Měření výkonnosti počítačů

INP 2019

FIT VUT v Brně

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Amdahlův zákon o urychlení výpočtu

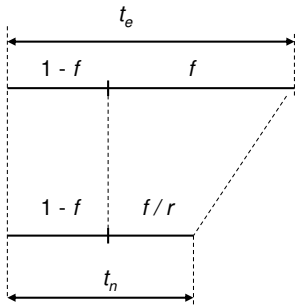
- Amdahlův zákon udává urychlení výpočtu zavedením rychlejšího zpracování jisté části úlohy. Předpokládáme, že zbylou část úlohy nelze urychlit.
- Část úlohy, kterou lze zrychlit *r*-krát, označíme *f*, *f* < 1. Zbylou část označíme 1- *f*.
- Doby provedení výpočtu před a po zavedení urychlení si označíme jako t_s a t_n.

$$t_n = t_e((1-f)+\frac{f}{r})$$

Celkové urychlení v_r je rovno

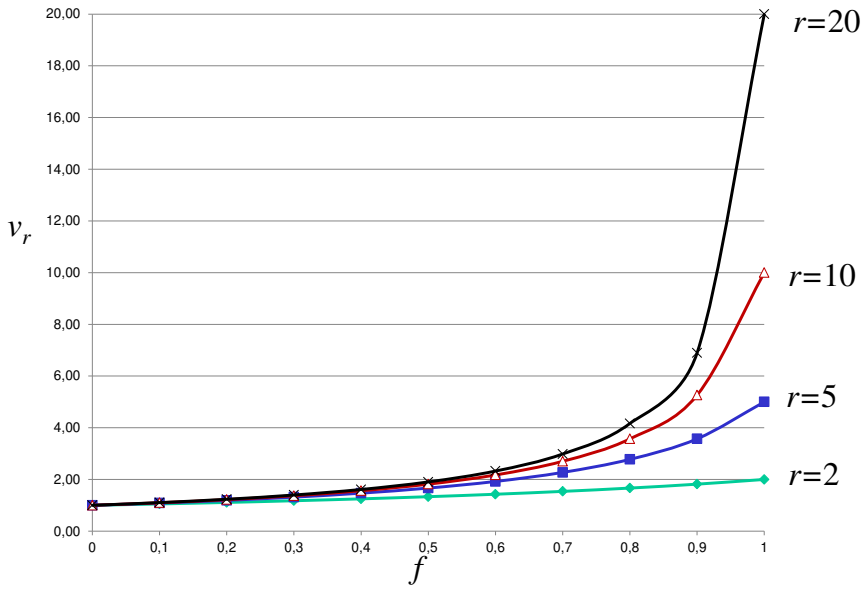
$$v_r = \frac{t_e}{t_n}$$

$$v_r = \frac{1}{(1-f)+\frac{f}{r}}$$



Zrychlení jako funkce *f*, r = konst.

Př. Jakého urychlení dosáhneme, pokud vložíme do počítače RVP, která je r-krát rychlejší než hlavní paměť a je využita v f% případů?



Definice výkonnosti počítače

- Výkonnost počítače se posuzuje několika způsoby, nejčastěji jako:
  - doba (provedení) výpočtu t_e (execution time).
  - propustnost systému P_e - počet transakcí, které je systém schopen uskutečnit za časovou jednotku.
- Absolutní měření výkonnosti je velmi problematické.
- Schůdnější je hodnotit výkonnost relativně, tj. vzhledem k referenčnímu počítači, jako např. PC XT 4,7 MHz, nebo VAX-11/780.
- Je-li výkonnější počítač označen *X* a méně výkonný *Y*, lze pro poměr jejich výkonností (propustností) P_e a dob výpočtu t_e, které byly získány pro nějaký program H, psát

$$\frac{P_{eX}}{P_{eY}} = \frac{t_{eY}}{t_{eX}} = n$$

a říkáme "počítač *X* je *n* krát výkonnější než počítač *Y*".

Počítač *X* je o *k* % výkonnější než *Y*, pokud platí:

$$(\frac{t_{eY}}{t_{eX}} -1)*100 = k$$

Měření výkonnosti

- Převážná část počítačů je zkonstruovaná s využitím konstantního hodinového kmitočtu f_C (doba cyklu $T_C = 1/f_C$).
- Doba výpočtu:
  t_e = Počet hodinových cyklů během programu * T_C (1)
- Můžeme spočítat počet provedených instrukcí programu Počet I a určit důležitý parametr procesoru - počet cyklů na provedení jedné instrukce CPI - Cycles Per Instruction.
- CPI = Počet hodinových cyklů během programu / Počet I (2)
  Počet hod. cyklů během programu = CPI * Počet I (3)
- Po dosazení (3) do rovnice (1) dostaneme
  t_e = Počet I * CPI * T_C (4)
- Počet Instrukcí v programu je dán řešenou úlohou a je ovlivněn architekturou instrukčního souboru (Instruction Set Architecture - ISA) a technologií kompilátoru. Parametr CPI je dán architekturou ISA, a T_C je dána použitou obvodovou technologií a organizací obvodů počítače.

Měření výkonnosti v jednotkách MIPS

- Alternativou k době provedení je počet milionů instrukcí provedených za sekundu, udávaný v jednotkách MIPS.
  P_{MIPS} = Počet I / (t_e * 10^6) = f_C / (CPI * 10^6) (5)
- Pozn.: Poslední výraz byl získán pomocí vztahu
  t_e = (Počet I * CPI) / f_C (6)
- Poznámky:
  - Výhodou této definice je její jednoduchost, ale její použití pro srovnávání výkonnosti počítačů nese některé problémy.
  - Např. P_{MIPS} je závislý na instrukčním souboru, takže je problematické srovnávat počítače s různými instrukčními soubory.
    - Př. Na počítači RISC i CISC trvá výpočet stejného problému 1 ms. CISC potřebuje 20 instrukcí, RISC potřebuje 60 instrukcí. Je opravdu RISC 3krát výkonnější??? Ne!
  - MIPS se hodí např. pro srovnání různých generací procesorů jednoho výrobce.

Měření výkonnosti v jednotkách MIPS

- Řešením by mohlo být definovat výkonnost relativně vzhledem k referenčnímu počítači, a pracovat s relativním P_{MIPS}.
- Relativní P_{MIPS} = ($t_{e\ ref.\ počítače}$ * $P_{MIPS\ ref.\ počítače}$) / $t_{e\ měř.\ počítače}$
- Dále je vhodné definovat sadu úloh pro výpočet – např. Dhrystone
- $P_{MIPS\ ref.\ počítače}$ je dohodnuté číslo. Např. počítače VAX - 11/780 bývá označen za "1 MIPS" stroj. Výkonnost v MIPS dalších procesorů je např. zde: http://en.wikipedia.org/wiki/Instructions_per_second

Měření v jednotkách MFLOPS

- Pro počítače s jednotkou pro práci s čísly v pohyblivé řádové čárce (FP) se udává výkonnost v počtu operací s pohyblivou řádovou čárkou (FLOPS).
  P_{MFLOPS} = Počet FP operací / (t_e * 10^6)
- Problém je, že instrukční soubory FP nejsou u všech počítačů stejné.
- Složitost FP operací je různá. Operace sčítání je značně rychlejší než operace dělení. Pro program se 100% operací sčítání pak bude zjištěna vyšší výkonnost než pro program se 100% operací dělení.
- Aby parametr P_{MFLOPS} tyto rozdíly správně zachytil, byly definovány kanonické počty FP operací ve zkušebním programu. Každá operace FP se pak ohodnotí vahou, která representuje její složitost, a dostaneme parametr normalizovaný P_{MFLOPS} .
- Váhy FP operací podle Livermore Loops
  - ADD, SUB, CMP, MPY 1
  - DIV, SQRT 4
  - EXP, SIN 8

Programy pro hodnocení výkonnosti

- Pro měření se používají
  - reálné programy,
  - jádra (kernels) - nejvýznamnější části skutečných programů,
  - demonstrační zkušební úlohy (např. Quicksort), a
  - syntetické zkušební úlohy - mají obdobnou filosofii jako jádra, snaží se vystihnout průměrné frekvence operací a dat na rozsáhlých množinách programů.
- V minulosti bylo nejrozšířenější použití benchmarků, jako Whetstone benchmark s převahou operací v pohyblivé řádové čárce a Dhrystone benchmark s převahou operací v pevné řádové čárce.
- Dnes se nejvíce používají
  - SPEC – System Performance Evaluation Cooperative
  - TPC – Transaction Processing Performance Council

SPEC (od 1988)

- Obsahuje sadu reálných úloh SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation): SPEC89, SPEC92, SPEC95, SPEC2000 … SPEC2017.
- Skupiny měřicích programů se neustále mění tak, aby se objektivizovalo měření a pokrývaly se moderní aplikace, např.
  - SPECint (CINT2006) pro operace s pevnou řádovou čárkou (12 programů).
  - SPECfp (CFP2006) pro operace s pohyblivou řádovou čárkou.
- Pro každou úlohu se zjistí relativní doba výpočtu (vzhledem k referenčnímu počítači). Ve skupinách int a fp se pak odděleně vypočte tzv. geometrický průměr, což je *n*-tá odmocnina ze součinu *n* relativních dob provedení. Výsledkem jsou dva výkonové parametry SPECint a SPECfp.

SPECint 2006

Benchmark	Language	Category
400.perlbench	C	Programming Language
401.bzip2	C	Compression
403.gcc	C	C Compiler
429.mcf	C	Combinatorial Optimization
445.gobmk	C	Artificial Intelligence
456.hmmer	C	Search Gene Sequence
458.sjeng	C	Artificial Intelligence
462.libquantum	C	Physics / Quantum Computing
464.h264ref	C	Video Compression
471.omnetpp	C++	Discrete Event Simulation
473.astar	C++	Path-finding Algorithms
483.xalancbmk	C++	XML Processing

$$SPEC\ \text{int}\ 2006 = \sqrt[12]{\prod_{i=1}^{12} tr_i} \qquad tr_i = \frac{t_{ref_i}}{t_{hod_i}}$$

t_{ref} – doba výpočtu referenčního počítače

t_{hod} – doba výpočtu hodnoceného počítače

Měření výkonnosti se provádí odděleně pro programy s operacemi FX a FP.

Sada testovacích úloh SPEC CPU2006

http://www.spec.org/cpu2006/results/

SPECINT 2006 (12 benchmarků)

Benchmark	Language	Application Area
400.perlbench	C	Programming Language
401.bzip2	C	Compression
403.gcc	C	C Compiler
429.mcf	C	Combinatorial Optimization
445.gobmk	C	Artificial Intelligence: Go
456.hmmer	C	Search Gene Sequence
458.sjeng	C	Artificial Intelligence: chess
462.libquantum	C	Physics / Quantum Computing
464.h264ref	C	Video Compression
471.omnetpp	C++	Discrete Event Simulation
473.astar	C++	Path-finding Algorithms
483.xalancbmk	C++	XML Processing

SPECFP 2006 (17 benchmarků)

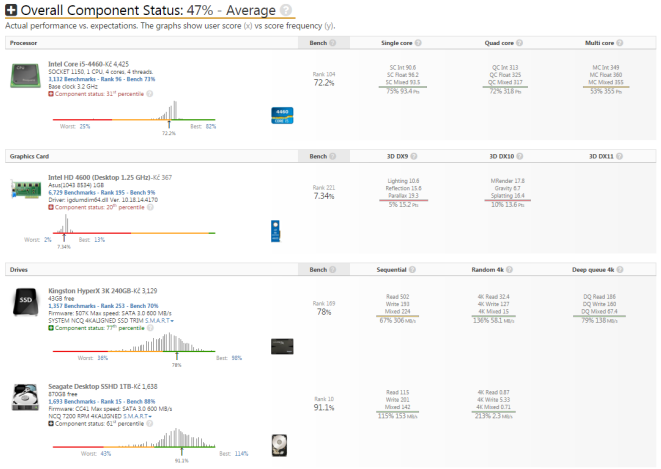
Benchmark	Language	Application Area
410.bwaves	Fortran	Fluid Dynamics
416.gamess	Fortran	Quantum Chemistry.
433.milc	C	Physics / Quantum Chromodynamics
434.zeusmp	Fortran	Physics / CFD
435.gromacs	C, Fortran	Biochemistry / Molecular Dynamics
436.cactusADM	C, Fortran	Physics / General Relativity
437.leslie3d	Fortran	Fluid Dynamics
444.namd	C++	Biology / Molecular Dynamics
447.dealII	C++	Finite Element Analysis
450.soplex	C++	Linear Programming, Optimization
453.povray	C++	Image Ray-tracing
454.calculix	C, Fortran	Structural Mechanics
459.GemsFDTD	Fortran	Computational Electromagnetics
465.Tonto	Fortran	Quantum Chemistry
470.lbm	C	Fluid Dynamics
481.wrf	C, Fortran	Weather
482.sphinx3	C	Speech recognition

$$\text{SPEC}_{\text{int}2006} = \sqrt[12]{\prod_{i=1}^{12} t_{rel\,i}} \qquad t_{rel_i} = \frac{t_{ref_i}}{t_{act_i}}$$

$$\text{SPEC}_{\text{fp}2006} = \sqrt[17]{\prod_{i=1}^{17} t_{rel\,i}} \qquad t_{rel_i} = \frac{t_{ref_i}}{t_{act_i}}$$

Detailní výsledky testů CPU, komponent atd. jsou na webu

https://www.cpubenchmark.net/
http://www.userbenchmark.com



Shrnutí

- Výkonnost závisí na optimalizaci CPU (program, kompilátor, ISA a HW), paměťového subsystému a I/O subsystému.
- Principy zrychlování popisuje Amdahlův zákon.
- Neexistuje jediná univerzální metrika pro hodnocení výkonnosti.
- Nejobjektivnější je použít sadu benchmarků
  - Problém aritmetický vs. geometrický průměr při sumarizaci výsledků
    - aritmetický průměr – výsledek závisí na volbě referenčního počítače; zkresluje, pokud jsou naměřená data velmi variabilní.
    - geometrický průměr - není lineární (např. 2x vyšší geometrický průměr neznamená 2x vyšší kvalitu).