

# Instituto Tecnológico de Costa Rica

## Área Académica de Ingeniería en Computadores

### Arquitectura de Computadores I

#### Taller 4 - GEM5

Estudiante:

**Luis Pedro Morales Rodríguez**

Profesor:

**Ing. Luis Alberto Chavarría Zamora**

30 de octubre del 2023

1. Explique en qué consiste el Benchmark 470.lbm, y basado en esto, cuáles cambios podrían mejorar el rendimiento del sistema.

El *benchmark 470.lbm*, también conocido como “**Leaky Bucket**”, es uno de los benchmarks de la suite de benchmarks SPEC CPU2006 (colección de programas de benchmark que se utilizan comúnmente para evaluar el rendimiento de sistemas de procesamiento). El 470.lbm simula una aplicación de dinámica de fluidos computacional (CFD), específicamente el “Método de Boltzmann en Rejilla”(LBM) que se utiliza para simular fluidos incompresibles en 3D, como se describe en [1]. En este método, se simula el flujo de un fluido modelando el movimiento de partículas en una rejilla [2]. Este benchmark 470.lbm al ejecutar una simulación CFD de alta demanda de recursos computacionales, es un muy buen indicador del rendimiento de un sistema en operaciones de punto flotante, patrones de acceso a memoria, paralelismo y otras métricas de rendimiento como tiempo de ejecución o IPC.

Para mejorar el rendimiento del benchmark 470.lbm al ejecutarlo en una simulación de GEM5, se consideraron los siguientes parámetros para modificar:

- **Número de núcleos:** Se aumentó el número de procesadores utilizados a 4. Las estadísticas de esta simulación, la cual fue ejecutada con *runGem5\_4cores.sh*, se guardaron en el archivo *stats\_4cores.txt*.

```
lpmorales@LAPTOP-950W476P: ~/ac1-taller5/spec/Project1_SPEC/WTA-100$ ./runGem5_4cores.sh
gem5 Simulator System. https://www.gem5.org
gem5 is copyrighted software; use the --copyright option for details.

gem5 version 23.0.0.1
gem5 compiled Oct 30 2023 20:01:20
gem5 started Oct 30 2023 23:15:32
gem5 executing on LAPTOP-950W476P, pid 2617
command line: /home/lpmorales/ac1-taller5/gem5/build/X86/gem5.opt -d m5out /home/lpmorales/ac1-taller5/gem5/configs/deprecated/example/se.py -c ./src/benchmark -o '1 reference.dat 0 1 ./data/100_100_130_cf_a.of' -i 1000000000 --cpu-type=timingsimpcpu --caches --l2cache --l1d_size=128kB --l1i_size=128kB --l2_size=1MB --l1d_assoc=2 --l1i_assoc=2 --l2_assoc=1 --cacheline_size=64 --p4

warn: The 'get_runtime_isa' function is deprecated. Please migrate away from using this function.
warn: The 'se.py' script is deprecated. It will be removed in future releases of gem5.
warn: The 'get_runtime_isa' function is deprecated. Please migrate away from using this function.
Global frequency set at 1000000000 ticks per second
warn: No dot file generated. Please install pydot to generate the dot file and pdf.
src/mem/dram_interface.cc:690: warn: DRAM device capacity (8192 Mbytes) does not match the address range assigned (512 Mbytes)
src/base/statistics.hh:279: warn: One of the stats is a legacy stat. Legacy stat is a stat that does not belong to any statistics::Group. Legacy stat is deprecated.
system.remote_gdb: Listening for connections on port 7800
**** REAL SIMULATION ****
src/sim/simulate.cc:194: info: Entering event queue @ 0. Starting simulation...
src/sim/mem_state.cc:443: info: Increasing stack size by one page.
src/sim/syscall_emul.cc:74: warn: ignoring syscall mprotect(...)
MAIN_printInfo:
  grid size      : 100 x 100 x 130 = 1.30 * 10^6 Cells
  nTimeSteps     : 1
  result file    : reference.dat
  action         : nothing
  simulation type : channel flow
  obstacle file  : ./data/100_100_130_cf_a.of

Exiting @ tick 317217932500 because a thread reached the max instruction count

real    2m2.147s
user    2m1.514s
sys     0m0.608s
```

Figura 1: Ejecución de benchmark utilizando 4 núcleos en la simulación.

- **Tamaño de la caché:** Se aumentó el tamaño de la caché de primer nivel, tanto la de datos como instrucciones, y la caché de segundo nivel al doble de su valor por defecto. El ejecutable de esta simulación es el archivo *runGem5\_double\_cache.sh* y las estadísticas de salida se almacenan en *stats\_double\_cache.txt*.
- **Asociatividad de la caché:** Las cachés de primer nivel, se les aumentó la asociatividad a 4, mientras que a la caché de segundo nivel, se ejecutó con asociatividad de 2. El ejecutable de esta simulación es el archivo *runGem5\_double\_assoc.sh* y las estadísticas de salida se almacenan en *stats\_double\_assoc.txt*.

```
lpmorales@LAPTOP-950P476P:~/acl-taller5/spec/Project1_SPEC/479_1bw$ ./runGem5_double_cache.sh
gem5 Simulator System. https://www.gem5.org
gem5 is copyrighted software, use the --copyright option for details.

gem5 version 23.0.0.1
gem5 compiled Oct 30 2023 20:01:20
gem5 started Oct 30 2023 23:28:59
gem5 executing on LAPTOP-950P476P pid 2768
command line: /home/lpmorales/acl-taller5/gem5/build/X86/gem5.opt -d m5out /home/lpmorales/acl-taller5/gem5/configs/deprecated/example/se.py -c ./src/benchmark -o '1 reference.dat 0 1 ./data/100_100_130_cf_a_of' -I 1000000000 --cpu-type=TimingSimpleCPU --caches --l2cache --l1d_size=256kB --l1i_size=256kB --l2_size=2MB --l1d_assoc=2 --l1i_assoc=2 --l2_assoc=1 --cacheline_size=64

warn: The 'get_runtime isa' function is deprecated. Please migrate away from using this function.
warn: The se.py script is deprecated. It will be removed in future releases of gem5.
warn: The 'get_runtime isa' function is deprecated. Please migrate away from using this function.
Global frequency set at 100000000000 ticks per second
warn: No dot file generated. Please install pydot to generate the dot file and pdf.
src/mem/dram_interface.cc:690: warn: DRAM device capacity (8192 Mbytes) does not match the address range assigned (512 Mbytes)
src/base/statistics.hh:279: warn: One of the stats is a legacy stat. Legacy stat is a stat that does not belong to any statistics::Group. Legacy stat is deprecated.
system.remote.gdb: Listening for connections on port 7000
**** REAL SIMULATION ****
src/sim/simulate.cc:194: info: Entering event queue @ 0. Starting simulation...
src/sim/mem_state.cc:443: info: Increasing stack size by one page.
src/sim/syscall_emul.cc:74: warn: ignoring syscall mprotect(...)
MAIN_printInfo:
  grid size      : 100 x 100 x 130 = 1.30 * 10^6 Cells
  nTimeSteps     : 1
  result file    : reference.dat
  action         : nothing
  simulation type: channel flow
  obstacle file  : ./data/100_100_130_cf_a_of

Exiting @ tick 317187005500 because a thread reached the max instruction count

real    1m56.003s
user    1m56.604s
sys      0m0.190s
```

Figura 2: Ejecución de benchmark utilizando el doble de tamaño de memoria caché en la simulación.

```
lpmorales@LAPTOP-950P476P:~/acl-taller5/spec/Project1_SPEC/479_1bw$ ./runGem5_double_assoc.sh
gem5 Simulator System. https://www.gem5.org
gem5 is copyrighted software, use the --copyright option for details.

gem5 version 23.0.0.1
gem5 compiled Oct 30 2023 20:01:20
gem5 started Oct 30 2023 23:37:22
gem5 executing on LAPTOP-950P476P pid 2832
command line: /home/lpmorales/acl-taller5/gem5/build/X86/gem5.opt -d m5out /home/lpmorales/acl-taller5/gem5/configs/deprecated/example/se.py -c ./src/benchmark -o '1 reference.dat 0 1 ./data/100_100_130_cf_a_of' -I 1000000000 --cpu-type=TimingSimpleCPU --caches --l2cache --l1d_size=128kB --l1i_size=128kB --l2_size=1MB --l1d_assoc=4 --l1i_assoc=4 --l2_assoc=2 --cacheline_size=64

warn: The 'get_runtime isa' function is deprecated. Please migrate away from using this function.
warn: The se.py script is deprecated. It will be removed in future releases of gem5.
warn: The 'get_runtime isa' function is deprecated. Please migrate away from using this function.
Global frequency set at 100000000000 ticks per second
warn: No dot file generated. Please install pydot to generate the dot file and pdf.
src/mem/dram_interface.cc:690: warn: DRAM device capacity (8192 Mbytes) does not match the address range assigned (512 Mbytes)
src/base/statistics.hh:279: warn: One of the stats is a legacy stat. Legacy stat is a stat that does not belong to any statistics::Group. Legacy stat is deprecated.
system.remote.gdb: Listening for connections on port 7000
**** REAL SIMULATION ****
src/sim/simulate.cc:194: info: Entering event queue @ 0. Starting simulation...
src/sim/mem_state.cc:443: info: Increasing stack size by one page.
src/sim/syscall_emul.cc:74: warn: ignoring syscall mprotect(...)
MAIN_printInfo:
  grid size      : 100 x 100 x 130 = 1.30 * 10^6 Cells
  nTimeSteps     : 1
  result file    : reference.dat
  action         : nothing
  simulation type: channel flow
  obstacle file  : ./data/100_100_130_cf_a_of

Exiting @ tick 317217932500 because a thread reached the max instruction count

real    1m56.409s
user    1m56.112s
sys      0m0.280s
```

Figura 3: Ejecución de benchmark utilizando el doble de asociatividad de memorias caché en la simulación.

## Referencias

- [1] D. d'Humieres Y.-H. Qian y P. Lallemand. *Lattice BGK models for Navier-Stokes equation*. Europhys, 1992.
- [2] Markus Kowarschik Thomas Pohl y Ulrich Rüde. *Optimization and Profiling of the Cache Performance of Parallel Lattice Boltzmann Codes*. Parallel Processing Letter, 2003.