prikladan ili naravno neki drugi editor u kome uživate.
  - Naravno, neovim je najbolji.

Linux?

- Da, Linux.
- Ispostavilo se, avaj, da nijedna godina nije godina Linux-a na desktop-u , ali kao utešna nagrada, svaka godina je godina Linux-a u HPC primenama.
- Upotreba bilo čega drugog nije ni opcija za nas.
- Ako vam rad sa Linux-om nije udoban, krajnje je vreme da se naviknete.

Komandna linija

- Resursima HPC sistema se pristupa manje-više isključivo iz komandne linije i dosta alata se može, u stvari, samo razumeti u kontekstu komandne linije i nikako drugačije.
- Treba će vam razumevanje osnovnih komandi i sistemskih promenljivih da bi razumeli kako alati koje mi koristimo rade.

C/C++

- Nemamo izbora.
- Ovo, baš ovo, je mesto gde C i C++ briljiraju.
- Ima modernih jezika koji su interesantni i obećavaju da će eventualno smaknuti u ovoj oblasti primenu C i C++, ali još nisu u potpunosti zavladali
  - Rust je naročito bitan jezik
  - Go je takođe bitan kada se govori o performantnim sistemima
- C/C++ je tehnički… pipav termin. Ono što ja ovde mislim jeste C i, gde možemo, moderan C++.
- Budite srećni, mogli smo da koristimo FORTRAN.

Python i R

- Biće malo ova dva jezika kada budemo pričali o vizuelizaciji.
- HPC rad je retko rad sam za sebe—tipično rešavamo nekakav problem.
  - Stoga, heterogenost jezika je česta.
- Neretko postoji prototip u nečemu udobnom kao što je Python, a vaš posao je da uzmete to i učinite ga mnogo bržim.
- Naravno, Python je apsolutno ključan kada je u pitanju mašinsko učenje.

Problemi Performansi

Brzo o bzini i optimizaciji.

Šta su performanse

- Imamo dve moguće definicije:
  - Teoretske performanse.
  - Praktične performanse.
- Teoretske performanse su apsolutni maksimum koji neki hardverski sistem može da izvuče i meri se u broju nekakvih operacija u sekundi. Najčešće, jedinica je FLOPS—FLoating point OPeration per Second.
- Računari kakve vi, realistično, imate imaju performanse koje se mere u desetinama gigaFLOPSa , ne računajući GPU.
- Najbrži računar? El Capitan. 1.742 petaflopsa. 11039616 jezgara. Čudo šta 30MW može da uradi.

Šta su performanse?

- To je lepo, ali nama ne treba računar da troši struju i zvuči impresivno.
- Nama treba rešenje, i to dovodi do praktičnih performansi.
- Praktične performanse su, efektivno, koliko vremena treba da se dođe do rešenja.
- Mnogo su realističnije (pošto nas baš to zanima) ali dobiti ih je jako jako teško.
- Tipično se procenjuju na osnovu kalibracionog programa—Benchmark-a.

Kako programer zamišlja računar?

- Moj program ima nekakve podatke i sam kod.
- I jedno i drugo živi u memoriji.
- Kod se sastoji od atomskih operacija, instrukcija koje traju neku jedinicu vremena t_i.
- Procesor izvršava moje instrukcije, jednu po jednu.
- Ako hoću brži program, opcije su mi:
  - Manje instrukcija.
  - Kraće t_i.

Oh, sweet child of summer...

- ...svi vi, znate, nadam se, da ovo nije tačno.
- Ali možda ne znate *koliko* nije tačno.
- Ipak, iako nije tačno ovo nije potpuno beskorisno.
- Minimizacija broja instrukcija je, generalno govoreći, dobar način da se program ubrza.
- Možete misliti o ovome kao o kontroli vremenske kompleksnosti algoritma.
  - Da li ste vi ovo radili?
- To je dobra ideja, ali ne svrha ovog kursa.

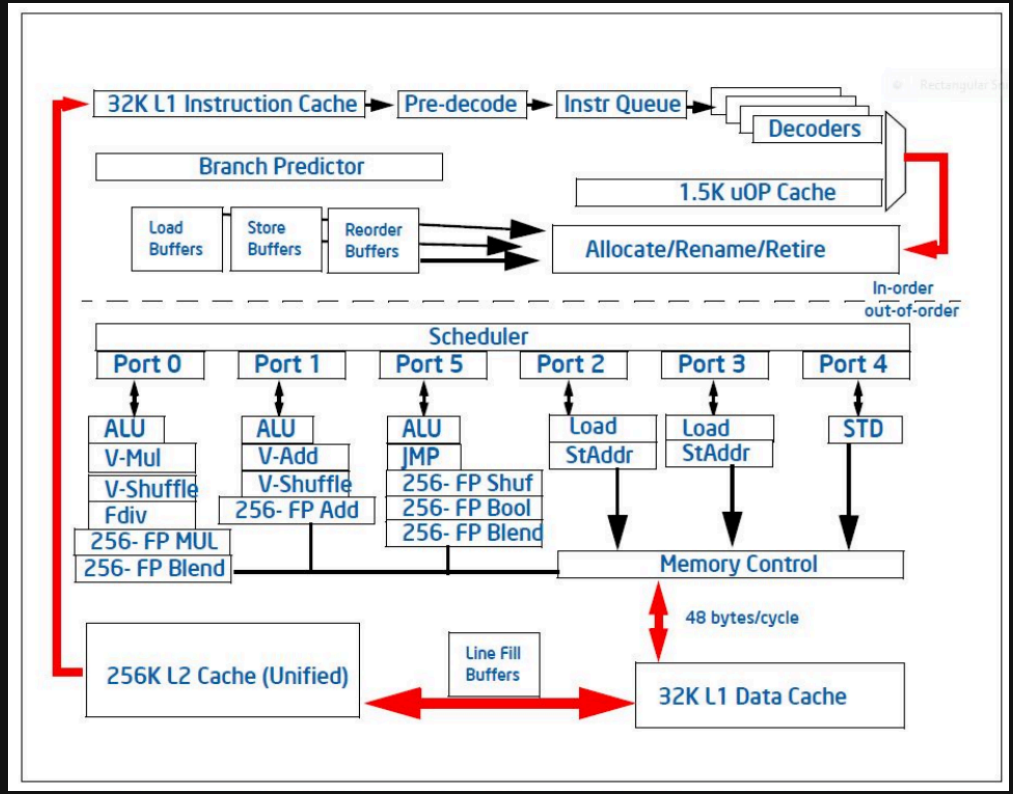
Dobro, šta ne valja sa ovom pričom?

- Vaš procesor ima u sebi, efektivno, više procesora.
- Ali svaki od tih procesora izvršava više stvari istovremeno.
- Takođe, ta istovremenost je kompleksna zahvaljujući pipelining-u.
- Takođe takođe, mehanizmi u računaru operišu na kompletno različitim vremenskim skalama.
- Takođe takođe…

Ovo je komplikovanije nego što izgleda

- Računar se jako trudi da vam predstavi sliku da je samo instancirana Fon Nojmanova arhitektura i da je memorija lako i proizvoljno adresabilna.
- Lakše je tako programirati i većinu vremena želite tu iluziju, ali ne i kada hoćete da iscedite svaki poslednji dram performansi iz sistema.

Dijagram procesora



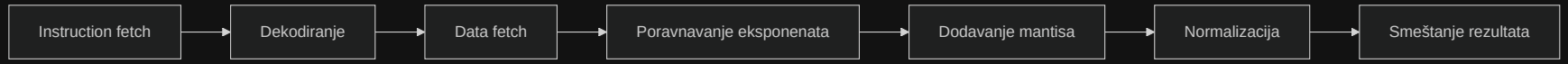
Šta su glavne komplikacije na jednom računaru?

- Ne zaboravite, ovde još pričamo o prostom računaru koji vam stoji na radnom stolu.
- Prvo, ima više jezgara.
- Drugo, instrukcije mogu da traju različiti broj ciklusa.
- Dalje ima paralelizam na nivou instrukcija (eng. Instruction Level Paralelism)
- Memorija ima striktnu hijerarhiju

ILP

- Nezavisne instrukcije mogu da krenu da se izvršavaju u isto vreme, koristeći paralelne strukture u samom silikonu.
- Zahvaljujući sekvenci izvršavanja, više funkcija može da ide jedno za drugim u protočnom režimu (eng. "pipelining")
- Da ne bi bilo praznog hoda, procesor izvršava grane u vašem kodu pre nego što se zna u koju će se ući. Ako je pogodio kako treba, odlično, ako ne rezultat se baca i program se vraća u prethodno stanje.
- Da bi pipelining radio što bolje, instrukcije za koje je to moguće će biti izvršene u najoptimalnijem redosledu ne vašem redosledu.
- Podaci se dostavljaju iz nivoa memorije u nivo memorije spekulativno, tj. ako se misli da će možda trebati.

Dijagram pipeline pristupa



Pipeline ubrzanje

- n — broj proračuna koje hoćemo
- l — broj koraka u procesnom toku
- τ — vreme za jedan ciklus sistemskog sata
- $t(n)$ — vreme za n operacija
- s — vreme neophodno da se namesti da pipelining radi

Brzina serijskog izvršavanja

$$t(n) = n \cdot l \cdot \tau$$

Brzina ILP izvršavanja

$$t(n) = (s + l + n - 1) \cdot \tau$$

Hijerarhija memorije

Tip memorije	Red veličine	Brzina učitavanja
Registar	128 bajtova	Koliko i procesor
L1 Keš	~32KiB	Pola procesora
L2 Keš	~256KiB	Oko šestina procesora
L3 Keš	~32MiB	Oko $\frac{1}{12}$ procesora
Glavna memorija	~32GiB	100 ciklusa sa oko 5% protoka
SSD disk	~2TiB	Jako dugo
HDD disk	~8TiB	Večnost.

Keš

- Nikad nema dovoljno.
- U praksi, automatski mehanizmi pokušavaju da u kešu drže podatke koje nama trebaju.
- Ako, kada program zatraži podatak, on stoji u kešu odlično. Imamo ubrzanje.
- Ako ne, imamo omašaj, ond. "cache miss."

Katalog omašaja

- Neizbežan
  - Kada prvi put tražimo podatke.
- Kapacitetski
  - Kada nema više mesta.
- Konflikt
  - Kada mapiramo (keš menja memoriju, tj. lokacije u kešu su ubrzane memorijske lokacije sa tačke gledišta adresiranja), mapirali smo dve stvari na isto mesto.
- Invalidacija
  - Više jezgara se posvađalo oko toga šta je najsvežija verzija nekog podatka.

Keš blok

- Instrukcije ne mogu da direktno adresiraju keš
- I dalje misle da pričaju sa glavnom memorijom
- Ovo je česta apstrakcija odgovorna i za, npr. memory-mapped I/O
- Iza kulisa, mikrokontroler procesora uzima podatke iz memorije i smešta ih u keš u jedinicama fiksne veličine (blokovima).
- Tipično, 128 bajtova. To znači da dobijamo ceo taj komad memorije hteli mi to ili ne.
- Zatim se beleži koji deo memorije je mapiran na koji deo keša i, kada ponestane prostora, menja se najdavnije korišćeni deo. LRU
  - Ovo je laž. Više o tome kasnije.

Koja je praktična primena znanja o keš blokovima?

- Pakovanje podataka.
- Ako prolazimo kroz niz element po element, kada učitamo prvi element, uz njega dolazi N sledećih džabe.
- Ako procesiramo svaki element, onda to je to.
- Ali šta ako je ovo niz tačaka u 3D prostoru a nas samo zanima X vrednost.
- Imamo jako puno bačenih učitavanja.
- Ako znamo kako će neki podaci biti procesirani, isplati se da se upakuju tako da podaci koji se zajedno koriste budu blizu.

Array Stride

- Recimo da hoćemo da saberemo dva niza kompleksnih brojeva.
- To znači (ako koristimo double preciznost) da nam treba 16 bajtova po broju.
- Keš linija je, recimo, 128.
- To znači da bi trebalo da je brže da se brojevi sa sabiranje prepletu u jedan niz.
  - Re(A0)
  - Im(A0)
  - Re(B0)
  - Im(B0)
  - Re(A1)
  - …

Address alignment

- Lukaviji možda mogu da primete da ja mogu da adresiram bilo koju adresu u glavnoj memoriji na bajt nivou, čak i ako radim na nivou reči.
- Da li to znači da nekako, magično, ima poravnanje između keša i memorije?
- Ne. Multi-bajt vrednost može vrlo lako da bude u dva keš bloka.
- Ovo je spektakularno loše po performanse.
- Ponekad, kompajler je dovoljno pametan da to otkloni.
- A ako nije?

Address alignment

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

Address alignment

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(){
  double* a = NULL;
  a = malloc(1024 * 8);
  printf("%p\n", a);
  free(a); //da li je ovo poravnano?
}
```

Address alignment

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(){
    double* a = NULL;
    double* aligned_a = NULL;
    a = malloc(1024 * 8 + 8);
    printf("%p\n", a);
    aligned_a = a;
    if((size_t)a % 8 != 0){
        aligned_a = (double*)(( ((size_t)a >> 3) << 3));
    }
    printf("%p\n", aligned_a);
    free(a);
}
```

Address alignment

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(){
    double* a = NULL;
    double* aligned_a = NULL;
    size_t numeric_a = 0;
    a = malloc(1024 * 8 + 8);
    printf("%p\n", a);
    aligned_a = a;
    numeric_a = (size_t)a;
    if((numeric_a) % 8 != 0){
        numeric_a = ((numeric_a + 8) >> 3) << 3;
        aligned_a = (double*)numeric_a;
    }
    printf("%p\n", aligned_a);
    free(a);
}
```

Address alignment

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(){
    double* a = NULL;
    double* aligned_a = NULL;
    size_t numeric_a = 0;
    int n = 3; //poravnavanje na 2^n bitova.
    a = malloc(1024 * 8 + (1 << n));
    printf("%p\n", a);
    aligned_a = a;
    numeric_a = (size_t)a;
    if((numeric_a) % (1 << n) != 0){
        numeric_a = ((numeric_a + (1 << n)) >> n) << n;
        aligned_a = (double*)numeric_a;
    }
    printf("%p\n", aligned_a);
    free(a);
}
```

Rezultat eksperimenta

- Na GCC 13.2.1, ovo je beskorisno. Već dobijam poravnanu memoriju.
- Jako puno zavisi od kompajlera, i često morate kod da tetošite predprocesorskim direktivama da dobijete ono što želite.

Malo sam lagao o kešu…

- Rekao sam ranije da se beleži region memorije i lokacija u kešu
- To… baš i nije tačno.
- To bi zahtevalo tkzv. asocijativan keš. Ovi su spori.
- Ono što se koristi u praksi je k-struki asocijativan keš.
- To znači da postoji transformaciona funkcija koja mapira lokaciju u memorji na lokaciju u kešu na više mogućih načina. Tipično od 2 do 8.
- Onda, u slučaju konflikta u mapiranju, koristi se jedna od dodatnih lokacija oslobođena po LRU principu.

Šta je sve ovo trebalo da me nauči?

- Osim malo o arhitekturi računara ima još i ovo:
- Kako se nešto implementira interaguje jako komplikovano sa hardverom procesora i računara uopšte da proizvede performanse.
- Stoga, programiranje performantnog koda može biti jako izazovno.
- A sve ovo je na samo jednom računaru...

Uvod u koncept modernog HPC

Šta kada procesor jednostavno nije dovoljno brz...?

Paralelizam

- Prethodna sekcija je pokazala da su performanse teške, ali je sva bila opsednuta time da se iz jednog procesora izvuče maksimum.
- Budući da se naš kod, na kraju dana, izvršava na nekom procesoru, negde, to nije loša ideja i uvek će biti relevantno, ali šta kada 100 nekog procesora nije dovoljno brzo?
- Postoje praktične granice gigahercaži koju možemo da dobijemo iz čipa
  - Bakar
  - Brzina svetlosti

Paralelizam

- Zbog ovoga superračunari danas nisu (i verovatno nikad više neće biti) jedan jako moćan procesor.
- Ono što čini superračunar super jeste broj procesorskih elemenata.
- Da bi se broj procesorskih elemenata iskoristio kako treba, potrebno je pisati kod koji je paralelan, tj. izvršava više stvari istovremeno.
- Ovo nije paralelizam na nivou instrukcije, koliko je paralelizam na nivou algoritma.
- Priroda algoritma dramatično utiče na to koliko je lako odn. teško izvršiti paralelizaciju.

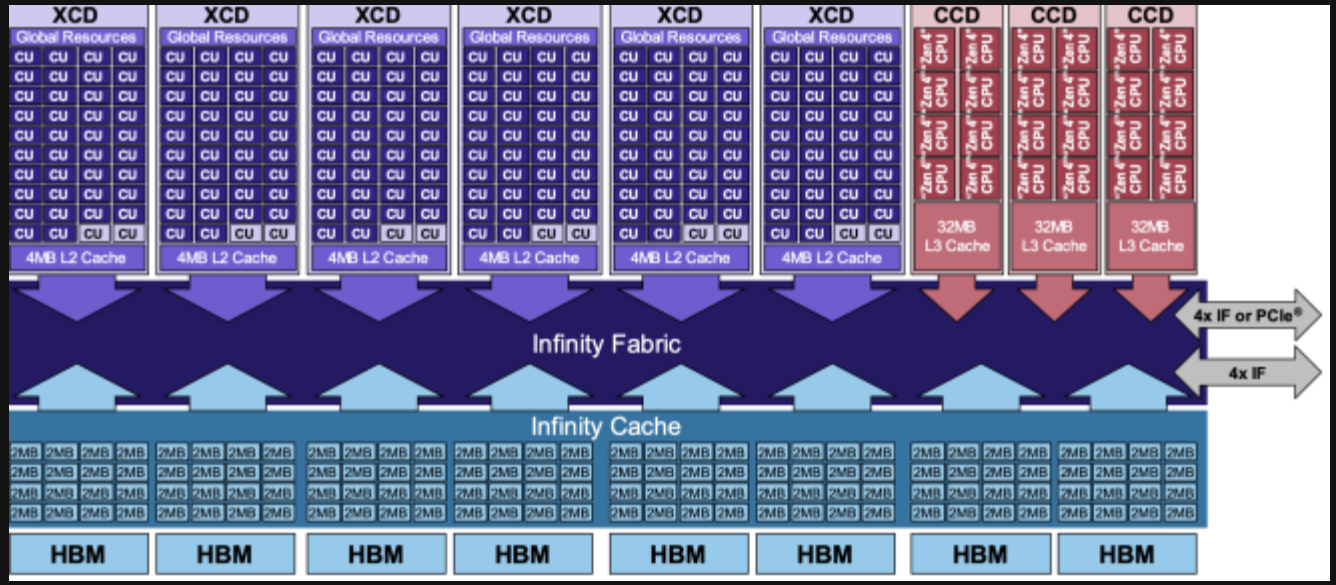
Šta je naš posao?

- Da dobijemo odgovor jako jako brzo.
- Da, ali kako?
- Napadamo problem sa dve strane:
  - Arhitektura
  - Algoritam
- Dakle, treba da napravimo mašinu koja ima jako efektan dijapazon procesora koji brzo komuniciraju i imaju šta im treba da ostvare blizu svom teoretskom maksimumu.
- Sa druge strane treba da upravljamo tom mašinom i podelimo algoritme na takav način da se adekvatni delovi algoritma izvršavaju na pravom mestu radi brzine.

Anatomija jednog superračunara

- Superračunar tipično ima neki broj čvorova.
- Čvor se može zamisliti kao jedan računar.
- Trenutno najbrži računar na svetu je El Capitan
- Taj računar je 11 136 čvorova, gde je svaki odvojen računar koji ima 4 MI300A APU-a

MI300A


XCD
Global Resources
CU
4MB L2 Cache
CCD
Zen 4* CPU
32MB L3 Cache
Infinity Fabric
4x IF or PCIe®
4x IF
Infinity Cache
2MB
HBM

MI300A

- Ovaj APU je kombinacija 6 "grafičkih kartica" i 3 "procesora"
- Svaka od XCD pseudo-GPU jedinica ima 38 komputacionih jedinica
- Svaki APU ima 24 Zen4 x86_64 jezgara sa AVX512 i BFloat16 ekstenzijama

Mnogo paralelizama

- Ovde ima jako puno stvari koje podržavaju paralelizam
- Izazov jeste napraviti kod koji ima odgovarajući posao za svaki paralelizam koji hardver nudi
- Neke stvari su taman za rad na jednom jezgru ili jednom procesoru
- A neki poslovi se najbolje dele između individualnih čvorova gde je komunikacija između njih izuzetno retka.
- Različite tehnologije su dobre za različite nivoe paralelizma. Gledano iz ptičije perspektive

Mnogo paralelizama

Hardverski nivo paralelizma	Tehnologija
Unutar jednog procesora	pThreads / OpenMP
Između čvorova	MPI
Na GPU uređajima	OpenACC / CUDA / ROCm

Skaliranje

- Skaliranje je kako ukupne ostvarne performanse zavise od veličine sistema.
- Tj. ako povećamo računar dva puta koliko dodatnih performansi dobijemo od toga?
- Idealno dva, da, ali…
- Skaliranje ima dva tipa
  - Slabo
    - Uniformni rast veličine sistema, memorije i problema.
  - Jako
    - Veličina problema ostaje ista, skalira se veličina sistema za povećanje brzine.

Šta smeta skaliranju

- Koristi se mnemonik SLOW za faktore koji sprečavaju da sistem dostigne svoj teoretski maksimum. SLOW su:
- **S**tarvation
  - Nema dovoljno posla da se uposle svi resursi sistema.
  - Možda sistem može da radi 600 svari istovremeno, ali ako trenutno postoji samo 6 nezavisnih zadataka, sistem radi na 1 svojih performansi.
- **L**atency
  - Sistem može da bude veliki, i ako informacija sa jednog kraja sistema bude neophodna na drugom, čekanje na nju proizvodi značajno usporenje. Setite se dijagram od ranije i različitih protoka podataka.

Šta smeta skaliranju

- **O**verhead
  - Sav taj kod koji deli podatke i vodi računa ko radi kada šta i integriše rezultate itd. itd. itd. oduzima neko vreme i neke resurse da se izvrši.
- **W**aiting
  - Čim ima više niti izvršavanja može doći do problema nadmetanja (contention) oko deljenih resursa. Ovo se rešava čekanjem. In a stunning turn of events, waiting turns out to be bad for performance. Who knew?

Kratka istorija

Kako smo stigli ovde?

Mehaničko računanje

- Želja za mašinom koja računa umesto nas, ili barem proces čini lakšim je verovatno samo par minuta mlađa od samog koncepta računanja.
- Rano računanje je, u stvari, bilo samo po sebi fundamentalno vezano za nekakvo pomoćno ustrojstvo.
- Drevni Rimljani su imali brojeve koji su bili prilično teški za mehaničku manipulaciju
- Mislim, koliko je LXVII puta XI? A da ne prebacite prvo u arapske brojeve?
- Rimljani su imali metod koji je uključivao pažljivo napravljenu tablicu i kamenčiće.
- Deminutivska množina reči za ’kamen’ na latinskom je ’calculi’
- Odatle kalkulator, kalkulisanje, itd. itd.

Mehaničko računanje

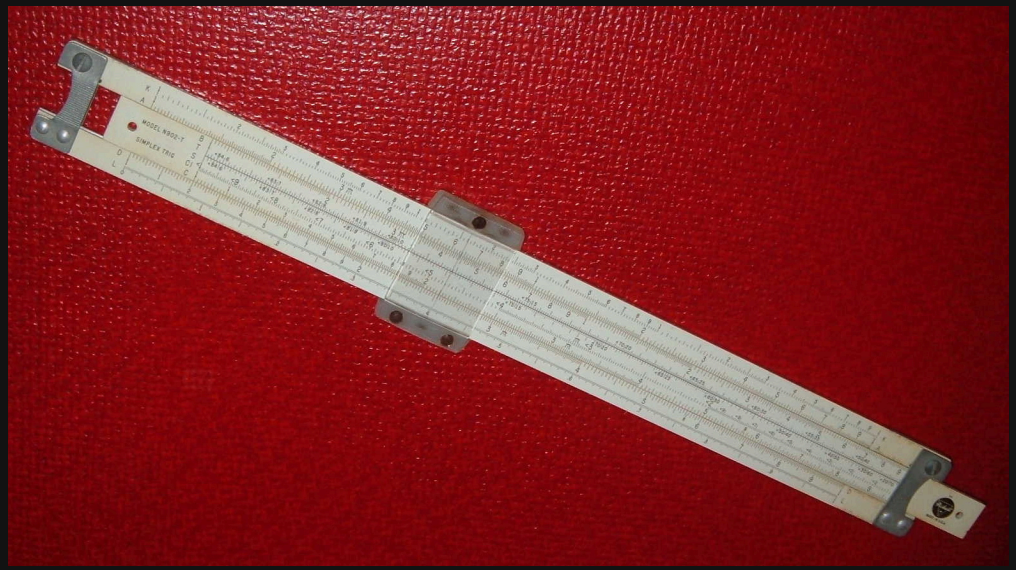
- Ovo je nastalo, toliko da su ljudi koji su radili sa novcem (te mnogo računali) u kasnosrednjevekovnoj Italiji uvek imali pri ruci klupu sa ucrtanom šemom za račun.
- Termin za klupa je bio ’banca’
- Kasnije su prešli na novi, divni metod za računanje koji ne zahteva klupu no upotrebljava čudne strane cifre. Taj metod su zvali po iskvarenom imenu osobe koju su držali za njegovog kreatora, (Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi), ’algorismus’
- Mušterije nisu verovale ovakom algorismičnom bankarstvu i hteli su klupe nazad. Naročito omrznuta je bio potpuno novi simbol—nula. Toliko je bila omrznuta da je arapsko ime za nju— al sifr —ušlo u skoro sve evropske jezike.
- Kao ’šifra.’

Mehaničko računanje

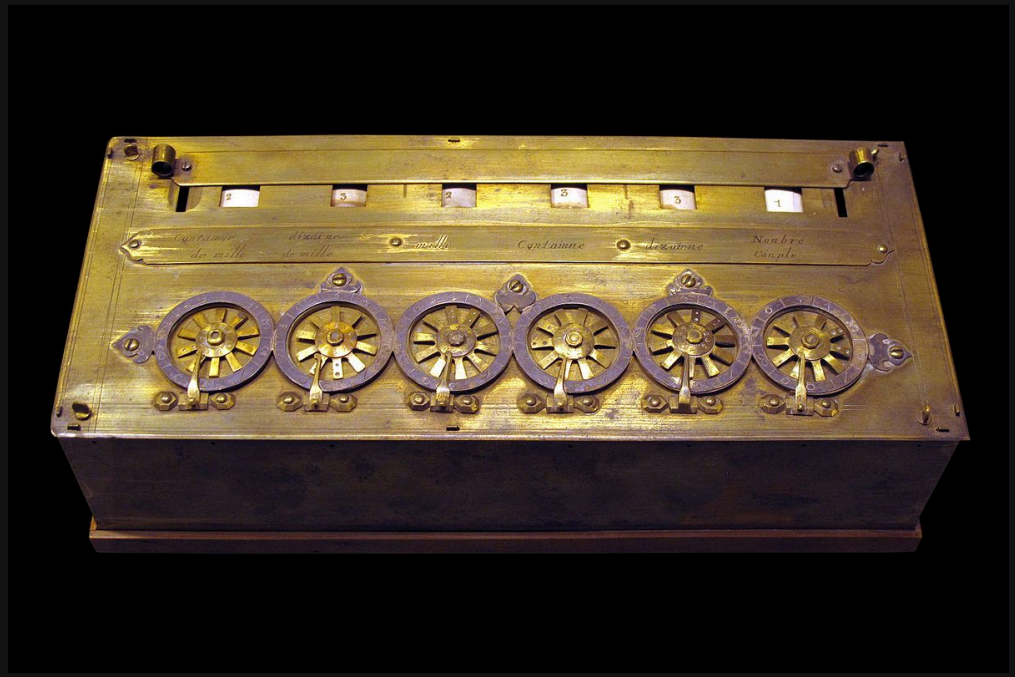
- Ne možemo, očigledno da se oslobodimo mehaničkih računala.
- Prva mehanička računala su bila fundamentalno samo računaljke.

Abakus

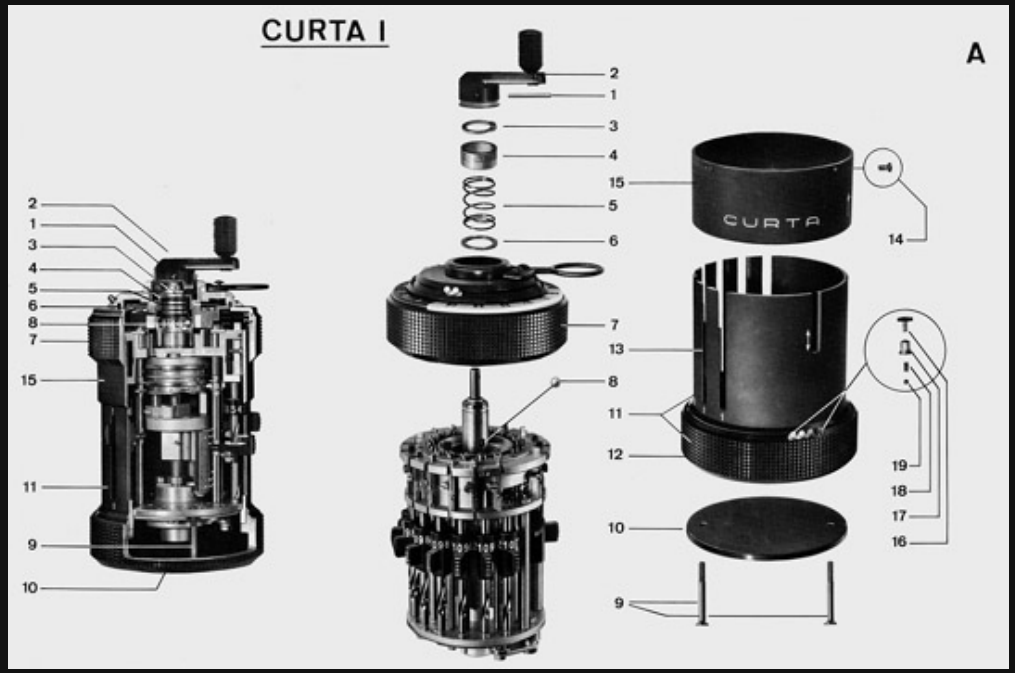
Logaritmar



Paskalina


Centaine de mille
dizaine de mille
mille
Centaine
dizaine
Nombre Simple

Curta

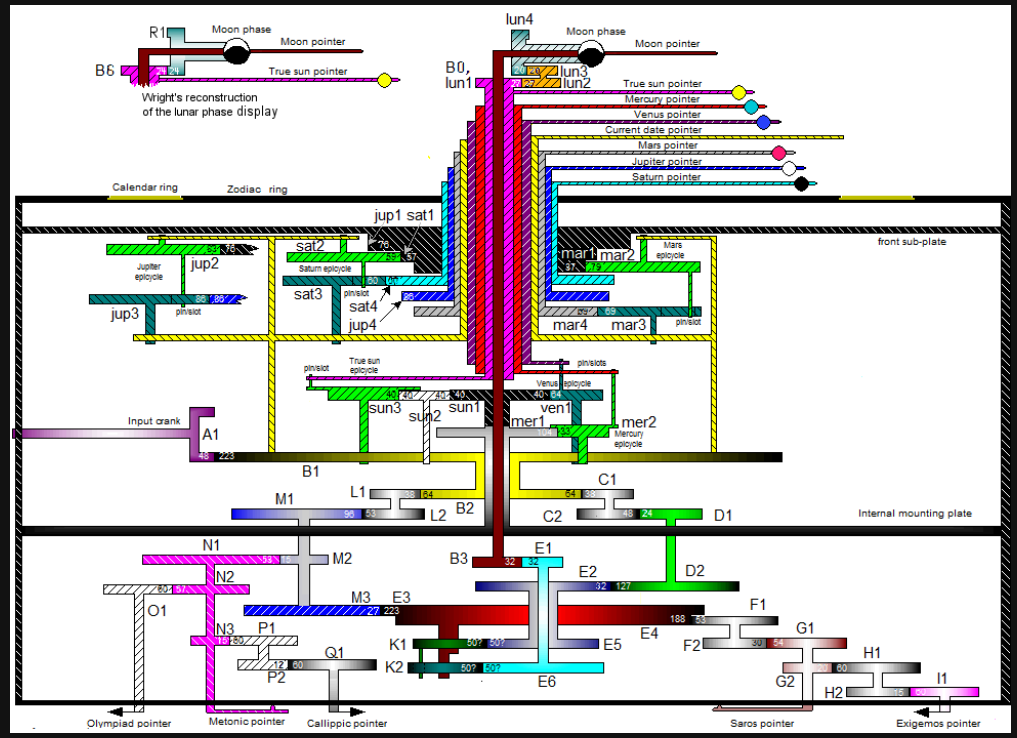


Da li su ovo računari?

- Nikako.
- Ovo ne radi posao računara.
- Ako išta simulira ponašanje aritmetičko-logičke jedinice računara, ništa više.

Antikiteranski mehanizam

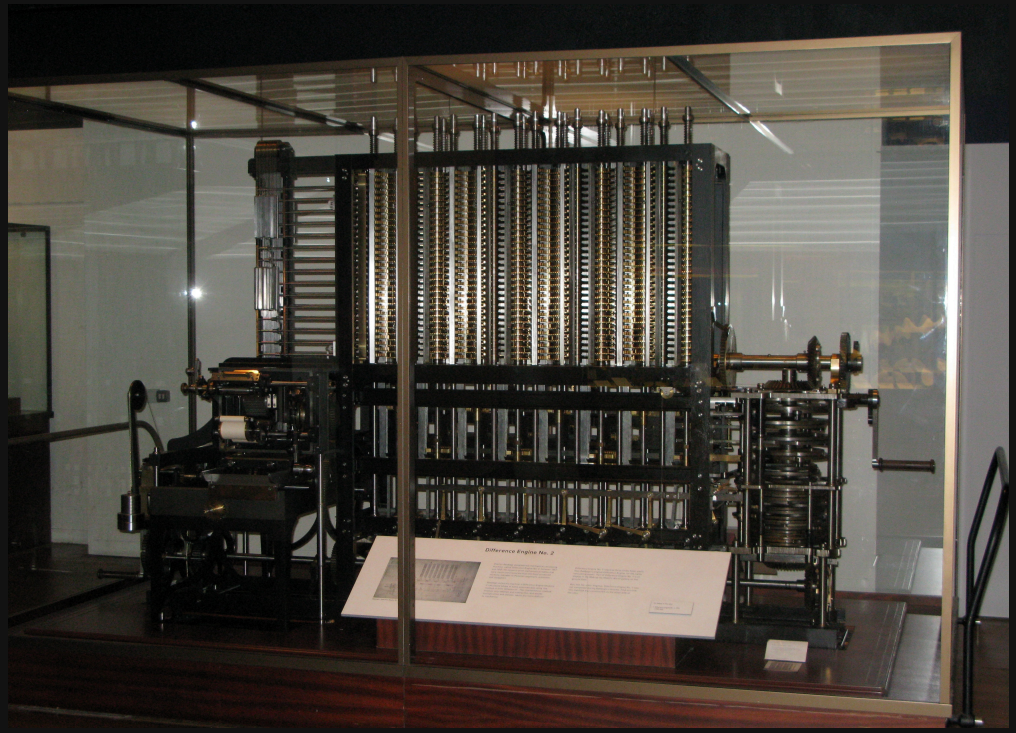
Dijagram


R1
Moon phase
Moon pointer
B6
True sun pointer
Wright's reconstruction
of the lunar phase display
lun4
Moon phase
Moon pointer
B0,
lun1
lun3
lun2
True sun pointer
Mercury pointer
Venus pointer
Current date pointer
Mars pointer
Jupiter pointer
Saturn pointer
Calendar ring
Zodiac ring
jup1 sat1
front sub-plate
sat2
Jupiter epicycle
jup2
Saturn epicycle
sat3
pin/slot
sat4
jup3
jup4
mar1
mar2
Mars epicycle
mar4
mar3
pin/slot
pin/slot
True sun epicycle
pin/slots
Venus epicycle
sun3
sun2
sun1
ven1
mer1
mer2
Mercury epicycle
Input crank
A1
B1
C1
M1
L1
B2
L2
C2
D1
Internal mounting plate
N1
M2
B3
E1
E2
D2
N2
M3
E3
F1
O1
N3
P1
K1
E5
E4
F2
G1
Q1
K2
H1
P2
E6
G2
I1
H2
Olympiad pointer
Metonic pointer
Callippic pointer
Saros pointer
Exigemos pointer

Analogni računar

- Možete misliti o analognom računaru kao o kompleksnoj fizičkoj inkarnaciji matematičke funkcije
- Recimo, neka kombinacija zupčanika ili električnih kola ili spojenih sudova odgovara, recimo, nekoj klasi diferencijalne jednačine.
- Možemo da menjamo parametre i koeficijente
- *Ne možemo* da programiramo takav računar, tj. on ne poseduje osobinu *univerzalne izračunljivosti*

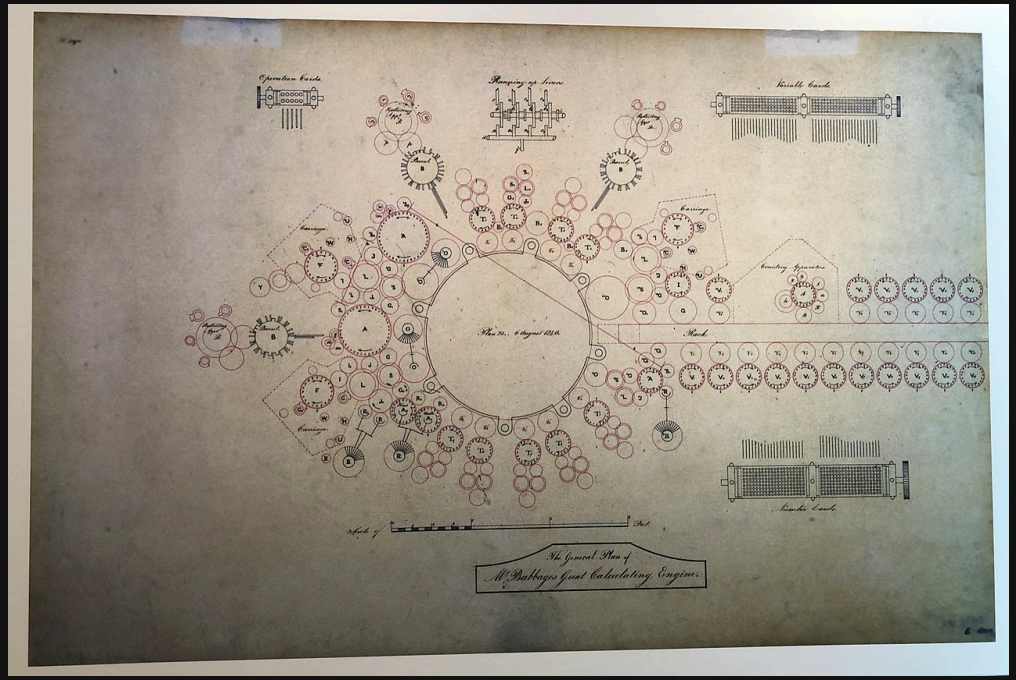
The Difference Engine



Računar?

- Ne *sasvim*
- Ovo je inkarnacija *ogromne* porodice funkcija.
- Ali i dalje nije univerzalan u Čerč-Tjuringovom smislu.
- Ne može da se programira u istinskom smislu te reči.

The Analytic Engine



Prvi pravi računar...

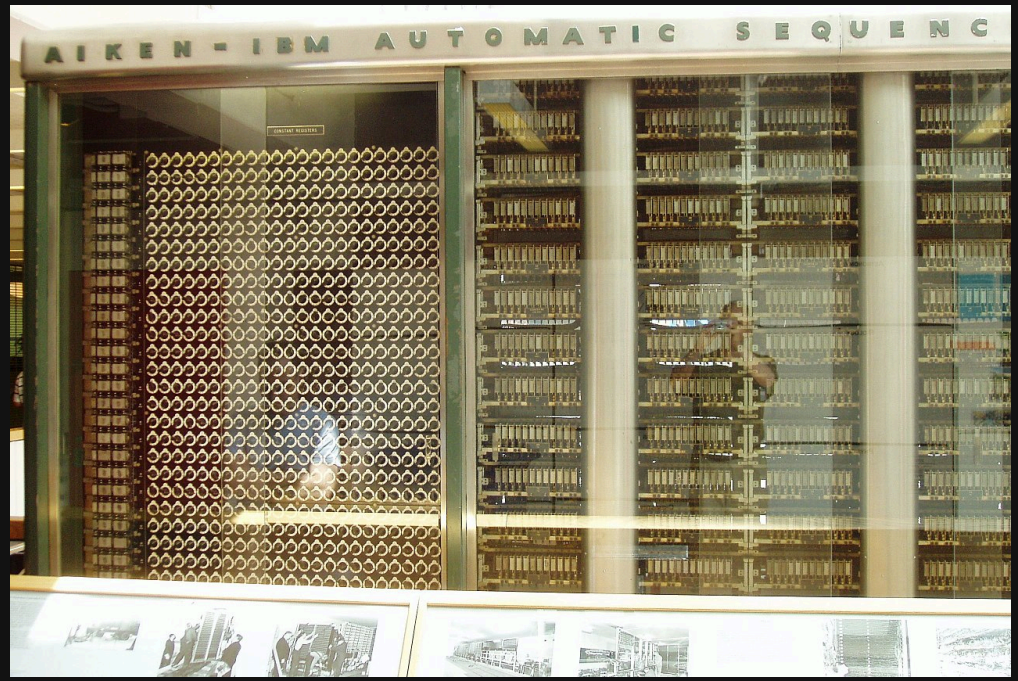
- ...ali samo na papiru.
- Memorija, programi, opšta namena...
- Ceo računarski sistem kakvim ga mi razumemo
- Nikad nije bio napravljen
- Moderne studije pokazuju da bi apslutno radio, samo što bi investicija bila neverovatna.

Da se uozbiljimo

- Šta je sa istorijom elektronskih super-računara?
- Tradicionalno ovo se deli u epohe gde svaku karakteriše dominacija određenih tehnologija.
- Te epohe su kao, npr. 'generacije' u koju se dele igračke konzole: konvencionalne i donekle ad hoc

Epoha 1 - Era elektromehanike

Epoha 1 - Era elektromehanike



Epoha 1 - Era elektromehanike

- Brzine od čak jedne instrukcije u sekundi!
- Bušene kartice za I/O
- Još nema programskih jezika kao takvih
- Čerč i Tjuring postavljaju teoretske osnove računara

Epoha 2 - Fon Nojmanova Arhitektura i Vakumske Cevi

- ENIAC
- EDSAC (1949)
- Colossus
- IBM 704 (Rana veštačka inteligencija)
- UNIVAC (1951)

Epoha 2 - Fon Nojmanova Arhitektura i Vakumske Cevi

- Vrhunske mašine ere postižu do 10 KIPS
- 4KB memorije
- U ranom dobu koriste se živina kola za memoriju
- Kasnije magnetna jezgra
  - Ovo je ostavilo traga do danas—ako vam je ikada pukao program u Linux-u i ostavio ’core dump,’ sada znate odakle ime.
- U ovom periodu:
  - Fon Nojman postavlja osnove moderne arhitekture računara.
  - Klod Šanon postavlja osnove informatike.

Epoha 3 — Paralelizam na nivou instrukcije i uspon tranzistora

- Era počinje sa TX-0 računarom i vodi preko DEC PDP-1 i IBM 7090 do vrhunca treće epohe
- CDC 6600 (1965)

Epoha 3 — Paralelizam na nivou instrukcije i uspon tranzistora

Epoha 3 — Paralelizam na nivou instrukcije i uspon tranzistora

- CDC6600 je imao
  - 1 MFLOPS!
  - 10 MHz takt!
  - 10 logičkih jedinica!
  - Prvi ILP!
  - Jedan od prvih uređaja koji se zvao „superkompjuter“

Epoha 4—Vektorski procesori i integrisana kola

- Računar koji je obeležio ovu epohu je legendarni Krej-1 (1976)
  - Sasvim moguće *najlepši* računar svih vremena
- Karakteriše ga izuzetno dugačak pipeline.
- Pošto je ovaj pristup doneo tolike dividende prošli put u ovoj epohi je odguran onoliko daleko koliko može da ide.

Cray-1

Epoha 4—Vektorski procesori i integrisana kola

- Krej-1 je mogao
  - 80 MHz!
  - 160 MFLOPS!
  - 8.39 MB memorije!
  - 303 MB diska!

Epoha 5 — SIMD i spor uspon mikroprocesora

- SIMD je jedna od fundamentalnih HPC arhitektura po Flinovoj taksonomiji (vidi kasnije)
- Podelimo podatke na blokove, a onda radimo istu stvar svakom bloku podataka.
- SIMD — Single Instruction Multiple Data
- Problem sa SIMD-om jeste što su algoritmi bili fantastični za neke stvari i potpuno beskorisni za sve ostalo.
- SIMD i dalje živi—postoji način na koji je svaki GPU u stvari široka SIMD implementacija.
- NEC SX-2
- Prvi računar da probije GFLOPS barijeru

Epoha 6 — Mnogo Procesora

- Touchstone Paragon (1994)
- IBM SP-2
- Thinking Machines Corporation CM-5 (1992)
- Prvi moderni superkompjuteri
- Prosleđivanje poruka i odvojena memorija, po prvi put.
- Takođe, prvi put se pojavio potrošački klaster (commodity cluster)
- UC Berkley NOW
- Beowulf
- PC + Linux + Ethernet + MPI = Supercomputing For Everyone

Epoha 7?

- Mi smo ovde.
- I dalje su dominantne tehnologije iz šeste epohe ali uz dodatak ekstremne heterogenosti.
- U jednom čvoru imamo i SIMD i shared-memory i message-passing.
- Moglo bi se reći da ovo predstavlja odrastanje HPCa.

Dalje?

- Ovo su predviđanja iz 2018. Kako su opstala?
- Masivne online mreže.
  - Ovo baš i nije pogodak
  - Latency masovno distribuiranih sistema je jako težak za kontrolu
- 3D čipovi i sintetički dijamant
  - Ovo još nije sa nama, ali istraživanja napreduju
- Neuroprocesori i domain specific arhitekture
  - Ne zovemo ih "neuroprocesori" nego GPU/NPU/TPU, ali ovo je 100% pogodak
- Kvantni računari
  - Kvantno računarstvo je stalno u vestima, ali nije još proizvelo opipljiv rezultat
  - Kvantno računarstvo je fuzija računarskih nauka: već godinama je samo godinu dana daleko

Kraj

Hvala na pažnji!

Powered by  Slidev