



IA039: Architektura superpočítačů a náročné výpočty

Profiling and Benchmarking

Luděk Matyska

Jaro 2020



Měření času výpočtu

- Optimalizace není možná bez znalosti, co optimalizovat
- Potřebujeme znát údaje o běhu programu
 - Čas výpočtu celého programu: příkaz **time**
 - Čas výpočtu částí programů: profilování
 - Srovnání systémů: benchmarking

Příkaz time

- User time
 - Čas procesoru strávený uživatelskými procesy
- System time
 - Čas procesoru strávený obsluhou funkcí jádra
- Elapsed time
 - Celkový čas výpočtu

CPU time = user time + system time

Příkaz `time` – další údaje

- Dostupné pro **time** v prostředí C shellu
- Sdílený paměťový prostor
- Privátní (unshared) paměťový prostor
- Počet block input operací
- Počet block output operací
- Počet page faultů
- Počet swapů

Profilování

- Snaha získat informace o částech programu
- Důraz na dynamické chování
 - statická analýza je součástí softwarového inženýrství
- Profilování ukazuje výsledek interakce mezi programem a výpočetním systémem, na kterém běží
 - Doba strávená v jednotlivých blocích
 - Doba strávená jednotlivými příkazy
 - Počet opakování bloků/příkazů
- Primární pozornost zaměřena na procedury
- Profil: graf
 - Osa X: jednotlivé procedury
 - Osa Y: Doba výpočtu

Základní principy

- Používá **softwarové nástroje** pro sběr dat nezbytných na konstrukci profilu
- Zpravidla podpora ze strany operačního systému
 - přístup k informacím, které má k dispozici pouze kernel
- Příklady běžných nástrojů pro profilování
 - gprof, oprofile, valgrind, pin
- Profile je sbírán při běhu programu – **dynamický profil**
- Analýza profilových dat se nazývá **Performance Engineering**

Typy sbíraných dat

- **Graf volání** (call graph) na úrovni procedur a funkcí
- **Graf volání** na úrovni základních bloků
- **Výkon paměti**
- **Události** související s architekturou, např. chybné předpovědi skoků, výjimky, výkon vyrovnávací paměti (hit/miss), ...
- Hodnoty **výkonnostních čítačů** (performance counters)

Typy profilů

- Ostrý profil
 - Píky odpovídají dominujícím blokům
 - Numerické aplikace, technické výpočty s maticemi atd.
 - „Snadno“ optimalizovatelné
- Plochý profil
 - Program tráví čas rovnoměrně ve všech procedurách
 - Zpravidla databáze, informační systémy, systémové programy
 - Obtížně optimalizovatelné
- Amdahlovo pravidlo platí i zde

Proflery

- Nástroje pro tvorbu profilů
 - Samozřejmě možné i „ručně“
- Procedurově orientované
 - **gprof**
- Blokově (řádkově) orientované
 - **pixie**
 - **tcov**
 - **lprof**

Použití profilerů

- Dvě fáze:
 - Instrumentovaný běh programu (s nebo bez opětného překladu)
 - Vlastní zpráva o výsledcích (report)
- Přístup ke zdrojovému kódu
 - Znalost struktury programu

Procedurově orientované profily

- Typický představitel: **gprof**
- Instrumentace
 - Nový překlad programu
 - Zpravidla dostupný přes přepínač překladače **-pg**
- Výpočet
 - Instrumentovaný program vytváří záznam o výpočtu
 - Soubor **gmon.out**
- Vytvoření zprávy
 - Vlastní běh programu **gprof**

Typy profilů

SpeedShop jako příklad

- usertime – uživatelský čas
- [f]pcsamp[x] – vzorkování
- ideal (pixie) – blokový profiler
- fpe – pohyblivá řádová čárka
- prof_hwc – hardwarové čítače
 - f gi_hwc, [f]cy_hwc, [f]ic_hwc, [f]isc_hwc, [f]dc_hwc, [f]dsc_hwc,
[f]tlb_hwc, [f]gfp_hwc
- Framework PAPI

Přesnost měření

- Měření času
 - Absolutní čas vstupu a výstupu procedury
 - Vnořené procedury
 - Krátké procedury
 - Sběr hodnoty čítače instrukcí v pravidelných intervalech
 - Přesnost výsledku závislá na vzorkování (sampling interval)

Blokově orientované profily

- Poskytují informace o průchodech základními bloky
- Počet průchodů každým příkazem (řádkem)
- Počet cyklů procesorů strávený v každém příkazu

Příklad

```

1: static void foo(), bar(), baz();
2:
3: main()
4: { int l;
5:   for (l=0; l <1000; l++)
6:     { if ( l == 2*(l/2) )
7:       foo();
8:       bar();
9:       baz();
10:    }
11: }
12:
13: void foo()
14: { int j;;
15:   for (j=0; j<200; j++);
16: }
17: void bar()
18: { int j;
19:   for (j=0; j<200; j++);
20: }
21: void baz()
22: { int j;
23:   for (j=0; j<300; j++);
24: }

```

Ustertime

ustertime:

index	%Samples	self	descendents	total	name
[1]	100.0%	0.00	0.03	1	main
[2]	100.0%	0.03	0.00	1	bar

Vzorkování

```
pcsamp:
samples      time(%)      cum time(%)  procedure

      2      0.02s( 50.0)    0.02s( 50.0) foo
      1      0.01s( 25.0)    0.03s( 75.0) bar
      1      0.01s( 25.0)    0.04s(100.0) baz
```

```
fpcsamp:
samples      time(%)      cum time(%)  procedure

     18      0.02s( 41.9)    0.02s( 41.9) baz
     12      0.01s( 27.9)    0.03s( 69.8) bar
     12      0.01s( 27.9)    0.04s( 97.7) foo
```

Blokový přístup

ideal :

cycles(%)	cum %	secs	instrns	alls	procedure
3918000(49.63)	49.63	0.03	2111000	1000	baz
2618000(33.16)	82.80	0.02	1411000	1000	bar
1309000(16.58)	99.38	0.01	705500	500	foo
47024(0.60)	99.98	0.00	25017	1	main

Blokový přístup II

ideal -h:

	cycles(%)	cum %	times	line	procedure
	3907858(49.50%)	49.50%	300000	23	baz
	2607858(33.04%)	82.54%	200000	19	bar
	1303930(16.52%)	99.06%	100000	15	foo
	14000(0.18%)	99.24%	1000	6	main
	13009(0.16%)	99.40%	1000	5	main
	8000(0.10%)	99.50%	1000	9	main
	8000(0.10%)	99.60%	1000	8	main
	7000(0.09%)	99.69%	1000	24	baz
	7000(0.09%)	99.78%	1000	20	bar
	4000(0.05%)	99.83%	500	7	main
	3500(0.04%)	99.88%	500	16	foo
	3142(0.04%)	99.92%	1000	18	bar
	3142(0.04%)	99.96%	1000	22	baz
	1570(0.02%)	99.98%	500	14	foo

Blokové (tcov)

tcov:

```
1 -> for (l=0; l <1000; l++)
1000 -> { if ( l == 2*(l/2) )
500 ->     foo();
1000 ->     bar();
        baz();

        void foo()
500 ->     for (j=0; j<200; j++);

        void bar()
1000 ->     for (j=0; j<200; j++);

        void baz()
1000 ->     for (j=0; j<300; j++);
```

Blokové – pokračování

Top 10 Blocks

Line	Count
6	1000
8	1000
19	1000
23	1000
7	500
15	500
5	1

7 Basic blocks in this file

7 Basic blocks executed

100.00 Percent of the file executed

5001 Total basic block executions

714.43 Average executions per basic block



Profiling

viz též [http://www.site.uottawa.ca/~mbolic/elg6158/
Subbasis_profiling.pdf](http://www.site.uottawa.ca/~mbolic/elg6158/Subbasis_profiling.pdf)

Zjišťování výkonu – benchmarking

- Snaha o porovnání *systemů*
 - Hardware i software společně
- Neexistuje žádné „zázračné“ řešení
- Základní přístupy
 - Průmyslové („profesionální“) benchmarky
 - Porovnatelnost, nezávislost na výrobcích
 - „Privátní“ benchmarky
 - Konkrétní (specifické) požadavky

Mysteriózní MIPS a MFLOPS

- Srovnání na základě počtu instrukcí vykonaných za sekundu
- MIPS – milion celočíselných instrukcí za sekundu
- MFLOPS – milion operací s pohyblivou řádovou čárkou za sekundu
- Problémy
 - Jaké instrukce?
 - V jaké posloupnosti?
- Umělé, nevyovídající

Celočíslené benchmarky

- VAX MIPS
- Dhrystones

Benchmarks s pohyblivou řádovou čárkou

- Whetstone (umělý mix, skalární)
- Linpack (daxpy, vektorizace)
 - 100*100
 - 1000*1000

SPEC benchmarks

- Nezávislá organizace
 - Standard Performance Evaluation Corporation
- Standardizované benchmarky pro různé architektury
- Vychází z tzv. *kernel kódů*
 - Celý nebo část existujícího programu
 - Dostupné ve zdrojovém kódu
 - Je možno „doladit“

SPEC skupiny

- Open Systems Group (OSG)
- High Performance Group (HPG)
- Graphics Performance Characterization Group (GPC)

SPEC OSG podskupiny

- SPEC CPU
- Grafika
 - SPECviewperf 13, SPECapc for 3ds Max 2015, ...
- JAVA
 - SPECjAppServer 2004, SPECjbb 2015, SPECjvm 2008, Java client a server benchmarky
- MAIL
 - SPECmail 2009 (already retired)
- SFS
 - Systémy souborů (SPEC SFS 2014)
- SPEC Virt_SC 2013

CPU2006

- Dělení
 - CINT2006 – celočíselné výpočty
 - CFP2006 – výpočty s pohyblivou řádovou čárkou

CINT2000

■ Jednotlivé součásti

164.gzip	Compression
175.vpr	FPGA Circuit Placement and Routing
176.gcc	C Programming Language Compiler
181.mcf	Combinatorial Optimization
186.crafty	Game Playing: Chess
197.parser	Word Processing
252.eon	Computer Visualization
253.perlbnk	PERL Programming Language
254.gap	Group Theory, Interpreter
255.vortex	Object-oriented Database
256.bzip2	Compression
300.twolf	Place and Route Simulator

CINT2006

■ Jednotlivé součásti

400.perlbench	C	PERL 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

CFP2000

■ Jednotlivé součásti

168.wupwise	Physics / Quantum Chromodynamics
171.swim	Shallow Water Modeling
172.mgrid	Multi-grid Solver: 3D Potential Field
173.applu	Parabolic / Elliptic Partial Differential Equations
177.mesa	3-D Graphics Library
178.galgel	Computational Fluid Dynamics
179.art	Image Recognition / Neural Networks
183.earthquake	Seismic Wave Propagation Simulation
187.facerec	Image Processing: Face Recognition
188.ammp	Computational Chemistry
189.lucas	Number Theory / Primality Testing
191.fma3d	Finite-element Crash Simulation
200.sixtrack	High Energy Nuclear Physics Accelerator Design
301.apsi	Meteorology: Pollutant Distribution

CFP2006

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
450ZZ.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 Prediction
482.sphinx3	C	Speech recognition

SPEC CPU2017

- Aktuální CPU benchmark
- 4 součásti

intspeed SPECspeed 2017 Integer: 10 integer benchmarks

fpspeed SPECspeed 2017 Floating Point: 10 integer benchmarks

Vždy právě jedna kopie každého benchmarku

OpenMP může být použito

Měří se čas výpočtu

intrate SPECrate 2017 Integer: 10 integer benchmarks

frprate SPECrate 2017 Floating Point: 10 integer benchmarks

Vždy více kopií každého benchmarku (nastavitelné při spuštění)

OpenMP je zakázáno

Měří se propustnost (kolik úloh za jednotku času)

SPECspeed 2017 Integer

500.perlbench_r	C	Perl interpreter
502.gcc_r	C	GNU C compiler
505.mcf_r	C	Route planning
520.omnetpp_r	C++	Discrete event simulation
523.xalancmbk_r	C++	XML to HTML conversion
525.x264_r	C	Video compression
531.deepsjeng_r	C++	AI: $\alpha - \beta$ search (Chess)
541.leela_r	C++	AI: Monte Carlo search (Go)
548.exchange2_r	Fortran	AI: recursive solution generator (Sudoku)
557.xz_r	C	General data compression

SPECrate 2017 Integer

600.perlbench_s	C	Perl interpreter
602.gcc_s	C	GNU C compiler
605.mcf_s	C	Route planning
620.omnetpp_s	C++	Discrete event simulation
623.xalancmbk_s	C++	XML to HTML conversion
625.x264_s	C	Video compression
631.deepsjeng_s	C++	AI: $\alpha - \beta$ search (Chess)
641.leela_s	C++	AI: Monte Carlo search (Go)
648.exchange2_s	Fortran	AI: recursive solution generator (Sudoku)
657.xz_s	C	General data compression

SPECspeed 2017 Floating Point

503.bwaves_r	Fortran	Explosion modelling
507.cactuBSSN_r	C++,C,Fortran	Physics: relativity
508.namd_r	C++	Molecular dynamics
510.parest_r	C++	Biomedical imaging
511.povray_r	C++,C	Ray tracing
519.lbm_r	C	Fluid dynamics
521.wrf_r	Fortran,C	Weather forecasting
526.blender_r	C++,C	3D rendering and animation
527.cam4_r	Fortran,C	Atmosphere modeling
538.imagick_r	C	Image manipulation
544.nab_r	C	Molecular dynamics
549.fotonik3d_r	Fortran	Computational Electromagnetics
554.roms_r	Fortran	Regional ocean modeling

SPECrate 2017 Floating Point

603.bwaves_s	Fortran	Explosion modelling
607.cactuBSSN_s	C++,C,Fortran	Physics: relativity
619.lbm_s	C	Fluid dynamics
621.wrf_s	Fortran,C	Weather forecasting
627.cam4_s	Fortran,C	Atmosphere modeling
628.pop2_s	Fortran,C	Wide-scale ocean modeling
638.imagick_s	C	Image manipulation
644.nab_s	C	Molecular dynamics
649.fotonik3d_s	Fortran	Computational Electromagnetics
654.roms_s	Fortran	Regional ocean modeling

Transakční benchmarky

- Výkon databází
 - TPC-A
 - Testuje interakci s ATM (6 požadavků za minutu)
 - 1 TPS znamená, že 10 ATM současně vydá požadavek a výsledek dostane do 2 s (s 90 % účinností)
 - TPC-B
 - Jako TPC-A, ale testuje se přímo, ne přes (pomalou) síť
 - TPC-C
 - Komplexní, transakce jsou objednávky, platby, dotazy s jistým procentem záměrných chyb vyžadujících automatickou korekci

Síťové benchmarky

- netperf
- iperf
- End to end měření
- Pozor na to, co skutečně v síti měříme

Vlastní benchmarky

- Specifické (konkrétní) požadavky
- Důležité parametry:
 - Co testovat
 - Jak dlouho testovat
 - Požadavky na velikost paměti
- Typy benchmarků
 - Jednoduchý proud (opakování)
 - Propustnost (benchmark stone wall)

Kontroly

- Nezbytná součást používání benchmarků
 - Měříme opravdu to, co chceme?
- Možné příčiny ovlivnění
 - Použitá optimalizace
 - Velikost paměti
 - Přítomnost jiných procesů
- Co je třeba explicitně kontrolovat
 - CPU čas a čas nástěných hodin
 - Výsledky!
 - Srovnání se „známým“ standardem