

Úvod

Hlavní využití počítačů

Počítače jsou výkonné nástroje využívané pro zpracování dat.
Provádějí:

- ▶ načtení a binární kódování dat
- ▶ provedení požadovaného výpočtu
- ▶ zobrazení výsledku

Hlavní využití počítačů

Počítače jsou výkonné nástroje využívané pro zpracování dat.
Provádějí:

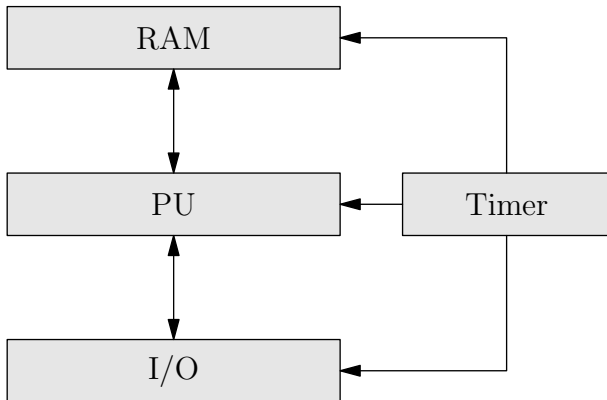
- ▶ načtení a binární kódování dat
- ▶ provedení požadovaného výpočtu
- ▶ zobrazení výsledku

Z toho plyne rozdělení většiny úloh na:

- ▶ ukládání dat - databáze
- ▶ výpočty - simulace
- ▶ vizualizace
 - ▶ uložených dat
 - ▶ vypočtených výsledků

Von Neumannova architektura

http://en.wikipedia.org/wiki/Von_Neumann_architecture



PU = processing unit, RAM = random-access memory,

I/O = vstupně/výstupní zařízení, Timer = časovač

Paměť obsahuje **instrukce** i data.

Původ výpočetně náročných úloh

- ▶ CFD - computational fluid dynamics, modely turbulencí, modely hoření
- ▶ modelování globálních změn počasí
- ▶ supravodivost, jaderné a termojaderné reakce
- ▶ biologie, zpracování genomů, tzv. protein folding
- ▶ medicína, zpracování medicínských dat
- ▶ správa velkých databází
- ▶ obslužení velkého počtu transakcí
- ▶ strojové učení - deep learning

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

- ▶ výpočet se skládá z posloupnosti základních instrukcí CPU
 - ▶ instrukce = provedení elementárního výpočtu nebo datového přenosu.
- ▶ mnoho instrukcí dokáže procesor provést během jednoho taktu časovače
- ▶ nejjednodušší odhad výkonu CPU lze odvodit z frekvence jeho časovače
 - ▶ $1\text{GHz} \Rightarrow 1\text{GFLOPS}$
 - ▶ FLOPS = FLoating-point Operations Per Second
- ▶ nejjednodušší způsobu zvýšení výkonu CPU je navýšení jeho taktu
- ▶ tím zkrátíme čas potřebný k provedení jedné instrukce

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

The Power Wall

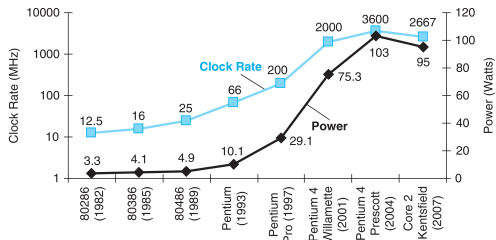


FIGURE 1.15 Clock rate and Power for Intel x86 microprocessors over eight generations and 25 years. The Pentium 4 made a dramatic jump in clock rate and power but less so in performance. The Prescott thermal problems led to the abandonment of the Pentium 4 line. The Core 2 line reverts to a simpler pipeline with lower clock rates and multiple processors per chip. Copyright © 2009 Elsevier, Inc. All rights reserved.



Tuesday, April 24, 12

12

Zdroj: Hennessy, Patterson, *Computer architecture: A quantitative approach*, Morgan Kaufmann, 2011.

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

History of Processor Performance

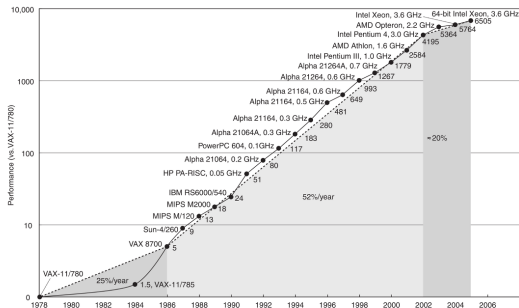


FIGURE 1.16 Growth in processor performance since the mid-1980s. This chart plots performance relative to the VAX 11/780 as measured by the SPECint benchmarks (see Section 1.8). Prior to the mid-1980s, processor performance growth was largely technology-driven and averaged about 25% per year. The increase in growth to about 52% since then is attributable to more advanced architectural and organizational ideas. By 2002, this growth led to a difference in performance of about a factor of seven. Performance for floating-point-oriented calculations has increased even faster. Since 2002, the limits of power, available instruction-level parallelism, and long memory latency have slowed uniprocessor performance recently, to about 20% per year. Copyright © 2009 Elsevier, Inc. All rights reserved.



Tuesday, April 24, 12

1

Zdroj: Hennessy, Patterson, *Computer architecture: A quantitative approach*, Morgan Kaufmann, 2011.

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

- ▶ vidíme, že energetická náročnost roste rychleji než frekvence ⇒ **power wall**
- ▶ většina energie se navíc přeměňuje na teplo, což zvyšuje nároky na chlazení
- ▶ kromě navyšování frekvence můžeme navýšit počet tranzistorů na čipu a tím:
 - ▶ získat důmyslnější logiku pro zpracování instrukcí
 - ▶ to se děje uvnitř CPU a není nutné modifikovat algoritmus
 - ▶ provádět více instrukcí současně, tj. paralelně

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

Problémy paralelního zpracování dat:

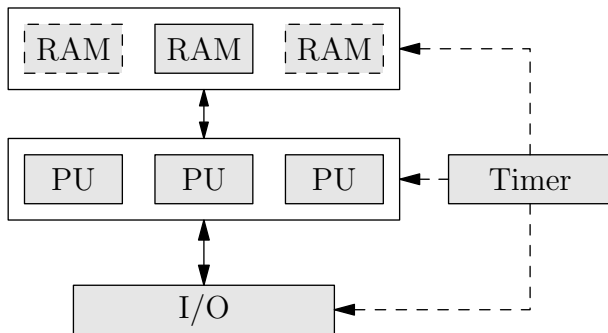
- ▶ ne každou úlohu lze řešit paralelně
- ▶ paralelizace je často efektivní jen pro velké úlohy
- ▶ vývoj paralelních programů bývá mnohem složitější

Přínosy paralelního zpracování dat:

- ▶ umožňuje provádět velké výpočty
- ▶ běžně velké úlohy lze provádět rychleji
- ▶ snižuje energetickou náročnost

Paralelní architektura

Definice: **Paralelní architektura je taková, která obsahuje více jednotek pro zpracování dat (PU).**



Kde se paralelní architektury vyskytují II.

Mobilní zařízení – telefony a tablety

- ▶ vícejádrové procesory
- ▶ GPU akcelerátory

Kde se paralelní architektury vyskytují I.

Domácí a kancelářské počítače

- ▶ běžné CPU - prakticky každé dnešní CPU je tzv. *implicitně paralelní*
- ▶ speciální rozšíření CPU - MMX, SSE, 3D Now
 - ▶ kodeky pro přehrávání hudby a filmů
 - ▶ zpracování fotografií apod.
- ▶ vícejádrové procesory - tzv. *symetrický multiprocessing*
 - ▶ umožňují skutečně současný běh více procesů (aplikací) najednou - to umožňuje rychlejší odezvu na podněty uživatele
- ▶ dual channel paměťové řadiče
 - ▶ urychlují přístup do paměti tím, že umožňují číst z více paměťových modulů současně
- ▶ technologie RAID
 - ▶ urychluje přenos dat mezi pamětí a pevným diskem tím, že se současně čte/zapisuje z/na více disků

Kde se paralelní architektury vyskytují III.

Pracovní stanice

- ▶ jsou jako běžná PC ale mají ...
 - ▶ více procesorů
 - ▶ rychlejší paměti
 - ▶ pokročilejší podporu tzv. *vektorizace*
 - ▶ často optimalizované pro vizualizace, např. pro OpenGL rozhraní
- ▶ jde například o stanice HP postavené na kombinaci HP-UX + PARISC
- ▶ počítače vybavené procesory Xeon

Kde se paralelní architektury vyskytují IV.

Mainframe

- ▶ systémy mainframe silně využívají paralelizace, podporují (z13, 2015) ...
 - ▶ až 168 jader, 10 TB RAIM (288 GB/s)
 - ▶ zvláštní I/O řadič pro každý z 1024 I/O portů
 - ▶ hardwarovou podporu pro šifrování
 - ▶ tzv. *Parallel Sysplex* tj. *cluster* mainframů
- ▶ to umožňuje ...
 - ▶ vysokou úroveň zabezpečení uložených dat
 - ▶ prakticky nepřetržitou dostupnost systému
 - ▶ vysokou datovou propustnost, ta je nutná pro úspěšné zpracování velkého počtu transakcí současně
 - ▶ plynulý běh tisíců operačních systémů současně, tzv. *virtualizace*

Kde se paralelní architektury vyskytují V.

Superpočítače

- ▶ narozdíl od mainframe je cílem soustředit maximální výpočetní výkon do jedné aplikace
- ▶ podle www.top500.org
- ▶ Tainhe-2 (Milkyway-2)
 - ▶ 32,000x Intel Xeon E5-2692 12 jader (=384,000 jader)
 - ▶ 48,000x Intel Xeon Phi 31S1P 57 jader (=2,736,000 jader)
 - ▶ výkon 33.86 PFLOPS
 - ▶ 1.37 TB RAM
 - ▶ příkon 17.6 MW + 6.4 MW chlazení
 - ▶ propojení pomocí TH Express-2 (20 GB/s, 1 μ s latence)
- ▶ BlueWaters – Cray
 - ▶ 22,640 Cray XE6 – AMD Opteron, 16 jader, 32/64 GB RAM
 - ▶ 4,224 Cray XK7 – AMD Opteron, 16 jader, Nvidia Tesla K20, 16/32 GB RAM
 - ▶ 1.5 PB RAM
 - ▶ Gemini Interconnect – 160 GB/s
 - ▶ <https://bluewaters.ncsa.illinois.edu/>
- ▶ Mira – IBM BlueGene/Q
 - ▶ 786.432 jader
 - ▶ PowerPC A2 – 16 jader, 4 cestný multithreading \Rightarrow 64 vláken na CPU
 - ▶ 768 TB RAM
 - ▶ příkon 4 MW
- ▶ cena na 1 jadro/hodinu \approx \$0.05 (Titan - Cray)

▶ <http://www.anandtech.com/show/6421/>

inside-the-titan-supercomputer-299k-amd-x86-cores-and-186k-nvidia-gpu-cores

Kde se paralelní architektury vyskytují V.

Grid

- ▶ velké množství počítačů spojených do jedné sítě
- ▶ spojení je mnohem volnějš, než u clusterů (superpočítače)
- ▶ uzly nemusí používat stejný operační systém
- ▶ uzly se mohou libovolně připojovat a zase odpojovat
- ▶ výkon je mnohem vyšší než u nejvýkonějších superpočítačů
- ▶ grid je téměř nepoužitelný na numerické simulace
- ▶ aplikace:
 - ▶ Folding@home - <http://folding.stanford.edu/>
 - ▶ 2008 – 4.28 PFLOPS
 - ▶ 2014 – 47 EFLOPS
 - ▶ GIMPS - <http://www.mersenne.org/>
 - ▶ SETI@home - <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

Shrnutí

- ▶ v tomto předmětu se budeme kromě paralelizace zabývat i optimalizováním kódu
- ▶ obecně se tak mluví o HPC = **High performance computing**
- ▶ to nám umožní
 - ▶ provádět větší výpočty
 - ▶ dosáhnout plynulejšího běhu aplikací
 - ▶ šetřit spotřebu energie jak mobilních zařízení, tak i velkých systémů
- ▶ to vše je v současnosti velice důležité
- ▶ díky rychlému růstu výkonu v letech 1986–2002 je mnoho PC aplikací (narozdíl např. od mainframe) napsáno neoptimálně