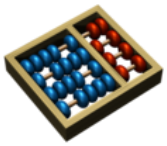
Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Computação
Arquitetura de Computadores II – MO601
Prof. Rodolfo Jardim de Azevedo



Projeto 3

Experimentar ferramentas e coletar dados

Rubens de Castro Pereira

RA 217146

Campinas – SP

Maio de 2023

Índice

1 Introdução

Esse trabalho tem o propósito de utilizar algumas ferramentas de avaliação de arquitetura de computadores com a coleta de dados da execução de *benchmarks* e programas que exploram alguns aspectos como tempo de processamento, número de instruções executadas e uso de memória RAM e cache.

As ferramentas utilizadas foram SPEC CPU 2017, simulador multi-core Sniper, Perf profiler, Parsec benchmark, Rodinia benchmark, Intel Pin e Dinero cache simulator.

Os resultados obtidos na execução das ferramentas estão organizados no repositório Github por meio do link https://github.com/rubenscp/RCP-MO601-Project-03.

A Seção 2 apresenta o ambiente de experimentação, a Seção 3 detalhada a execução e resultados alcançados em cada ferramenta, a Seção 4 descreve considerações sobre o aprendizado neste projeto e a Seção 5 apresentas as conclusões do trabalho.

2 Ambiente de Experimentação

O computador utilizado em todos os experimentos está descrito conforme segue e será denominado “Laptop Rubens”:

- Notebook HP Pavilion dm4
- Memória RAM: 16 Gbytes
- SSD: 1 TBytes
- Sistema Operacional
    - Ubuntu 22.04.2 LTS (GNU/Linux 5.15.90.1-microsoft-standard-WSL2 x86_64)
- CPU:
    - Model name: Intel(R) Core(TM) i7-2620M CPU @ 2.70GHz
    - Architecture: x86_64
    - CPU op-mode(s): 32-bit, 64-bit
    - Address sizes: 36 bits physical, 48 bits virtual
    - Byte Order: Little Endian
    - CPU(s): 4
    - Vendor ID: GenuineIntel
    - CPU family: 6
    - Thread(s) per core: 2
    - Core(s) per socket: 2

- L1d cache: 64 KiB (2 instances)
- L1i cache: 64 KiB (2 instances)
- L2 cache: 512 KiB (2 instances)
- L3 cache: 4 MiB (1 instance)

3 Ferramentas experimentadas

As ferramentas utilizadas para avaliações em arquitetura de computadores foram SPEC CPU 2017, Simulador multi-core Sniper, Perf profiler, Parsec benchmark, Rodinia benchmark, Intel Pin e Dinero cache simulator. Os dados coletados para cada uma das ferramentas são apresentados nas próximas seções.

3.1 SPEC CPU 2017 benchmark *

O SPEC CPU 2017 é um pacote de benchmark que contém a próxima geração de SPECs (*Standard Performance Evaluation Corporation*), pacotes de processamento intensivo de CPU para medição e comparação de desempenho computacional, sobrecarregando o processador do sistema, memória e compilador. Esta ferramenta oferece 4 suites para benchmark considerando velocidade (*speed*) e throughput (*rate*) para números inteiros e em ponto flutuante: intspeed, fpspeed, intrate e fprate.

A Tabela 1 apresenta o resumo da experimentação do SPEC CPU 2017 no laptop Rubens com os parâmetros de execução como número de cópias, *threads*, número de iterações, tempo de execução e métrica final da execução (base). Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção SPEC CPPU 2017 do repositório Github.

Resultados da execução do SPEC CPU 2017						
Suíte	**Cópias**	**Threads**	**Nº Iterações**	**Qtde de Benchmarks**	**Tempo de execução**	**Métrica Final (base)**
intspeed	4	4	3	9	17993 s - 4,99 hs	**3,42**
intspeed	8	8	3	10	18438 s – 5,12 hs	**3,35**
intspeed	16	16	3	10	32523 s - 9,03 hs	**1,96**
intrate	4	4	3	10	38073 s - 10,57 hs	**5,32**
intrate	8	8	3	9	65121 s – 18,08 hs	**5,03**

fpspeed	4	4	3	9	79708 s - 22,14 hs	**3,11**
fprate	4	4	3	13	58396 s - 16,22 hs	**6,25**
fprate	8	1	3	14		
				Duração total das execuções	~~310252 s - 86.18 hs~~	

Tabela 1. Suites executadas na ferramenta SPEC CPU 2017 com seus parâmetros da execução, o tempo de execução e a métrica final da execução.

A Tabela 2 apresenta a comparação do computador utilizado no experimento (Laptop Rubens) e outros computadores selecionados da lista de resultados disponível no site do SPEC CPU 2017 (https://www.spec.org/cpu2017/results/cpu2017.html). Os computadores selecionados são aqueles que mais se aproximam das características do computador "Laptop Rubens" a fim de que as comparações das métricas finais possam ser equilibradas e justas.

Suite	Threads	Métrica obtida do Laptop Rubens	Outros computadores	Métrica
intspeed	4	int_base: 3,42	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i3-8100)	int_base: 7,58
intspeed	8	Int_base: 3,35	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	int_base: 10,6
intspeed	16	int_base: 1,96	Não localizado computador equivalente com thread = 16	---
intrate	4	int_base: 5,32	ASUS Z170M-PLUS Motherboard (Intel Core i7-6700K)	int_base: 23,5
intrate	8	int_base: 5,03	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	int_base: 44,8
fpspeed	4	fp_base: 3,11	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	fp_base: 32,2
fprate	4	fp_base: 6,25	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	fp_base: 42,6
fprate	8	fp_base: ??,??	SuperWorkstation 5039C-T (X11SCA , Intel Core i7-9700K)	fp_base: 42,6

Tabela 2. Comparação das métricas dos benchmarks executados no laptop Rubens e outros computadores.

A Tabela 3 apresenta os comandos com os parâmetros utilizados na execução de cada uma das suítes.

Suíte	Comando para execução do SPEC CPU 2017
intspeed	runcpu --config=rubens-try1 --noreportable --iterations=3 600.perlbench_s 602.gcc_s 605.mcf_s 620.omnetpp_s 623.xalancbmk_s 625.x264_s 631.deepsjeng_s 641.leela_s 648.exchange2_s 998.specrand_is
intrate	runcpu --config=rubens-try1 --reportable --iterations=3 intrate
fpspeed	runcpu --config=rubens-try1 --noreportable --iterations=3 603.bwaves_s 607.cactuBSSN_s 619.lbm_s 621.wrf_s 628.pop2_s 638.imagick_s 644.nab_s 649.fotonik3d_s 654.roms_s 996.specrand_fs
fprate	runcpu --config=rubens-try1 --reportable --iterations=3 fprate

Tabela 3. Comandos SPEC CPU 2017 executados para as suites inspeed, intrate, fpspeed e fprate.

3.2 Simulador multi-core Sniper *

……

A Tabela 4 apresenta os comandos utilizados na execução dos programas bem como a indicação dos arquivos de resultados.

Comando para execução do programa	Resultado	Arquivo com o resultado da execução
make run > sniper-result-api.txt	sucesso	sniper-result-api.txt
make run > sniper-result-dvfs.txt	sucesso	sniper-result-dvfs.txt
make run > sniper-result-fft.txt	sucesso	sniper-result-fft.txt
make run > sniper-result-fft-dvfs.txt	sucesso	sniper-result-fft-dvfs.txt
make run > sniper-result-fft-hetero.txt	sucesso	sniper-result-fft-hetero.txt
make run > sniper-result-fft-hetero-cfg.txt	erro	sniper-result-fft-hetero-cfg.txt
make run > sniper-result-fft-marker.txt	erro	sniper-result-fft-marker.txt
make run > sniper-result-fork.txt	sucesso	sniper-result-fork.txt
make run > sniper-result-shared.txt	sem programa fonte	sniper-result-shared.txt
make run > sniper-result-signal.txt	erro	sniper-result-signal.txt
make run > sniper-result-smc.txt	erro	sniper-result-smc.txt

make run > sniper-result-sniper-in-sniper.txt	erro	sniper-result-sniper-in-sniper.txt
make run > sniper-result-spinloop.txt	sucesso	sniper-result-spinloop.txt
make run > sniper-result-true.txt	sucesso	sniper-result-true.txt
Programas adicionais na pasta "extra_programs"		
../../run-sniper ./RADIX > sniper-result-radix.txt	sucesso	sniper-result-RADIX
../../run-sniper ./CHOLESKY tk14.0 > sniper-result-cholesky.txt	sucesso	sniper-result-CHOLESKY

Tabela 4. Comandos Sniper executados nos benchmarks do experimento.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Sniper do repositório Github.

Programas selecionados para uso avaliação mais detalhada.

Programas selecionados	**Tempo de execução no simulador Snipe "Total Time" (TSni)**	**Tempo de execução nativo "Total Time" (TNat)**	**Slowndown de simulação (TSni / TNat)**
radix	2430 ms	2585 ms	0,940
cholesky	2946 ms	5084 ms	0,579
fft	248 ms	376 ms	0,659

- Apresentar algumas métricas de desempenho coletadas pelo simulador Sniper.
  - Start time : -1844408187
  - Initialization finish time : -1844371499
  - Overall finish time : -1844369069
  - Total time with initialization : 39118
  - Total time without initialization : 2430

Programas selecionados	Sniper
Radix – Sniper	PROCESS STATISTICS Proc / Total Time / Rank Time / Sort Time 0 / 2430 / 1115 / 1315 TIMING INFORMATION Start time : -1844408187 Initialization finish time : -1844371499 Overall finish time : -1844369069 Total time with initialization : 39118 Total time without initialization : 2430
Radix – Native	PROCESS STATISTICS Proc / Total Time / Rank Time / Sort Time 0 / 2585 / 742 / 1840 TIMING INFORMATION Start time : 1102732390 Initialization finish time : 1102761743 Overall finish time : 1102764328 Total time with initialization : 31938 Total time without initialization : 2585
cholesky	
cholesky	
Fft – Sniper	PROCESS STATISTICS Proc / Computation Time / Transpose Time / Transpose Fraction 0 / 248 / 28 / 0.11290 TIMING INFORMATION Start time : -1844408306 Initialization finish time : -1844407925 Overall finish time : -1844407677 Total time with initialization : 629 Total time without initialization : 248 Overall transpose time : 28 Overall transpose fraction : 0.11290
Fft – Native	PROCESS STATISTICS Proc / Computation Time / Transpose Time / Transpose Fraction 0 / 376 / 61 / 0.16223 TIMING INFORMATION Start time : -1988961673 Initialization finish time : -1988961469 Overall finish time : -1988961093 Total time with initialization : 580 Total time without initialization : 376 Overall transpose time : 61 Overall transpose fraction : 0.16223

3.3 Perf profiler *

Perf profiler é uma ferramenta Linux que coleta e analisa dados de desempenho de programas ou do sistema operacional.

Os programas selecionados para avaliação são: fft, fork, signal, smc e true.

A Tabela 5 apresenta os comandos com os parâmetros utilizados na execução de cada um dos programas selecionados.

Programa	**Comando de execução**
fft	perf stat -B ./fft

Resultado da Execução

```
FFT with Blocking Transpose
1024 Complex Doubles
1 Processors
65536 Cache lines
16 Byte line size
4096 Bytes per page


PROCESS STATISTICS
Computation      Transpose     Transpose
Proc          Time            Time        Fraction
0               303             61       0.20132

TIMING INFORMATION
Start time                        :        695908542
Initialization finish time        :        695908777
Overall finish time               :        695909080
Total time with initialization    :              538
Total time without initialization :              303
Overall transpose time            :               61
Overall transpose fraction        :          0.20132


Performance counter stats for './fft':

1.06 msec task-clock                #    0.746 CPUs utilized
0      context-switches          #    0.000 /sec
0      cpu-migrations            #    0.000 /sec
62      page-faults               #   58.701 K/sec
2540158      cycles                    #    2.405 GHz
1814472      stalled-cycles-frontend   #   71.43% frontend cycles idle
1042654      stalled-cycles-backend    #   41.05% backend cycles idle
2132716      instructions              #    0.84  insn per cycle
#    0.85  stalled cycles per insn
195210      branches                  #  184.823 M/sec
6000      branch-misses             #    3.07% of all branches

0.001415500 seconds time elapsed

0.001717000 seconds user
0.000000000 seconds sys
```

Programa	Comando de execução
fft	perf stat -B ./fft if=/dev/zero of=/dev/null count=1000000

Resultado da Execução

```
FFT with Blocking Transpose
1024 Complex Doubles
1 Processors
65536 Cache lines
16 Byte line size
4096 Bytes per page


PROCESS STATISTICS
Computation      Transpose     Transpose
Proc          Time            Time        Fraction
0               335             59       0.17612

TIMING INFORMATION
Start time                        :        760328360
Initialization finish time        :        760328587
Overall finish time               :        760328922
Total time with initialization    :              562
Total time without initialization :              335
Overall transpose time            :               59
Overall transpose fraction        :          0.17612


Performance counter stats for './fft if=/dev/zero of=/dev/null count=1000000':

1.01 msec task-clock                #    0.731 CPUs utilized
0      context-switches          #    0.000 /sec
0      cpu-migrations            #    0.000 /sec
62      page-faults               #   61.198 K/sec
2561675      cycles                    #    2.529 GHz
1839401      stalled-cycles-frontend   #   71.80% frontend cycles idle
1031193      stalled-cycles-backend    #   40.25% backend cycles idle
2135867      instructions              #    0.83  insn per cycle
#    0.86  stalled cycles per insn
195848      branches                  #  193.316 M/sec
5650      branch-misses             #    2.88% of all branches

0.001386500 seconds time elapsed

0.001920000 seconds user
0.000000000 seconds sys
```

Programa	Comando de execução
fork	perf stat -B ./fork

Resultado da Execução

```
Hello world from parent
Hello world from child

Performance counter stats for './fork':

0.94 msec task-clock                #    0.045 CPUs utilized
2      context-switches          #    2.139 K/sec
0      cpu-migrations            #    0.000 /sec
55      page-faults               #   58.811 K/sec
1820753      cycles                    #    1.947 GHz
1528003      stalled-cycles-frontend   #   83.92% frontend cycles idle
1222034      stalled-cycles-backend    #   67.12% backend cycles idle
578101      instructions              #    0.32  insn per cycle
#    2.64  stalled cycles per insn
118406      branches                  #  126.610 M/sec
6079      branch-misses             #    5.13% of all branches

0.020806800 seconds time elapsed
```

```
0.001550000 seconds user
0.000000000 seconds sys
```

Programa	Comando de execução
signal	perf stat -B ./signal

Resultado da Execução

```
Installing signal handler
Dereferencing NULL pointer
Received signal 11

Performance counter stats for './signal':

0.45 msec task-clock                #    0.545 CPUs utilized
0      context-switches          #    0.000 /sec
0      cpu-migrations            #    0.000 /sec
30      page-faults               #   66.800 K/sec
978289      cycles                    #    2.178 GHz
798099      stalled-cycles-frontend   #   81.58% frontend cycles idle
634507      stalled-cycles-backend    #   64.86% backend cycles idle
350129      instructions              #    0.36  insn per cycle
#    2.28  stalled cycles per insn
70957      branches                  #  157.998 M/sec
3626      branch-misses             #    5.11% of all branches

0.000824699 seconds time elapsed

0.000910000 seconds user
0.000000000 seconds sys
```

Programa	Comando de execução
smc	perf stat -B ./smc

Resultado da Execução

```
Good morning!

Performance counter stats for './smc':

0.47 msec task-clock                #    0.588 CPUs utilized
0      context-switches          #    0.000 /sec
0      cpu-migrations            #    0.000 /sec
29      page-faults               #   61.259 K/sec
1070708      cycles                    #    2.262 GHz
842947      stalled-cycles-frontend   #   78.73% frontend cycles idle
621900      stalled-cycles-backend    #   58.08% backend cycles idle
493319      instructions              #    0.46  insn per cycle
#    1.71  stalled cycles per insn
92454      branches                  #  195.298 M/sec
3768      branch-misses             #    4.08% of all branches

0.000805700 seconds time elapsed

0.000894000 seconds user
0.000000000 seconds sys
```

Programa	Comando de execução
true	perf stat -B ./true

Resultado da Execução

```

Performance counter stats for './true':

0.48 msec task-clock                #    0.548 CPUs utilized
0      context-switches          #    0.000 /sec
0      cpu-migrations            #    0.000 /sec
28      page-faults               #   58.700 K/sec
855835      cycles                    #    1.794 GHz
```

```
697077      stalled-cycles-frontend   #   81.45% frontend cycles idle
536036      stalled-cycles-backend    #   62.63% backend cycles idle
323449      instructions              #    0.38  insn per cycle
#    2.16  stalled cycles per insn
64571      branches                  #  135.369 M/sec
3028      branch-misses             #    4.69% of all branches

0.000870500 seconds time elapsed

0.000992000 seconds user
0.000000000 seconds sys
```

Tabela 5. Comandos Perf profiler executados nos programas selecionados no experimento.

- Incluir os programas RADIX e
- perf stat -B ./RADIX
- perf stat -B ./CHOLESKY tk14.O

- Extrair as mesmas métricas do Sniper de forma nativa
- Comparar as métricas do Perf com as do Sniper
- Justificar as diferenças

3.4 PARSEC Benchmark Suite 3.0 *

O PARSEC (*Princeton Application Repository for Shared-Memory Computers*) é um conjunto de benchmark composto por programas *multithread* com o propósito de possibilitar estudos de desempenho em computadores com múltiplos processadores.

A Tabela 6 apresenta a compilação dos pacotes de benchmark oferecidos no PARSEC com o resultado indicando sucesso ou os erros apresentados no processo de compilação (build).

Pacote	Comando para compilação	Resultado
blackscholes	parsecmgmt -a build -p blackscholes	Compilou com sucesso.
bodytrack	parsecmgmt -a build -p bodytrack	Compilou com sucesso.
facesim	parsecmgmt -a build -p facesim	make[2]: *** [/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/Public_Library/Makefile.common:407: obj/Collisions_And_Interactions/COLLISION_BODY_LIST_3D.o] Error 1 make[2]: Leaving directory '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/Public_Library' make[1]: *** No rule to make target '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/lib/libPhysBAM.a', needed by 'facesim'. Stop. make[1]: Leaving directory '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc/Benchmarks/facesim' make: *** [Makefile:16: all] Error 2 [PARSEC] Error: 'env version=pthreads PHYSBAM=/usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/facesim/obj/amd64-linux.gcc CXXFLAGS=-O3 -g -funroll-loops -fprefetch-loop-arrays -fpermissive -fno-exceptions -std=c++11 -static-libgcc -Wl,--hash-style=both,--as-needed -DPARSEC_VERSION=3.0-beta-20150206 -fexceptions /usr/bin/make' failed.
ferret	parsecmgmt -a build -p ferret	make: *** [Makefile:108: /usr/local/parsec-3.0/pkgs/apps/ferret/obj/amd64-linux.gcc/parsec/obj/LSH_query.o] Error 1 [PARSEC] Error: 'env version=pthreads CFLAGS=-I/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/gsl/inst/amd64-linux.gcc/include -I/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/libjpeg/inst/amd64-linux.gcc/include -O3 -g -funroll-loops -fprefetch-loop-arrays -static-libgcc -Wl,--hash-style=both,--as-needed -DPARSEC_VERSION=3.0-beta-20150206 LDFLAGS=-L/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/gsl/inst/amd64-linux.gcc/lib -L/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/libjpeg/inst/amd64-linux.gcc/lib -L/usr/lib64 -L/usr/lib /usr/bin/make' failed.
fluidanimate	parsecmgmt -a build -p fluidanimate	Compilou com sucesso.
freqmine	parsecmgmt -a build -p freqmine	Compilou com sucesso.
raytrace	parsecmgmt -a build -p raytrace	No package 'xext' found Consider adjusting the PKG_CONFIG_PATH environment variable if you installed software in a non-standard prefix. Alternatively, you may set the environment variables XLIBGL_CFLAGS and XLIBGL_LIBS to avoid the need to call pkg-config. See the pkg-config man page for more details. [PARSEC] Error: 'env ./configure --with-driver=xlib --enable-glut --enable-static --disable-shared --prefix=/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/mesa/inst/amd64-linux.gcc' failed.
swaptions	parsecmgmt -a build -p swaptions	| ^~~~~~ make[1]: *** [../../build/Makefile.tbbmalloc:70: proxy.o] Error 1 make[1]: Leaving directory '/usr/local/parsec-3.0/pkgs/libs/tbblib/obj/amd64-linux.gcc/build/linux_intel64_gcc_cc11.3.0_libc2.35_kernel5.15.90.1_debug' make: *** [Makefile:49: tbbmalloc] Error 2 [PARSEC] Error: 'env compiler=gcc PATH=/usr/bin:/usr/local/parsec-3.0/bin:/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/snap/bi

		n:/usr/local/parsec-3.0/bin CXXFLAGS=-O3 -g -funroll-loops -fprefetch-loop-arrays -fpermissive -fno-exceptions -static-libgcc -Wl,--hash-style=both,--as-needed -DPARSEC_VERSION=3.0-beta-20150206 -fexceptions /usr/bin/make' failed.
vips	parsecmgmt -a build -p vips	Compilou com sucesso.

Tabela 6. Resultado da compilação dos pacotes do PARSEC.

O PARSEC possibilita definir a região de interesse (ROI – *Region Of Interest*) baseada em seis tipos de entrada possíveis na execução dos benchmarks. As entradas são: test, simdev, simsmall, simmedium, simlarge e native.

Os testes realizados no experimento utilizaram todas as entradas nos benchmarks executados, cujos comandos de execução a indicação dos resultados são apresentados na Tabela 7 que segue. As saídas da execução estão armazenadas nos arquivos com extensão “txt”.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Parsec do repositório Github.

EXPLORAR O PARALELISMO –N

parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 16

parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 16

parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 16

parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 16

parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 8

parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 8

parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 8

parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 8

parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 4

parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 4

parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 4

parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 4

parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native -n 2

parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native -n 2

parsecmgmt -a run -p freqmine -i native -n 2

parsecmgmt -a run -p vips -i native -n 2

parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native

parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native

parsecmgmt -a run -p freqmine -i native

parsecmgmt -a run -p vips -i native

Núm. da Execução	Pacote	Entrada	Comando de execução do pacote de Benchmark
001	blackscholes	test	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i test > result/exec-001-blackscholes-test.txt
002	blackscholes	simdev	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i simdev > result/exec-002-blackscholes-simdev.txt
003	blackscholes	simsmall	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i simsmall > result/exec-003-blackscholes-simsmall.txt
004	blackscholes	simlarge	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i simlarge > result/exec-004-blackscholes-simlarge.txt
005	blackscholes	native	parsecmgmt -a run -p blackscholes -i native > result/exec-005-blackscholes-native.txt
006	vips	test	parsecmgmt -a run -p vips -i test > result/exec-006-vips-test.txt
007	vips	simdev	parsecmgmt -a run -p vips -i simdev > result/exec-007-vips-simdev.txt
008	vips	simsmall	parsecmgmt -a run -p vips -i simsmall > result/exec-008-vips-simsmall.txt
009	vips	simlarge	parsecmgmt -a run -p vips -i simlarge > result/exec-009-vips-simlarge.txt
010	vips	native	parsecmgmt -a run -p vips -i native > result/exec-010-vips-native.txt
011	bodytrack	test	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i test > result/exec-011-bodytrack-test.txt
012	bodytrack	simdev	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i simdev > result/exec-012-bodytrack-simdev.txt
013	bodytrack	simsmall	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i simsmall > result/exec-013-bodytrack-simsmall.txt
014	bodytrack	simlarge	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i simlarge > result/exec-014-bodytrack-simlarge.txt
015	bodytrack	native	parsecmgmt -a run -p bodytrack -i native > result/exec-015-bodytrack-native.txt
016	fluidanimate	test	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i test > result/exec-016-fluidanimate-test.txt

017	fluidanimate	simdev	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i simdev > result/exec-017-fluidanimate-simdev.txt
018	fluidanimate	simsmall	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i simsmall > result/exec-018-fluidanimate-simsmall.txt
019	fluidanimate	simlarge	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i simlarge > result/exec-019-fluidanimate-simlarge.txt
020	fluidanimate	native	parsecmgmt -a run -p fluidanimate -i native > result/exec-020-fluidanimate-native.txt
021	freqmine	test	parsecmgmt -a run -p freqmine -i test > result/exec-021-freqmine-test.txt
022	freqmine	simdev	parsecmgmt -a run -p freqmine -i simdev > result/exec-022-freqmine-simdev.txt
023	freqmine	simsmall	parsecmgmt -a run -p freqmine -i simsmall > result/exec-023-freqmine-simsmall.txt
024	freqmine	simlarge	parsecmgmt -a run -p freqmine -i simlarge > result/exec-024-freqmine-simlarge.txt
025	freqmine	native	parsecmgmt -a run -p freqmine -i native > result/exec-025-freqmine-native.txt
026	splash2	test	parsecmgmt -a run -p splash2 -i test > result/exec-026-splash2-test.txt
027	splash2	simdev	parsecmgmt -a run -p splash2 -i simdev > result/exec-027-splash2-simdev.txt
028	splash2	simsmall	parsecmgmt -a run -p splash2 -i simsmall > result/exec-028-splash2-simsmall.txt
029	splash2	simlarge	parsecmgmt -a run -p splash2 -i simlarge > result/exec-029-splash2-simlarge.txt
030	splash2	native	parsecmgmt -a run -p splash2 -i native > result/exec-030-splash2-native.txt
031	splash2x	test	parsecmgmt -a run -p splash2x -i test > result/exec-031-splash2x-test.txt
032	splash2x	simdev	parsecmgmt -a run -p splash2x -i simdev > result/exec-032-splash2x-simdev.txt
033	splash2x	simsmall	parsecmgmt -a run -p splash2x -i simsmall > result/exec-033-splash2x-simsmall.txt
034	splash2x	simlarge	parsecmgmt -a run -p splash2x -i simlarge > result/exec-034-splash2x-simlarge.txt
035	splash2x	native	parsecmgmt -a run -p splash2x -i native > result/exec-035-splash2x-native.txt

Tabela 7. Comandos PARSEC para execução dos benchmarks com as entradas possíveis.

Fazer um gráfico quatro aplicações, variando o valor de N no eixo X e o tempo real no Y. Usar N=1 a referencia (baseline)

3.5 Rodinia benchmark *

O Rodinia Benchmark é uma ferramenta destinada a infraestrutura de computação heterogênea com implementações com OpenMP, OpenCL e CUDA.

A Tabela 8 apresenta a lista dos programas que foram compilados com sucesso em cada implementação.

CUDA (make CUDA)	OPENMP (make OMP)	OPENCL (make OPENCL)
backprop	backprop	OCL_particlefilter_double
bfs	bfs	OCL_particlefilter_naive
dwt2d	euler3d_cpu	OCL_particlefilter_single
gaussian	euler3d_cpu_double	backprop
heartwall	heartwall	gaussian
hotspot	hotspot	heartwall
kmeans	kmeans	hotspot
leukocyte	lavaMD	kmeans
needle	leukocyte	lavaMD
nn	lud_omp	leukocyte
pathfinder	needle	lud
sc_gpu	nn	nn
srad_v1	particle_filter	nw
srad_v2	pathfinder	srad
	pre_euler3d_cpu	
	pre_euler3d_cpu_double	
	sc_omp	
	srad_v1	
	srad_v2	

Tabela 8. Lista de programas que foram compilados com sucesso no ambiente da ferramenta Rodinia Benchmark.

A Tabela 9 apresenta a execução de benchmarks com alguns resultados detalhados ou o nome do arquivo de resultado devido ao seu tamanho excessivo.

Implementação	Benchmark	Resultado
OPENMP	bfs	result.txt
OPENMP	cfd (euler3d)	409.637 segundos root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/cfd# ./run Starting... Compute time: 409.637 Saving solution... Saved solution... Cleaning up... Done...
OPENMP	heartwall	result.txt
OPENMP	hotspot	output.out
OPENMP	kmeans	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/kmeans# ./run ./run: line 1: ./kmeans_serial/kmeans: No such file or directory I/O completed num of threads = 4 number of Clusters 5 number of Attributes 34

		Time for process: 4.266001
OPENMP	lavaMD	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/lavaMD# ./run Configuration used: cores = 4, boxes1d = 10 Time spent in different stages of CPU/MCPU KERNEL: 0.000000000000 s, 0.000000000000 % : CPU/MCPU: VARIABLES 0.000014000000 s, 0.000279933040 % : MCPU: SET DEVICE 0.000000000000 s, 0.000000000000 % : CPU/MCPU: INPUTS 5.001182079315 s, 99.999717712402 % : CPU/MCPU: KERNEL Total time: 5.001195907593 s
OPENMP	leukocyte	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/leukocyte# ./run Num of threads: 4 Detecting cells in frame 0 Cells detected: 36 Detection runtime ---------- GICOV computation: 0.52551 seconds GICOV dilation: 0.21413 seconds Total: 0.79247 seconds Tracking cells across 5 frames Processing frame 5 / 5 Tracking runtime (average per frame): ---------- MGVF computation: 14.68158 seconds Snake evolution: 0.02456 seconds Total: 4.09308 seconds Total application run time: 21.25787 seconds
OPENMP	nn	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/nn# ./run The 5 nearest neighbors are: 1974 12 22 18 24 JOYCE 30.6 89.9 80 593 --> 0.608276 2003 8 27 12 10 TONY 29.9 89.4 160 286 --> 0.608275 1997 11 14 12 24 HELENE 30.5 89.8 134 529 --> 0.538515 1980 10 22 18 3 ISAAC 30.1 90.4 110 778 --> 0.412312 1988 12 27 0 18 TONY 30.0 89.8 113 39 --> 0.199997 total time : 0.527607023716 s
OPENMP	particle_filter	Result.txt
OPENMP	pathfinder	o.out
OPENMP	srad_v1	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/srad/srad_v1# ./run Time spent in different stages of the application: 0.000000000000 s, 0.000000000000 % : SETUP VARIABLES 0.000021000000 s, 0.001276622177 % : READ COMMAND LINE PARAMETERS 0.131821006536 s, 8.013600349426 % : READ IMAGE FROM FILE 0.002430000110 s, 0.147723421454 % : RESIZE IMAGE 0.000082999999 s, 0.005045697093 % : SETUP, MEMORY ALLOCATION 0.016366999596 s, 0.994974911213 % : EXTRACT IMAGE 1.328287959099 s, 80.748657226562 % : COMPUTE 0.005131000187 s, 0.311921358109 % : COMPRESS IMAGE 0.160110995173 s, 9.733392715454 % : SAVE IMAGE INTO FILE 0.000714000023 s, 0.043405152857 % : FREE MEMORY Total time: 1.644966006279 s
OPENMP	srad_v2	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/srad/srad_v2# ./run Randomizing the input matrix Start the SRAD main loop Computation Done

Tabela 9. Benchmarks executados com os resultados.

A Tabela 10 apresenta comparações de alguns benchmarks que foram executados nas três implementações CUDA, OpenMP e OpenCL.

Comparação de Benchmarks entre as Implementações CUDA, OpenMP e OpenCL		
Hotspot		
CUDA	**OpenMP**	**OpenCL**
root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/cuda/hotspot# ./run WG size of kernel = 16 X 16 pyramidHeight: 2 gridSize: [512, 512] border:[2, 2] blockGrid:[43, 43] targetBlock:[12, 12] Start computing the transient temperature Ending simulation	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/hotspot# ./run Start computing the transient temperature Ending simulation Total time: 0.045 seconds	Erro de execução
BFS		
CUDA	**OpenMP**	**OpenCL**
root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/cuda/bfs# ./run Reading File Read File Copied Everything to GPU memory Start traversing the tree Kernel Executed 1 times Result stored in result.txt >> 1.000.000 lines	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/bfs# ./run Reading File Start traversing the tree Compute time: 0.633491 Result stored in result.txt >> 1.000.000 lines	Erro de compilação
HeartWall		
CUDA	**OpenMP**	**OpenCL**
root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/cuda/heartwall# ./run WG size of kernel = 256 frame progress: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 Resultados no arquivo result.txt	root@NotebookRubens:/usr/local/rodinia_3.1/openmp/heartwall# ./run num of threads: 4 frame progress: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 Resultados no arquivo result.txt	Erro de execução
particlefilter		
CUDA	**OpenMP**	**OpenCL**
Erro de compilação	video sequence took 0.043539 time to get neighbors took: 0.000005 time to get weightstook: 0.014813 time to set arrays took: 0.000106 time to set error took: 0.000682 time to get likelihoods took: 0.002394 time to get exp took: 0.000109 time to sum weights took: 0.000008 time to normalize weights took: 0.000004 time to move object took: 0.000008 xe: 64.523185 ye: 64.469547 0.702991 ... time to calc cum sum took: 0.000033 time to calc u took: 0.011697 time to calc new array x and y took: 0.061382 time to reset weights took: 0.000047	root@notebookrubens:/usr/local/rodinia_3.1/opencl/particlefilter# ./run video sequence took 0.063222 error: clgetplatformids(1,*,0) failed particle filter took 0.694592 entire program took 0.757814 video sequence took 0.031961 error: clgetplatformids(1,*,0) failed particle filter took 0.632983 entire program took 0.664944

	time to set error took: 0.006374 time to get likelihoods took: 0.008245 time to get exp took: 0.011114 time to sum weights took: 0.011051 time to normalize weights took: 0.008430 time to move object took: 0.016451 xe: 48.546698 ye: 72.385056 17.581630 time to calc cum sum took: 0.000034 time to calc u took: 0.013806 time to calc new array x and y took: 0.053608 time to reset weights took: 0.000045 particle filter took 0.937339 entire program took 0.980878	

Tabela 10. Comparação de benchmarks nas três implementações CUDA, OpenMP e OpenCL.

- Se tiver hardware suficiente, rodar as múltiplas versões do programa e comparar o desempenho no mesmo computador.
- Para múltiplas configurações do mesmo programa, indicar as diferenças de desempenho.
- Executar o Rodínia nos três programas abaixo e comparar o desempenho:
    - RADIX
    - CHOLESKY
    - FFT

3.6 Intel Pin

➔ Aguardando definição dos 3 programas para experimentos posteriores

➔ Executar o Pin nos três programas abaixo e comparar o desempenho utilizando a ferramenta do “PinTools” (opcodemix) aplicado aos três programas abaixo

- RADIX
- CHOLESKY
- FFT

3.7 Dinero cache simulator

A ferramenta Dinero é um simulador de cache de 4ª geração de simuladores.

Os programas utilizados nessa ferramenta foram o RADIX e o fft. Vários parâmetros foram avaliados considerando valores distintos para cache L1 (instrução e data), combinados com cache L2 e L3 (unificadas).

A Tabela 11 apresenta os comandos utilizados na execução dos programas RADIX e fft com os diversos parâmetros de execução relacionados às caches L1, L2 e L3.

Programa RADIX	
Comando de execução	**Arquivo com o resultado da execução**
./dineroIV-tar -l1-isize 1k -l1-dsize 1k -l1-ibsize 32 -l1-dbsize 32 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-001.txt	dinero-result-RADIX-001.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 2k -l1-dsize 2k -l1-ibsize 16 -l1-dbsize 16 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-002.txt	dinero-result-RADIX-002.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 4k -l1-dsize 4k -l1-ibsize 8 -l1-dbsize 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-003.txt	dinero-result-RADIX-003.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 8k -l1-dsize 8k -l1-ibsize 4 -l1-dbsize 4 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-004.txt	dinero-result-RADIX-004.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-005.txt	dinero-result-RADIX-005.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 32k -l1-dsize 32k -l1-ibsize 1 -l1-dbsize 1 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-006.txt	dinero-result-RADIX-006.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 1k -l1-dsize 1k -l1-ibsize 32 -l1-dbsize 32 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-007.txt	dinero-result-RADIX-007.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-008.txt	dinero-result-RADIX-008.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 32k -l1-dsize 32k -l1-ibsize 1 -l1-dbsize 1 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-009.txt	dinero-result-RADIX-009.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 512k -l2-ubsize 1 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-010.txt	dinero-result-RADIX-010.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 256k -l2-ubsize 2 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-011.txt	dinero-result-RADIX-011.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-012.txt	dinero-result-RADIX-012.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -l2-uassoc 8 -l3-usize 1m -l3-ubsize 4 -l3-uassoc 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-013.txt	dinero-result-RADIX-013.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -l2-uassoc 8 -l3-usize 2m -l3-ubsize 4 -l3-uassoc 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-014.txt	dinero-result-RADIX-014.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -l2-uassoc 8 -l3-usize 4m -l3-ubsize 1 -l3-uassoc 8 -informat p < RADIX > dinero-result-RADIX-015.txt	dinero-result-RADIX-015.txt

Programa FFT	
Comando de execução	**Arquivo com o resultado da execução**
./dineroIV-tar -l1-isize 1k -l1-dsize 1k -l1-ibsize 32 -l1-dbsize 32 -informat p < fft > dinero-result-fft-001.txt	dinero-result-fft-001.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 2k -l1-dsize 2k -l1-ibsize 16 -l1-dbsize 16 -informat p < fft > dinero-result-fft-002.txt	dinero-result-fft-002.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 4k -l1-dsize 4k -l1-ibsize 8 -l1-dbsize 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-003.txt	dinero-result-fft-003.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 8k -l1-dsize 8k -l1-ibsize 4 -l1-dbsize 4 -informat p < fft > dinero-result-fft-004.txt	dinero-result-fft-004.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -informat p < fft > dinero-result-fft-005.txt	dinero-result-fft-005.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 32k -l1-dsize 32k -l1-ibsize 1 -l1-dbsize 1 -informat p < fft > dinero-result-fft-006.txt	dinero-result-fft-006.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 1k -l1-dsize 1k -l1-ibsize 32 -l1-dbsize 32 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-007.txt	dinero-result-fft-007.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-008.txt	dinero-result-fft-008.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 32k -l1-dsize 32k -l1-ibsize 1 -l1-dbsize 1 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-009.txt	dinero-result-fft-009.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 512k -l2-ubsize 1 -informat p < fft > dinero-result-fft-010.txt	dinero-result-fft-010.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 256k -l2-ubsize 2 -informat p < fft > dinero-result-fft-011.txt	dinero-result-fft-011.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -informat p < fft > dinero-result-fft-012.txt	dinero-result-fft-012.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -l2-uassoc 8 -l3-usize 1m -l3-ubsize 4 -l3-uassoc 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-013.txt	dinero-result-fft-013.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -l2-uassoc 8 -l3-usize 2m -l3-ubsize 4 -l3-uassoc 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-014.txt	dinero-result-fft-014.txt
./dineroIV-tar -l1-isize 16k -l1-dsize 16k -l1-ibsize 2 -l1-dbsize 2 -l1-iassoc 8 -l1-dassoc 8 -l2-usize 128k -l2-ubsize 4 -l2-uassoc 8 -l3-usize 4m -l3-ubsize 1 -l3-uassoc 8 -informat p < fft > dinero-result-fft-015.txt	dinero-result-fft-015.txt

Tabela 11. Comandos Dinero para execução dos programas RADIX e FFT com variados parâmetros de execução relacionados às caches L1, L2 e L3.

Os resultados detalhados desse experimento podem ser consultados na seção Dinero do repositório Github.

4 Considerações sobre o aprendizado nesse projeto

5 Conclusões