

Исследование оптимизации инвариантов цикла

Тестовая инфраструктура

CPU: AMD Ryzen 7 2700 Eight-Core Processor 3.20 GHz

OS: Ubuntu 20.04.02

Результаты тестирования

Файл	O0	O1	O1 (LICM отключён)
licm_5	1,72 с	0,99 с	1,04 с
licm_10	1,56 с	0,69 с	0,91 с
licm_20	1,36 с	0,73 с	0,81 с
licm_div_5	1,73 с	0,25 с	1,73 с
licm_div_10	3,46 с	0,34 с	3,46 с
licm_div_20	6,93 с	0,71 с	6,89 с

Анализ результатов

Различия между неоптимизированной O0 и оптимизированной O1 версиями

1. В неоптимизированной версии инвариантные, относительно итераций выражения вроде `a1+a2`, где `a1` и `a2` – неизменяемые входные аргументы, вычисляются на каждом шаге цикла. В оптимизированной версии эти значения вычисляются один раз за пределами цикла, а входе итераций подставляются готовые значения.
2. Код функции `main` содержит вычисление набора значений, в неоптимизированной версии, эти значения вычисляются при каждом запуске, а в оптимизированном – получены на этапе компиляции.
3. В оптимизированной версии вычисление инкремента и условия продолжения цикла встроено непосредственно в его тело, в неоптимизированной версии они вынесены в отдельные блоки.
4. C++ код функции `func` предполагает передачу параметров по значению, из-за этого в неоптимизированной версии происходит их копирование, но т.к. они являются неизменяемыми в ходе цикла, то в оптимизированной версии, по всей видимости, предоставляется некий "прямой" доступ к аргументам.

Особенности версии с отключённым LICM

1. Отключение механизма LICM подразумевает собой отключение вынесения инвариантного кода за пределы цикла. В остальном, эта версия аналогична стандартной оптимизированной O1 версии.

Общий вывод

Как показывают замеры, время выполнения программы при отключении LICM оптимизации, приближается ко времени исполнения программы, собираемой без оптимизаций вовсе. Это происходит потому, что в используемых примерах, доля инвариантного кода в циклах крайне высока, что делает влияние LICM оптимизации наиболее значимым (по сравнению с другими оптимизациями) на время выполнения программы.

Приложение

Приложение 1 сокращённый вывод программы тестирования

```
Performance counter stats for 'build/licm_5_00':
```

```

1 726,34 msec task-clock # 0,999 CPUs utilized
162 context-switches # 0,094 K/sec
0 cpu-migrations # 0,000 K/sec
895 page-faults # 0,518 K/sec
6 922 420 717 cycles # 4,010 GHz
(83,32%)
959 588 stalled-cycles-frontend # 0,01% frontend cycles idle
(83,32%)
5 705 496 389 stalled-cycles-backend # 82,42% backend cycles idle
(83,32%)
10 807 521 473 instructions # 1,56 insn per cycle
# 0,53 stalled cycles per insn
(83,33%)
801 509 450 branches # 464,284 M/sec
(83,32%)
18 612 branch-misses # 0,00% of all branches
(83,38%)

```

1,728830607 seconds time elapsed

1,722774000 seconds user

0,003997000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_5_01':

```

996,73 msec task-clock # 0,999 CPUs utilized
96 context-switches # 0,096 K/sec
0 cpu-migrations # 0,000 K/sec
897 page-faults # 0,900 K/sec
4 040 298 008 cycles # 4,054 GHz
(83,16%)
876 640 stalled-cycles-frontend # 0,02% frontend cycles idle
(83,15%)
3 229 542 520 stalled-cycles-backend # 79,93% backend cycles idle
(83,28%)
5 996 914 062 instructions # 1,48 insn per cycle
# 0,54 stalled cycles per insn
(83,56%)
400 724 855 branches # 402,039 M/sec
(83,55%)
13 948 branch-misses # 0,00% of all branches
(83,30%)

```

0,997849069 seconds time elapsed

0,993385000 seconds user

0,004005000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_5_01_no_licm':

```

1 041,66 msec task-clock # 0,998 CPUs utilized
97 context-switches # 0,093 K/sec
0 cpu-migrations # 0,000 K/sec
897 page-faults # 0,861 K/sec
4 174 406 971 cycles # 4,007 GHz
(83,11%)
628 582 stalled-cycles-frontend # 0,02% frontend cycles idle
(83,15%)
2 955 489 336 stalled-cycles-backend # 70,80% backend cycles idle
(83,50%)
9 993 124 565 instructions # 2,39 insn per cycle

```

```

# 0,30 stalled cycles per insn
(83,49%) 401 028 180 branches # 384,991 M/sec
(83,49%) 13 872 branch-misses # 0,00% of all branches
(83,25%)

```

1,043619413 seconds time elapsed

1,038080000 seconds user
0,004008000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_10_00':

```

1 561,66 msec task-clock # 0,999 CPUs utilized
149 context-switches # 0,095 K/sec
0 cpu-migrations # 0,000 K/sec
1 188 page-faults # 0,761 K/sec
6 280 301 855 cycles # 4,022 GHz
(83,36%) 1 618 062 stalled-cycles-frontend # 0,03% frontend cycles idle
(83,36%) 5 421 496 423 stalled-cycles-backend # 86,33% backend cycles idle
(83,36%) 9 406 385 137 instructions # 1,50 insn per cycle
# 0,58 stalled cycles per insn
(83,36%) 401 486 290 branches # 257,089 M/sec
(83,36%) 29 161 branch-misses # 0,01% of all branches
(83,20%)

```

1,563440210 seconds time elapsed

1,558012000 seconds user
0,004005000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_10_01':

```

689,51 msec task-clock # 0,998 CPUs utilized
65 context-switches # 0,094 K/sec
0 cpu-migrations # 0,000 K/sec
1 188 page-faults # 0,002 M/sec
2 755 106 616 cycles # 3,996 GHz
(83,18%) 702 603 stalled-cycles-frontend # 0,03% frontend cycles idle
(83,18%) 2 135 027 999 stalled-cycles-backend # 77,49% backend cycles idle
(83,19%) 4 996 400 677 instructions # 1,81 insn per cycle
# 0,43 stalled cycles per insn
(83,34%) 201 202 073 branches # 291,802 M/sec
(83,76%) 10 770 branch-misses # 0,01% of all branches
(83,34%)

```

0,690778371 seconds time elapsed

0,686095000 seconds user
0,004012000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_10_01_no_licm':

913,88 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
86	context-switches	#	0,094 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
1 186	page-faults	#	0,001 M/sec
3 659 988 440	cycles	#	4,005 GHz
(83,37%)			
914 546	stalled-cycles-frontend	#	0,02% frontend cycles idle
(83,38%)			
2 837 174 249	stalled-cycles-backend	#	77,52% backend cycles idle
(83,38%)			
8 990 603 731	instructions	#	2,46 insn per cycle
		#	0,32 stalled cycles per insn
(83,37%)			
201 373 758	branches	#	220,349 M/sec
(83,38%)			
12 261	branch-misses	#	0,01% of all branches
(83,12%)			

0,915257514 seconds time elapsed

0,914414000 seconds user

0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_20_00':

1 362,39 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
128	context-switches	#	0,094 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
2 063	page-faults	#	0,002 M/sec
5 447 857 479	cycles	#	3,999 GHz
(83,28%)			
2 837 788	stalled-cycles-frontend	#	0,05% frontend cycles idle
(83,28%)			
4 684 402 111	stalled-cycles-backend	#	85,99% backend cycles idle
(83,27%)			
8 701 145 995	instructions	#	1,60 insn per cycle
		#	0,54 stalled cycles per insn
(83,28%)			
201 970 296	branches	#	148,247 M/sec
(83,54%)			
25 714	branch-misses	#	0,01% of all branches
(83,36%)			

1,364293489 seconds time elapsed

1,350775000 seconds user

0,011989000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_20_01':

730,38 msec	task-clock	#	0,998 CPUs utilized
69	context-switches	#	0,094 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
2 061	page-faults	#	0,003 M/sec
2 918 600 837	cycles	#	3,996 GHz
(83,03%)			
1 259 149	stalled-cycles-frontend	#	0,04% frontend cycles idle
(83,03%)			
2 386 518 543	stalled-cycles-backend	#	81,77% backend cycles idle
(83,57%)			

4 501 653 388	instructions	#	1,54	insn per cycle
(83,58%)		#	0,53	stalled cycles per insn
102 078 449	branches	#	139,761	M/sec
(83,58%)				
17 656	branch-misses	#	0,02%	of all branches
(83,20%)				

0,731927130 seconds time elapsed

0,726749000 seconds user

0,003993000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_20_01_no_licm':

814,08 msec	task-clock	#	0,998	CPUs utilized
78	context-switches	#	0,096	K/sec
1	cpu-migrations	#	0,001	K/sec
2 061	page-faults	#	0,003	M/sec
3 203 342 249	cycles	#	3,935	GHz
(83,30%)				
1 781 651	stalled-cycles-frontend	#	0,06%	frontend cycles idle
(83,32%)				
2 485 572 880	stalled-cycles-backend	#	77,59%	backend cycles idle
(83,31%)				
8 118 525 246	instructions	#	2,53	insn per cycle
(83,30%)		#	0,31	stalled cycles per insn
101 738 530	branches	#	124,974	M/sec
(83,35%)				
18 312	branch-misses	#	0,02%	of all branches
(83,43%)				

0,815309864 seconds time elapsed

0,814369000 seconds user

0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_5_00':

1 732,63 msec	task-clock	#	0,999	CPUs utilized
160	context-switches	#	0,092	K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000	K/sec
604	page-faults	#	0,349	K/sec
7 022 950 415	cycles	#	4,053	GHz
(83,23%)				
1 123 061	stalled-cycles-frontend	#	0,02%	frontend cycles idle
(83,39%)				
6 615 891 785	stalled-cycles-backend	#	94,20%	backend cycles idle
(83,39%)				
3 205 940 111	instructions	#	0,46	insn per cycle
(83,39%)		#	2,06	stalled cycles per insn
201 477 768	branches	#	116,285	M/sec
(83,38%)				
34 415	branch-misses	#	0,02%	of all branches
(83,23%)				

1,734715800 seconds time elapsed

1,733130000 seconds user

0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_5_01':

253,39 msec	task-clock	#	0,996 CPUs utilized
24	context-switches	#	0,095 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
605	page-faults	#	0,002 M/sec
1 010 439 462	cycles	#	3,988 GHz
(82,64%)			
269 542	stalled-cycles-frontend	#	0,03% frontend cycles idle
(82,65%)			
798 627 428	stalled-cycles-backend	#	79,04% backend cycles idle
(83,26%)			
1 496 006 898	instructions	#	1,48 insn per cycle
		#	0,53 stalled cycles per insn
(84,22%)			
100 435 682	branches	#	396,371 M/sec
(84,22%)			
5 705	branch-misses	#	0,01% of all branches
(83,01%)			

0,254385395 seconds time elapsed

0,253817000 seconds user

0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_5_01_no_licm':

1 737,25 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
161	context-switches	#	0,093 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
607	page-faults	#	0,349 K/sec
7 018 895 568	cycles	#	4,040 GHz
(83,20%)			
761 728	stalled-cycles-frontend	#	0,01% frontend cycles idle
(83,25%)			
6 701 394 060	stalled-cycles-backend	#	95,48% backend cycles idle
(83,43%)			
3 305 727 897	instructions	#	0,47 insn per cycle
		#	2,03 stalled cycles per insn
(83,43%)			
101 598 222	branches	#	58,482 M/sec
(83,43%)			
20 370	branch-misses	#	0,02% of all branches
(83,26%)			

1,738914322 seconds time elapsed

1,737844000 seconds user

0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_10_00':

3 459,51 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
318	context-switches	#	0,092 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
1 089	page-faults	#	0,315 K/sec
14 025 489 196	cycles	#	4,054 GHz
(83,30%)			
1 472 040	stalled-cycles-frontend	#	0,01% frontend cycles idle
(83,36%)			

```

13 607 567 332      stalled-cycles-backend # 97,02% backend cycles idle
(83,36%)
  5 712 736 776      instructions          # 0,41 insn per cycle
                                           # 2,38 stalled cycles per insn
(83,36%)
 202 604 945        branches              # 58,565 M/sec
(83,36%)
   31 364           branch-misses         # 0,02% of all branches
(83,27%)

```

3,462131265 seconds time elapsed

3,459745000 seconds user
0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_10_01':

```

345,51 msec task-clock          # 0,997 CPUs utilized
   33      context-switches     # 0,096 K/sec
    0      cpu-migrations       # 0,000 K/sec
   1 088    page-faults        # 0,003 M/sec
  1 375 277 484    cycles       # 3,980 GHz
(82,65%)
   377 338      stalled-cycles-frontend # 0,03% frontend cycles idle
(83,03%)
   1 067 652 746    stalled-cycles-backend # 77,63% backend cycles idle
(83,80%)
   2 497 187 431    instructions          # 1,82 insn per cycle
                                           # 0,43 stalled cycles per insn
(83,80%)
  100 816 361      branches              # 291,790 M/sec
(83,80%)
    8 640         branch-misses         # 0,01% of all branches
(82,92%)

```

0,346651274 seconds time elapsed

Performance counter stats for 'build/licm_div_10_01_no_licm':

```

 3 457,64 msec task-clock          # 0,999 CPUs utilized
   319      context-switches     # 0,092 K/sec
    0      cpu-migrations       # 0,000 K/sec
   1 088    page-faults        # 0,315 K/sec
 14 029 189 425    cycles       # 4,057 GHz
(83,35%)
   1 354 842      stalled-cycles-frontend # 0,01% frontend cycles idle
(83,35%)
  13 505 806 770    stalled-cycles-backend # 96,27% backend cycles idle
(83,35%)
   5 811 732 041    instructions          # 0,41 insn per cycle
                                           # 2,32 stalled cycles per insn
(83,35%)
  102 643 770      branches              # 29,686 M/sec
(83,35%)
   33 215         branch-misses         # 0,03% of all branches
(83,26%)

```

3,460297546 seconds time elapsed

3,457768000 seconds user
0,000000000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_20_00':

6 928,77 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
637	context-switches	#	0,092 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
2 061	page-faults	#	0,297 K/sec
28 069 066 465	cycles	#	4,051 GHz
(83,33%)			
8 195 776	stalled-cycles-frontend	#	0,03% frontend cycles idle
(83,33%)			
27 317 301 428	stalled-cycles-backend	#	97,32% backend cycles idle
(83,32%)			
10 723 654 228	instructions	#	0,38 insn per cycle
		#	2,55 stalled cycles per insn
(83,33%)			
204 334 365	branches	#	29,491 M/sec
(83,34%)			
66 030	branch-misses	#	0,03% of all branches
(83,35%)			

6,934686529 seconds time elapsed

6,923285000 seconds user

0,003997000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_20_01':

710,60 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
71	context-switches	#	0,100 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
2 062	page-faults	#	0,003 M/sec
2 823 232 480	cycles	#	3,973 GHz
(83,13%)			
1 634 127	stalled-cycles-frontend	#	0,06% frontend cycles idle
(83,12%)			
2 304 871 209	stalled-cycles-backend	#	81,64% backend cycles idle
(83,13%)			
4 504 363 849	instructions	#	1,60 insn per cycle
		#	0,51 stalled cycles per insn
(83,65%)			
101 961 636	branches	#	143,486 M/sec
(83,69%)			
16 016	branch-misses	#	0,02% of all branches
(83,28%)			

0,711592650 seconds time elapsed

0,702796000 seconds user

0,007986000 seconds sys

Performance counter stats for 'build/licm_div_20_01_no_licm':

6 887,10 msec	task-clock	#	0,999 CPUs utilized
660	context-switches	#	0,096 K/sec
0	cpu-migrations	#	0,000 K/sec
2 062	page-faults	#	0,299 K/sec
28 073 058 606	cycles	#	4,076 GHz
(83,33%)			
7 844 098	stalled-cycles-frontend	#	0,03% frontend cycles idle
(83,34%)			
26 898 452 988	stalled-cycles-backend	#	95,82% backend cycles idle
(83,34%)			

10 421 196 177	instructions	#	0,37	insn per cycle
(83,34%)		#	2,58	stalled cycles per insn
104 781 888	branches	#	15,214	M/sec
(83,34%)				
121 364	branch-misses	#	0,12%	of all branches
(83,30%)				
6,892377577 seconds time elapsed				
6,881982000 seconds user				
0,003996000 seconds sys				