Описание используемой вычислительной системы и компилятора

На моей рабочей машине используется процессор со следующими характеристиками:

Спецификации производительности

Количество ядер	4
Количество потоков	8
Базовая тактовая частота процессора	2,60 GHz
Максимальная тактовая частота с технологией Turbo Boost	3,50 GHz
Кэш-память	6 MB Intel® Smart Cache
Частота системной шины	8 GT/s
Расчетная мощность	45 W
Настраиваемая величина TDP (в сторону уменьшения)	35 W

Программа писалась на языке C++ в Clion на MacOs. Компилятор g++ (Mingw-w64). Программы компилировались следующим образом:

g++ (gcc) main.cpp -o test –mavx (-msse)

Программа писалась на языке C++ в Clion на MacOs. Компилятор g++ (Mingw-w64). Программы компилировались следующим образом:

На малом кластере следующий процессор:

```
processor       : 0
vendor_id       : GenuineIntel
cpu family      : 6
model           : 79
model name      : Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v4 @ 2.10GHz
stepping        : 1
microcode       : 0xb000036
cpu MHz         : 1201.132
cache size      : 20480 KB
physical id     : 0
siblings        : 16
core id         : 0
cpu cores       : 8
apicid          : 0
initial apicid  : 0
fpu             : yes
fpu_exception   : yes
cpuid level     : 20
wp              : yes
flags           : fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr pge mca cmov
pat pse36 clflush dts acpi mmx fxsr sse sse2 ss ht tm pbe syscall nx pdpe1gb rdt
scp lm constant_tsc arch_perfmon pebs bts rep_good nopl xtopology nonstop_tsc cp
uid aperfmperf pni pclmulqdq dtes64 monitor ds_cpl vmx smx est tm2 ssse3 sdbg fm
a cx16 xtpr pdcm pcid dca sse4_1 sse4_2 x2apic movbe popcnt tsc_deadline_timer a
es xsave avx f16c rdrand lahf_lm abm 3dnowprefetch cpuid_fault epb cat_l3 cdp_l3
 invpcid_single pti intel_ppin ssbd ibrs ibpb stibp tpr_shadow vnmi flexpriority
 ept vpid fsgsbase tsc_adjust bmi1 hle avx2 smep bmi2 erms invpcid rtm cqm rdt_a
 rdseed adx smap intel_pt xsaveopt cqm_llc cqm_occup_llc cqm_mbm_total cqm_mbm_l
ocal dtherm ida arat pln pts md_clear flush_l1d
bugs            : cpu_meltdown spectre_v1 spectre_v2 spec_store_bypass l1tf mds
swapgs
bogomips        : 4199.74
clflush size    : 64
cache_alignment : 64
address sizes   : 46 bits physical, 48 bits virtual
power management:

processor       : 1
vendor_id       : GenuineIntel
cpu family      : 6
model           : 79
model name      : Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v4 @ 2.10GHz
stepping        : 1
microcode       : 0xb000036
```

Результаты выполнения задания

- исходная программа, без оптимизации (Интегрирование, Stencil, моя машина)
  Выключаем оптимизацию –O0.

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1       11981.058           0.083       2.287e-11*
    2       11559.804           0.087       1.032e-28*
    3       11108.786           0.090       3.592e-30*
    4       10994.585           0.091       2.865e-27
    5       11057.378           0.090       3.664e-30
    6       10973.399           0.091       7.172e-29
    7       11520.020           0.087       2.644e-28
    8       11093.995           0.090       5.163e-30
    9       11102.230           0.090       3.345e-28
   10       11059.004           0.090       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
          11114.4+-142.2      0.1+--nan
-----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

```
Edge detection with a 3x3 stencil

Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms            GB/s         GFLOP/s
    1        1022.058           0.282           0.634 *
    2        1143.808           0.252           0.567 *
    3         992.105           0.290           0.653 *
    4        1082.184           0.266           0.599
    5         965.170           0.298           0.671
    6         979.507           0.294           0.662
    7        1106.258           0.260           0.586
    8        1044.643           0.276           0.620
    9         994.298           0.290           0.652
   10        1006.513           0.286           0.644
----------------------------------------------------
Average performance:
          1025.5+-49.6       0.3+-0.0       0.6+-0.0
----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average


Output written into output.png
```

- исходная программа, без оптимизации (Интегрирование, Stencil, малый кластер)
  Выключаем оптимизацию –O0.

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1       29115.572           0.034       2.287e-11*
    2       29070.961           0.034       1.032e-28*
    3       32294.621           0.031       3.592e-30*
    4       29501.433           0.034       2.865e-27
    5       31745.054           0.032       3.664e-30
    6       29114.166           0.034       7.172e-29
    7       29057.321           0.034       2.644e-28
    8       29056.432           0.034       5.163e-30
    9       29292.291           0.034       3.345e-28
   10       29215.169           0.034       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
           29568.8+-900.2       0.0+-0.0
-----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

- исходная программа, оптимизированная только с помощью ключей компилятора (Интегрирование, Stencil, моя машина)

Включаем оптимизацию с помощью –O1, -O2, -O3, –Ofast (более высокий уровень оптимизаций и более агрессивные оптимизации для арифметических вычислений), IPO (анализ программы в целом), -xAVX2 (технологии векторизации)

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1         660.208          0.436           0.982 *
    2         660.058          0.436           0.982 *
    3         659.849          0.436           0.982 *
    4         660.094          0.436           0.982
    5         660.324          0.436           0.981
    6         659.799          0.436           0.982
    7         659.917          0.436           0.982
    8         660.050          0.436           0.982
    9         660.337          0.436           0.981
   10         659.968          0.436           0.982
-----------------------------------------------------
Average performance:
            660.1+-0.2       0.4+-0.0        1.0+-0.0
-----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

Интегрирование

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        4194.264           0.238       2.287e-11*
    2        4140.666           0.242       1.032e-28*
    3        4105.519           0.244       3.592e-30*
    4        3977.546           0.251       2.865e-27
    5        4079.034           0.245       3.664e-30
    6        4143.040           0.241       7.172e-29
    7        4069.509           0.246       2.644e-28
    8        4131.818           0.242       5.163e-30
    9        4030.948           0.248       3.345e-28
   10        4074.888           0.245       1.259e-28
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        4194.960           0.238       2.287e-11*
    2        4065.831           0.246       1.032e-28*
    3        4049.031           0.247       3.592e-30*
    4        4073.038           0.246       2.865e-27
    5        4065.722           0.246       3.664e-30
    6        4203.353           0.238       7.172e-29
    7        4110.514           0.243       2.644e-28
    8        4072.271           0.246       5.163e-30
    9        4087.307           0.245       3.345e-28
   10        4053.108           0.247       1.259e-28
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        4139.108           0.242       2.287e-11*
    2        4029.004           0.248       1.032e-28*
    3        4364.654           0.229       3.592e-30*
    4        5006.801           0.200       2.865e-27
    5        4505.111           0.222       3.664e-30
    6        4476.698           0.223       7.172e-29
    7        4529.280           0.221       2.644e-28
    8        4447.000           0.225       5.163e-30
    9        4489.174           0.223       3.345e-28
   10        4468.958           0.224       1.259e-28
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        4023.407           0.249       2.287e-11*
    2        4004.520           0.250       1.032e-28*
    3        4030.719           0.248       3.592e-30*
    4        4012.510           0.249       2.889e-27
    5        4171.053           0.240       3.904e-30
    6        4010.656           0.249       7.520e-29
    7        3967.768           0.252       2.692e-28
    8        3979.910           0.251       6.286e-30
    9        4033.947           0.248       3.225e-28
   10        4102.590           0.244       1.259e-28
zsh: segmentation fault (core dumped)  ./crazy
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        3977.228           0.251       2.287e-11*
    2        4001.944           0.250       1.032e-28*
    3        4069.763           0.246       3.592e-30*
    4        3991.716           0.251       2.889e-27
    5        3965.319           0.252       3.904e-30
    6        4035.385           0.248       7.520e-29
    7        3969.275           0.252       2.692e-28
    8        3949.214           0.253       6.286e-30
    9        3980.057           0.251       3.225e-28
   10        3958.601           0.253       1.259e-28
zsh: segmentation fault (core dumped)  ./crazy
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms         GSteps/s         Accuracy
    1         4075.247            0.245        2.287e-11*
    2         4084.962            0.245        1.032e-28*
    3         3985.958            0.251        3.592e-30*
    4         4072.339            0.246        2.889e-27
    5         4101.826            0.244        3.904e-30
    6         4071.533            0.246        7.520e-29
    7         4050.682            0.247        2.692e-28
    8         4082.755            0.245        6.286e-30
    9         4063.748            0.246        3.225e-28
   10         4049.259            0.247        1.259e-28
```

Stencil

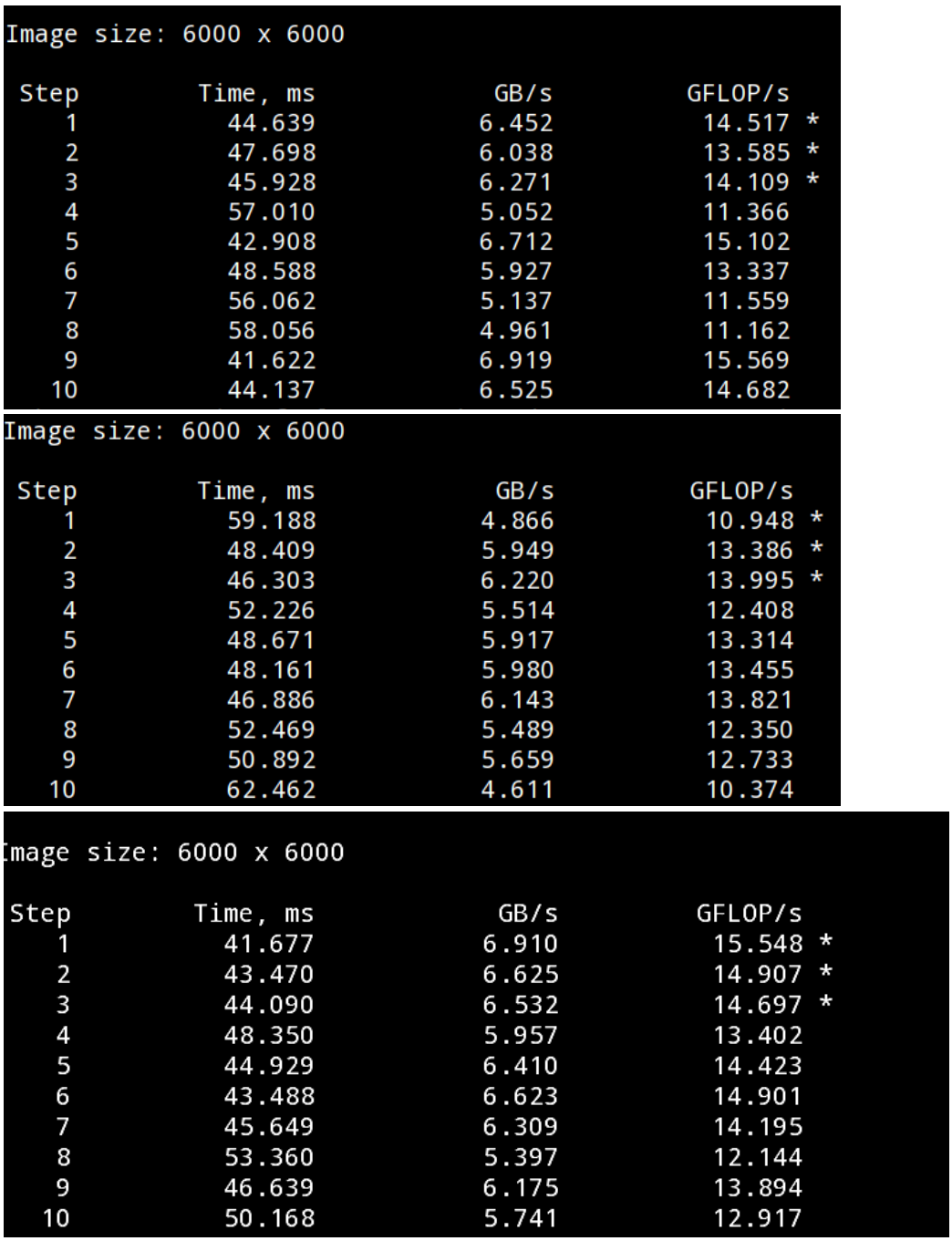
```
 Step         Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1          393.501          0.732           1.647 *
    2          354.069          0.813           1.830 *
    3          337.720          0.853           1.919 *
    4          357.759          0.805           1.811
    5          338.422          0.851           1.915
    6          346.483          0.831           1.870
    7          363.110          0.793           1.785
    8          365.143          0.789           1.775
    9          346.289          0.832           1.871
   10          343.480          0.838           1.887
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step         Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1          345.231          0.834           1.877
    2          352.230          0.818           1.840
    3          344.408          0.836           1.881
    4          350.103          0.823           1.851
    5          362.172          0.795           1.789
    6          337.607          0.853           1.919
    7          392.767          0.733           1.650
    8          343.660          0.838           1.886
    9          373.574          0.771           1.735
   10          358.278          0.804           1.809
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step         Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1           60.025          4.798          10.795 *
    2           73.711          3.907           8.791 *
    3           61.348          4.695          10.563 *
    4           96.410          2.987           6.721
    5           80.976          3.557           8.002
    6           60.795          4.737          10.659
    7           60.266          4.779          10.752
    8           62.548          4.604          10.360
    9           63.174          4.559          10.257
   10           66.465          4.333           9.750
```



```
Image size: 6000 x 6000

 Step         Time, ms          GB/s        GFLOP/s
    1           44.639         6.452         14.517 *
    2           47.698         6.038         13.585 *
    3           45.928         6.271         14.109 *
    4           57.010         5.052         11.366
    5           42.908         6.712         15.102
    6           48.588         5.927         13.337
    7           56.062         5.137         11.559
    8           58.056         4.961         11.162
    9           41.622         6.919         15.569
   10           44.137         6.525         14.682
Image size: 6000 x 6000

 Step         Time, ms          GB/s        GFLOP/s
    1           59.188         4.866         10.948 *
    2           48.409         5.949         13.386 *
    3           46.303         6.220         13.995 *
    4           52.226         5.514         12.408
    5           48.671         5.917         13.314
    6           48.161         5.980         13.455
    7           46.886         6.143         13.821
    8           52.469         5.489         12.350
    9           50.892         5.659         12.733
   10           62.462         4.611         10.374
Image size: 6000 x 6000

Step         Time, ms          GB/s        GFLOP/s
   1           41.677         6.910         15.548 *
   2           43.470         6.625         14.907 *
   3           44.090         6.532         14.697 *
   4           48.350         5.957         13.402
   5           44.929         6.410         14.423
   6           43.488         6.623         14.901
   7           45.649         6.309         14.195
   8           53.360         5.397         12.144
   9           46.639         6.175         13.894
  10           50.168         5.741         12.917
```

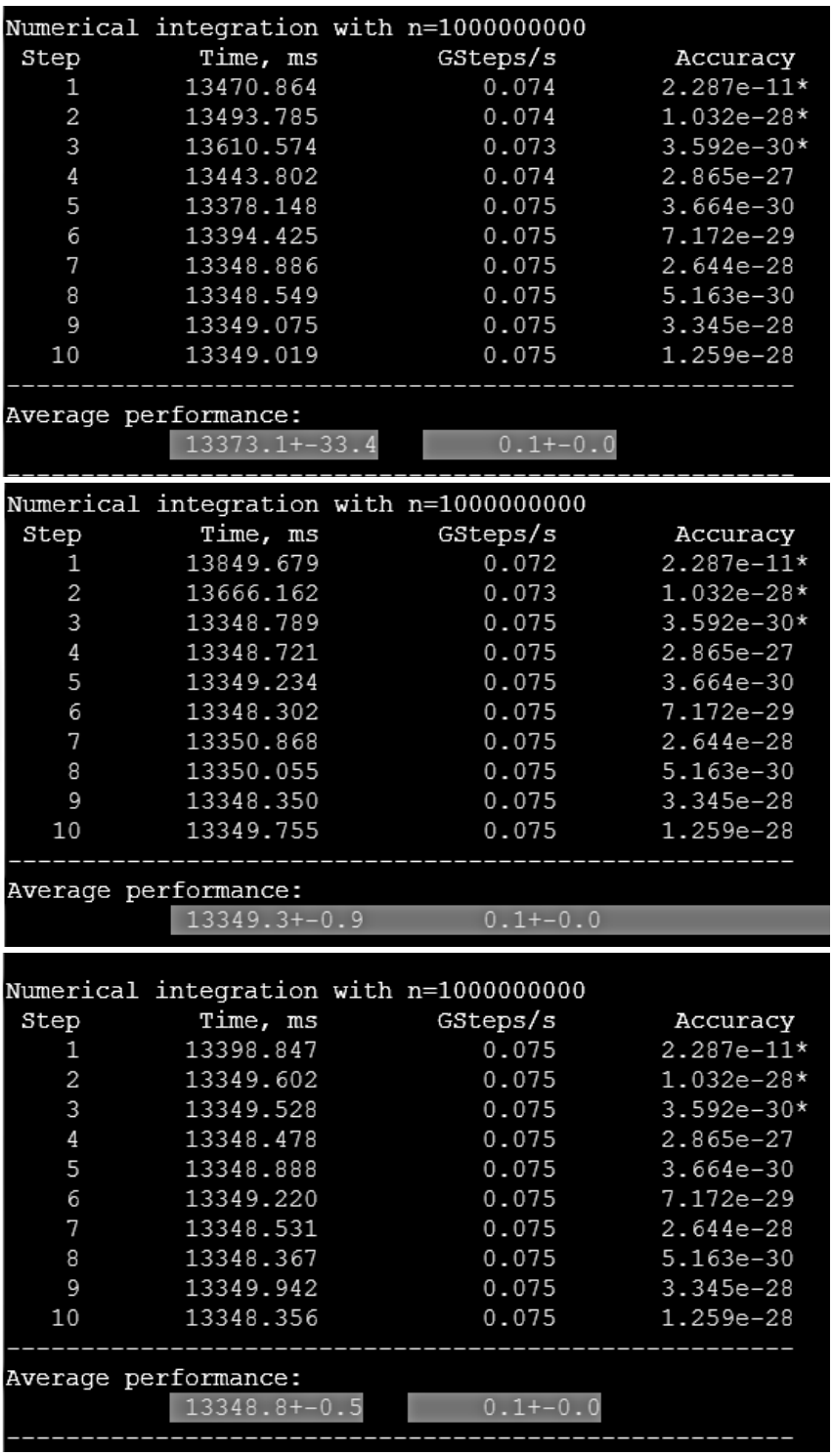
- исходная программа, оптимизированная только с помощью ключей компилятора (Интегрирование, Stencil, малый кластер)
  Включаем оптимизацию с помощью –O1, -O2, -O3, –Ofast (более высокий уровень оптимизаций и более агрессивные оптимизации для арифметических вычислений), IPO (анализ программы в целом), -xAVX2 (технологии векторизации)

  Интегрирование

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        6818.301           0.147       2.287e-11*
    2        6757.135           0.148       1.032e-28*
    3        6747.776           0.148       3.592e-30*
    4        6747.734           0.148       2.865e-27
    5        6748.196           0.148       3.664e-30
    6        6749.262           0.148       7.172e-29
    7        6749.767           0.148       2.644e-28
    8        6753.536           0.148       5.163e-30
    9        6749.553           0.148       3.345e-28
   10        6821.597           0.147       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
           6759.9+-25.2      0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1       13647.395           0.073       2.287e-11*
    2       13397.094           0.075       1.032e-28*
    3       13845.055           0.072       3.592e-30*
    4       14419.038           0.069       2.865e-27
    5       13380.516           0.075       3.664e-30
    6       13922.776           0.072       7.172e-29
    7       14190.030           0.070       2.644e-28
    8       13383.012           0.075       5.163e-30
    9       13459.210           0.074       3.345e-28
   10       13469.528           0.074       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
          13746.3+-397.4      0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
```

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step        Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1       13429.405           0.074       2.287e-11*
    2       13376.995           0.075       1.032e-28*
    3       13376.570           0.075       3.592e-30*
    4       13376.347           0.075       2.865e-27
    5       13376.191           0.075       3.664e-30
    6       13376.952           0.075       7.172e-29
    7       13376.217           0.075       2.644e-28
    8       13376.342           0.075       5.163e-30
    9       13376.297           0.075       3.345e-28
   10       13376.331           0.075       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
          13376.4+-0.2      0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
```



```
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms         GSteps/s         Accuracy
    1       13470.864            0.074       2.287e-11*
    2       13493.785            0.074       1.032e-28*
    3       13610.574            0.073       3.592e-30*
    4       13443.802            0.074       2.865e-27
    5       13378.148            0.075       3.664e-30
    6       13394.425            0.075       7.172e-29
    7       13348.886            0.075       2.644e-28
    8       13348.549            0.075       5.163e-30
    9       13349.075            0.075       3.345e-28
   10       13349.019            0.075       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
           13373.1+-33.4        0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms         GSteps/s         Accuracy
    1       13849.679            0.072       2.287e-11*
    2       13666.162            0.073       1.032e-28*
    3       13348.789            0.075       3.592e-30*
    4       13348.721            0.075       2.865e-27
    5       13349.234            0.075       3.664e-30
    6       13348.302            0.075       7.172e-29
    7       13350.868            0.075       2.644e-28
    8       13350.055            0.075       5.163e-30
    9       13348.350            0.075       3.345e-28
   10       13349.755            0.075       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
           13349.3+-0.9         0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms         GSteps/s         Accuracy
    1       13398.847            0.075       2.287e-11*
    2       13349.602            0.075       1.032e-28*
    3       13349.528            0.075       3.592e-30*
    4       13348.478            0.075       2.865e-27
    5       13348.888            0.075       3.664e-30
    6       13349.220            0.075       7.172e-29
    7       13348.531            0.075       2.644e-28
    8       13348.367            0.075       5.163e-30
    9       13349.942            0.075       3.345e-28
   10       13348.356            0.075       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
           13348.8+-0.5         0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
```

Stencil

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1         309.909          0.929           2.091 *
    2         310.057          0.929           2.090 *
    3         309.928          0.929           2.091 *
    4         309.871          0.929           2.091
    5         309.945          0.929           2.091
    6         310.233          0.928           2.089
    7         309.919          0.929           2.091
    8         310.089          0.929           2.090
    9         310.121          0.929           2.090
   10         309.989          0.929           2.090
----------------------------------------------------
Average performance:
           310.0+-0.1       0.9+-0.0         2.1+-0.0
----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1         298.985          0.963           2.167 *
    2         298.901          0.964           2.168 *
    3         298.966          0.963           2.167 *
    4         299.154          0.963           2.166
    5         298.885          0.964           2.168
    6         298.881          0.964           2.168
    7         299.045          0.963           2.167
    8         299.014          0.963           2.167
    9         298.921          0.963           2.168
   10         299.068          0.963           2.167
----------------------------------------------------
Average performance:
           299.0+-0.1       1.0+-0.0         2.2+-0.0
----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1          54.111          5.322          11.975 *
    2          54.125          5.321          11.972 *
    3          54.089          5.325          11.980 *
    4          54.104          5.323          11.977
    5          54.087          5.325          11.981
    6          54.114          5.322          11.975
    7          54.108          5.323          11.976
    8          54.086          5.325          11.981
    9          54.109          5.323          11.976
   10          54.090          5.324          11.980
----------------------------------------------------
Average performance:
           54.1+-0.0        5.3+-0.0        12.0+-0.0
----------------------------------------------------
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1          36.410          7.910          17.797 *
    2          36.076          7.983          17.962 *
    3          36.051          7.989          17.974 *
    4          36.050          7.989          17.975
    5          36.047          7.990          17.977
    6          36.090          7.980          17.955
    7          36.068          7.985          17.966
    8          36.221          7.951          17.890
    9          36.070          7.985          17.965
   10          36.067          7.985          17.967
----------------------------------------------------
Average performance:
           36.1+-0.1        8.0+-0.0        18.0+-0.0
----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1          36.326          7.928          17.838 *
    2          36.064          7.986          17.968 *
    3          36.066          7.985          17.967 *
    4          36.061          7.986          17.969
    5          36.061          7.987          17.970
    6          36.088          7.980          17.956
    7          36.054          7.988          17.973
    8          36.054          7.988          17.973
    9          36.063          7.986          17.969
   10          36.064          7.986          17.968
-----------------------------------------------------
Average performance:
           36.1+-0.0       8.0+-0.0       18.0+-0.0
-----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step        Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1          36.365          7.920          17.819 *
    2          36.093          7.979          17.954 *
    3          36.134          7.970          17.933 *
    4          36.072          7.984          17.964
    5          36.048          7.989          17.976
    6          36.098          7.978          17.951
    7          36.072          7.984          17.964
    8          36.074          7.984          17.963
    9          36.067          7.985          17.967
   10          36.082          7.982          17.959
-----------------------------------------------------
Average performance:
           36.1+-0.0       8.0+-0.0       18.0+-0.0
-----------------------------------------------------
```

- программа, векторизованная полуавтоматически (с помощью директив и ключей компилятора и незначительной правки кода), (Интегрирование, Stencil, моя машина)

  в файл worker.cc я добавил #pragma omp simd (обязательная векторизация) reduction(+: I) флаги: -Ofast –Ipo

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms         GSteps/s         Accuracy
    1         3841.309            0.260       2.287e-11*
    2         3845.396            0.260       1.032e-28*
    3         4124.100            0.242       3.592e-30*
    4         3840.076            0.260       2.889e-27
    5         4173.028            0.240       3.904e-30
    6         3981.697            0.251       7.520e-29
    7         4074.284            0.245       2.692e-28
    8         4170.060            0.240       6.286e-30
    9         4058.579            0.246       3.225e-28
   10         4129.819            0.242       1.259e-28
```

  в файл stencil.cc я добавил #pragma omp simd флаги: -Ofast –Ipo -xAVX2

```
Image size: 6000 x 6000

 Step         Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1           39.911          7.216          16.236 *
    2           39.904          7.217          16.239 *
    3           47.861          6.017          13.539 *
    4           45.972          6.265          14.096
    5           40.693          7.077          15.924
    6           43.341          6.645          14.951
    7           40.464          7.117          16.014
    8           41.985          6.860          15.434
    9           59.838          4.813          10.829
   10           46.101          6.247          14.056
```

• программа, векторизованная полуавтоматически (с помощью директив и ключей компилятора и незначительной правки кода), (Интегрирование, Stencil, малый кластер) – все те же опции

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1       13400.392           0.075       2.287e-11*
    2       13351.515           0.075       1.032e-28*
    3       13350.092           0.075       3.592e-30*
    4       13368.619           0.075       2.865e-27
    5       13351.783           0.075       3.664e-30
    6       13352.143           0.075       7.172e-29
    7       13354.086           0.075       2.644e-28
    8       13353.325           0.075       5.163e-30
    9       13352.261           0.075       3.345e-28
   10       13352.847           0.075       1.259e-28
-----------------------------------------------------
Average performance:
           13355.0+-5.6        0.1+-0.0
-----------------------------------------------------
```

```
Image size: 6000 x 6000

 Step         Time, ms           GB/s         GFLOP/s
    1           36.313          7.931          17.845 *
    2           36.042          7.991          17.979 *
    3           36.024          7.995          17.988 *
    4           36.024          7.995          17.988
    5           36.016          7.996          17.992
    6           36.029          7.994          17.986
    7           36.013          7.997          17.993
    8           36.034          7.992          17.983
    9           36.023          7.995          17.989
   10           36.028          7.994          17.986
-----------------------------------------------------
Average performance:
           36.0+-0.0          8.0+-0.0       18.0+-0.0
-----------------------------------------------------
* - warm-up, not included in average
```

• программа, векторизованная и распараллеленная полуавтоматически (Интегрирование, Stencil, моя машина) Настройки из предыдущего пункта. Добавил #pragma omp parallel for (разделить цикл на итерации между потоками)

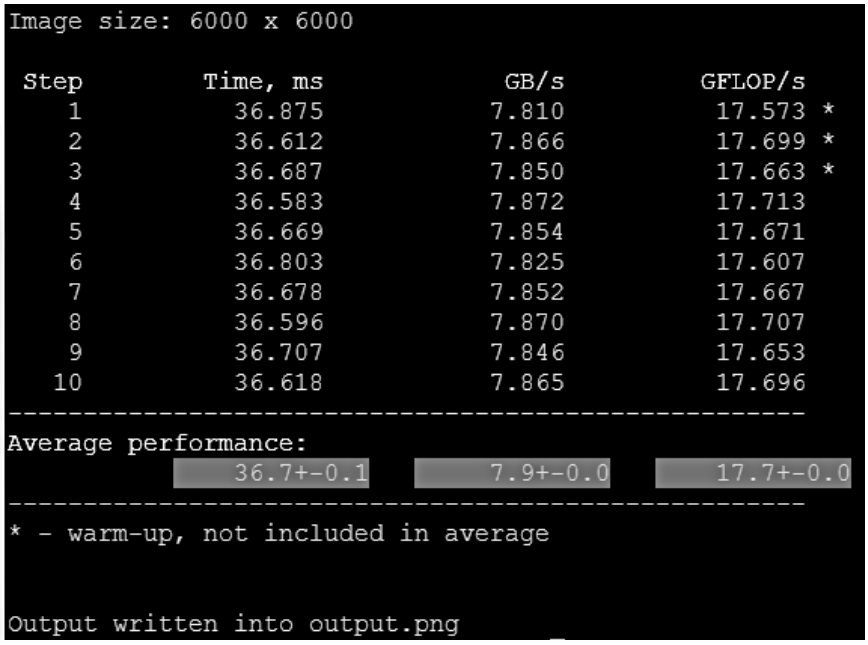
```
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1         4318.270           0.232       2.287e-11*
    2         4387.886           0.228       1.032e-28*
    3         4439.481           0.225       3.592e-30*
    4         4335.861           0.231       2.889e-27
    5         4358.737           0.229       3.904e-30
    6         4512.308           0.222       7.520e-29
    7         5044.210           0.198       2.692e-28
    8         5224.694           0.191       6.286e-30
    9         5418.838           0.185       3.225e-28
   10         4710.352           0.212       1.259e-28
```

```
Image size: 6000 x 6000

Step         Time, ms           GB/s         GFLOP/s
   1           60.456          4.764          10.718 *
   2           61.605          4.675          10.519 *
   3           46.500          6.194          13.936 *
   4           50.786          5.671          12.759
   5           45.766          6.293          14.159
   6           44.678          6.446          14.504
   7           46.742          6.161          13.863
   8           52.391          5.497          12.369
   9           53.735          5.360          12.059
  10           57.651          4.996          11.240
```

- программа, векторизованная и распараллеленная полуавтоматически (Интегрирование, Stencil, малый кластер) Настройки из предыдущего пункта. Добавил #pragma omp parallel for (разделить цикл на итерации между потоками)

```
Numerical integration with n=1000000000
 Step         Time, ms        GSteps/s        Accuracy
    1        13888.267           0.072       2.287e-11*
    2        14474.006           0.069       1.032e-28*
    3        14472.228           0.069       3.592e-30*
    4        14433.871           0.069       2.865e-27
    5        13623.248           0.073       3.664e-30
    6        13725.177           0.073       7.172e-29
    7        13725.274           0.073       2.644e-28
    8        14247.052           0.070       5.163e-30
    9        14466.077           0.069       3.345e-28
   10        14823.372           0.067       1.259e-28
-------------------------------------------------------
Average performance:
           14149.2+-427.9       0.1+-0.0
-------------------------------------------------------
```



Сравнение с теоретическими результатами

Время выполнения итерации прямо пропорционально времени выполнения операции с 1 потоком и обратно пропорционально количеству потоков. (compute bound).

При количестве потоков равным или более 2 время в моих расчетах даже выросло (memory bound)

интегрирование

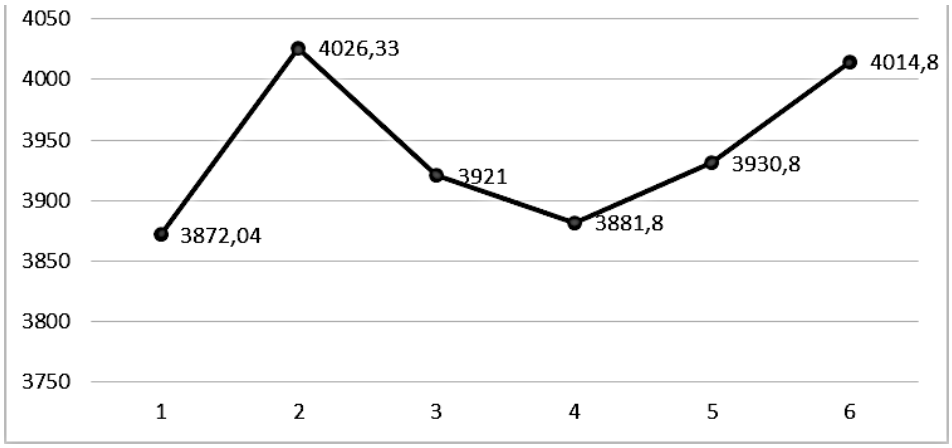
Ключ	**Моя машина**	**Малый кластер**
-O0	**11114**	**29568,8**
-Ofast	**4033,1**	**13373,1**
-Ofast -Ipo	**3989,8502**	**13349,3**
-Ofast –Ipo -xAVX2	**4063,8309**	**13348**
#pragma omp simd	**4023,83**	**13355**
#pragma omp parallel for	**4675,06**	**14149,2**

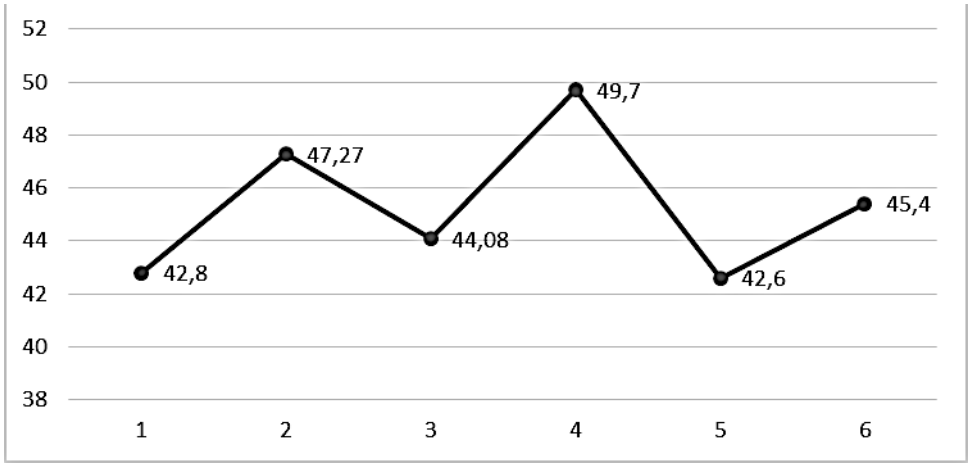
Ключ	Моя машина	Малый кластер
-O0	1025,5	660,1
-Ofast	48,66	36,1
-Ofast -Ipo	51,57	36,1
-Ofast –Ipo -xAVX2	46,18	36,1
#pragma omp simd	44,61	36
#pragma omp parallel for	52,031	36,7

stencil

График зависимости ускорения выполнения от числа потоков и сравнение с теоретической моделью

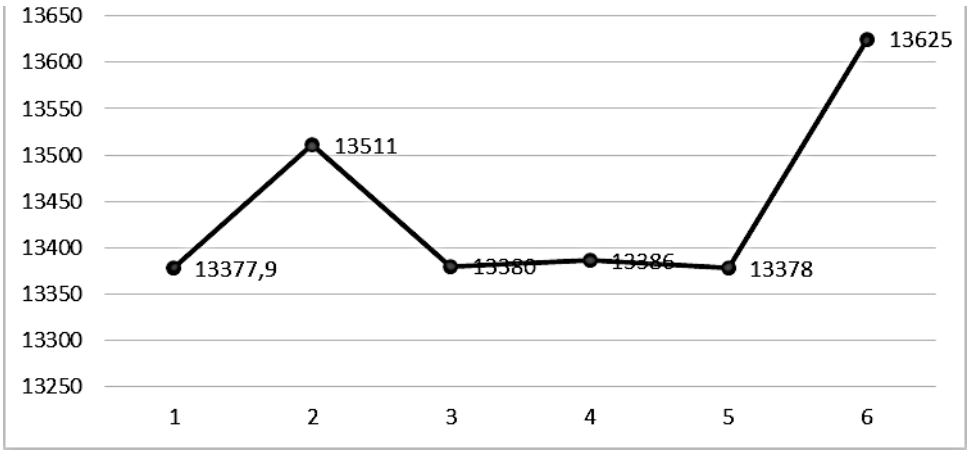
Интегрирование



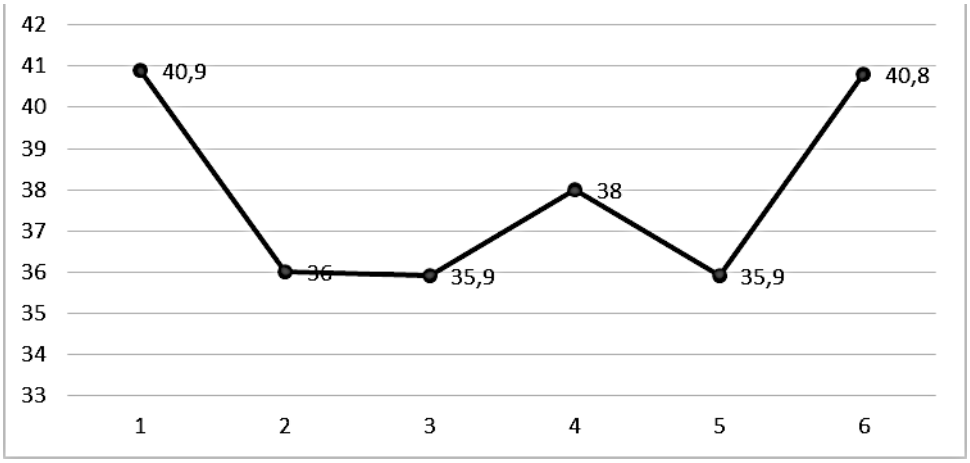


Stencil

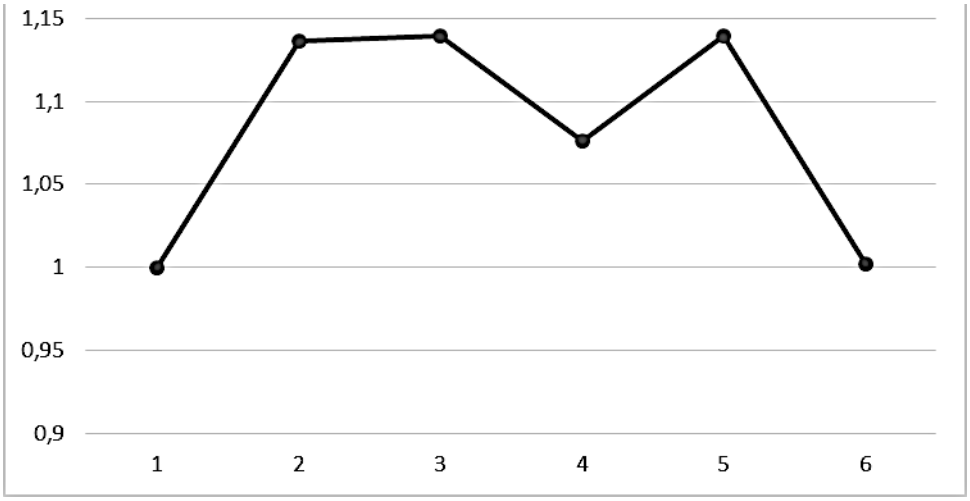
Можно заметить, что при увеличении числа потоков на моей машине время выполнения не менялось особо

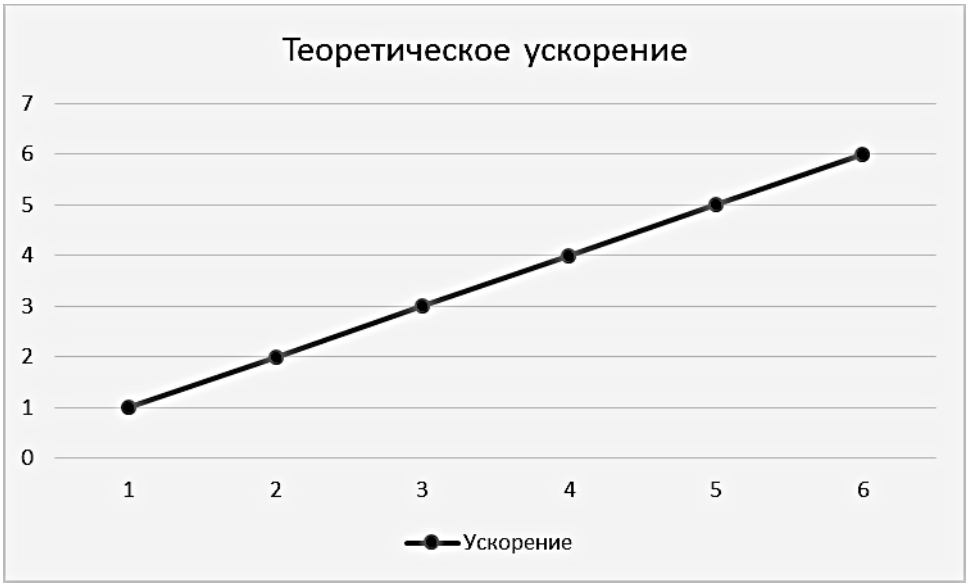


Аналогично при увеличении числа потоков время выполнения не ускорилось, а увеличилось



Малый кластер





Выводы

Распараллеливание процессов почему-то не дало результатов в производительности у задачи по интегрированию. По задаче стенсила прирост производительности в 1,15 раз в максимальной точке. По полученным результатам можно сделать вывод, что обе задачи класса memory-bound из-за ограничений памяти. Однако задача с интегрированием должна быть compute-bound.