Paralelní algoritmy a architektury - úvod

Tomáš Oberhuber
tomas.oberhuber@fjfi.cvut.cz

25. února 2024

Video na Youtube

Hlavní využití počítačů

Počítače jsou výkonné nástroje využívané pro zpracování dat.
Provádějí:

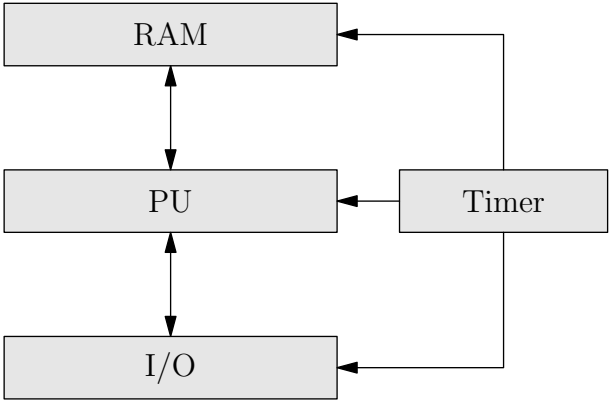
- načtení a binární kódování dat
- provedení požadovaného výpočtu
- zobrazení výsledku

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-acces 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
- obsloužení 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
  - $1GHz \Rightarrow 1GFLOPS$
  - 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

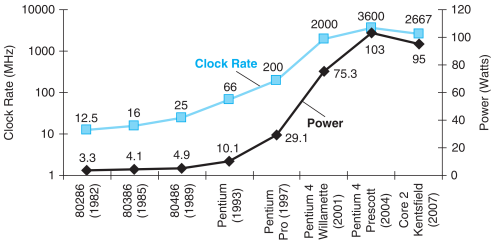


FIGURE 1.15 Clock rate and Power for Intel x86 microprocessors over eight generations and 25 years. The Pentium 4 made a dramatic jump in clock rate and power but less so in performance. The Prescott thermal problems led to the abandonment of the Pentium 4 line. The Core 2 line reverts to a simpler pipeline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

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

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

History of Processor Performance

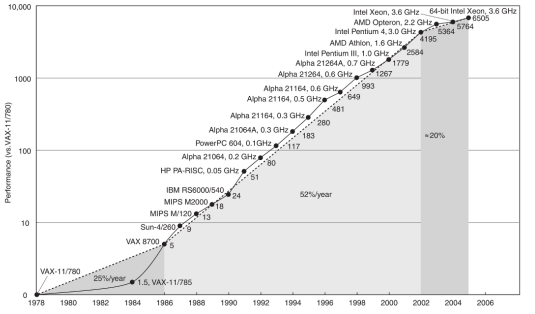


FIGURE 1.16 Growth in processor performance since the mid-1980s. This chart plots performance relative to the VAX 11/780 as measured by the SPECint benchmarks (see Section 1.8). Prior to the mid-1980s, processor performance growth was largely technology-driven and averaged about 25% per year. The increase 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.

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

Možnosti urychlení/provedení náročných výpočtů

- vidíme, že energetická náročnost roste rychleji než frekvence $\Rightarrow$ **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:

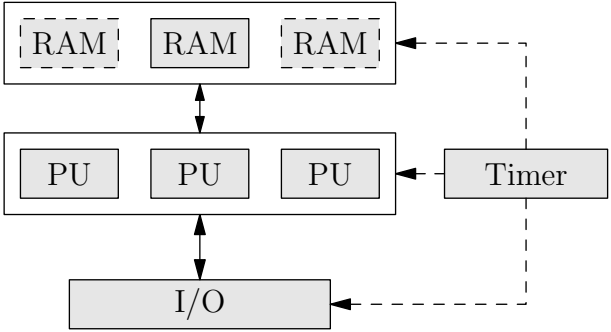
- ne každou úlohu lze řešit paralelně
- paralelizace je často efektivní jen pro velké úlohy
- vývoj paralelních programů bývá mnohem složitější

Přínosy paralelního zpracování dat:

- umožňuje provádět větší výpočty...
- ... nebo výpočty provádět v kratším čase
- snižuje energetickou náročnost

Paralelní architektura

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



Kde se paralelní architektury vyskytují

Mobilní zařízení – telefony a tablety

- vícejádrové procesory
- GPU akcelerátory

Kde se paralelní architektury vyskytují

Domácí, kancelářské počítače, pracovní stanice

- 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 multiprocesing*
  - 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

Mainframe

- systémy mainframe silně využívají paralelizace, podporují (z16, 2022) ...
  - založen na procesorech Telum
  - až 32 CPU po 8 jádrech = 256 jader na více než 5 GHz
  - každé jádro má 32 MB L2 cache
  - L2 cache je sdílená mezi všemi jádry, tj. virtuální L3 cache
  - ta je sdílená mezi všemi procesory, tj. virtuální L4 cache
  - obsahuje akceleraci pro inferenci neuronových sítí
  - 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 systému 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
- Frontier (USA, Oak Ridge National Laboratory)
  - jde o první exascale superpočítač - 1.106 exaFLOPS
  - 9,472 CPU AMD Epyc s 64 jádry = 606,208 jader
  - 37,888 GPU Radeon Instinct MI250X s 14,800 jádry = 560,742,400 GPU jader
  - příkon je 21 MW
- LUMI (EU, CSC Finsko)
  - 5,664 CPU AMD EPYC s 64 jádry = 362,496 CPU jader
  - 10,240 GPU Radeon Instinct MI250X s 14,800 jádry = 151,552,000 GPU jader
  - příkon 8.5 MW
- cena na 1 CPU/hodinu $\approx$ \$1 (Titan - Cray)
  - Inside the Titan supercomputer

Kde se paralelní architektury vyskytují V.

Grid

- velké množství počítačů spojených do jedné sítě
- spojení je mnohem volnější, 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