МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Практикум по учебному курсу

"Суперкомпьютеры и параллельная обработка данных"

Задание №1:

Разработка параллельной версии программы 2 Matrix Multiplications с использованием технологии OpenMP.

Отчет

студента 325 группы

факультета ВМК МГУ

Хайбулаева Глеба Сергеевича

2018 год

Постановка задачи

Распараллелить предложенную реализацию программы 2 Matrix Multiplications с использованием технологии OpenMP, а затем исследовать масштабируемость полученной программы, построить графики зависимости времени её выполнения от числа используемых ядер и объёма входных данных. Программа получает на вход 4 числа – размеры четырех матриц A, B, C и D и на основе этих данных вычисляет выражение 1.5*A*B*C + 1.2*D.

Код программы

```
1.  #include <stdio.h>
2.  #include <unistd.h>
3.  #include <math.h>
4.  #include <stdlib.h>
5.  #include <omp.h>
6.  int NUM_THREADS;
7.  static
8.  void init_array(int ni, int nj, int nk, int nl,
9.                  double *alpha, double *beta,
10.                 double A [ni] [nk],
11.                 double B [nk] [nj],
12.                 double C [nj] [nl],
13.                 double D [ni] [nl])
14. {
15.    int i, j;
16.    *alpha = 1.5;
17.    *beta = 1.2;
18.    for (i = 0; i < ni; i++)
19.       for (j = 0; j < nk; j++)
20.          A[i][j] = (double) ((i * j + 1) % ni) / ni;
21.    for (i = 0; i < nk; i++)
22.       for (j = 0; j < nj; j++)
```

```
23.             B[i][j] = (double) (i * (j + 1) % nj) / nj;
24.     for (i = 0; i < nj; i++)
25.         for (j = 0; j < nl; j++)
26.             C[i][j] = (double) ((i * (j + 3) + 1) % nl) / nl;
27.     for (i = 0; i < ni; i++)
28.         for (j = 0; j < nl; j++)
29.             D[i][j] = (double) (i * (j + 2) % nk) / nk;
30. }
31.
32. static
33. void kernel_2mm(int ni, int nj, int nk, int nl,
34.                 double alpha,
35.                 double beta,
36.                 double tmp[ ni][nj],
37.                 double A[ ni][nk],
38.                 double B[ nk][nj],
39.                 double C[ nj][nl],
40.                 double D[ ni][nl])
41. {
42.     omp_set_num_threads(NUM_THREADS);
43.     #pragma omp parallel for
44.     for (int i = 0; i < ni; i++)
45.         for (int j = 0; j < nj; j++)
46.         {
47.             tmp[i][j] = 0.0;
48.             for (int k = 0; k < nk; ++k)
49.                 tmp[i][j] += alpha * A[i][k] * B[k][j];
50.         }
```

```
51.     #pragma omp barrier
52.     omp_set_num_threads(NUM_THREADS);
53.     #pragma omp parallel for
54.     for (int i = 0; i < ni; i++)
55.         for (int j = 0; j < nl; j++)
56.         {
57.             D[i][j] *= beta;
58.             for (int k = 0; k < nj; ++k)
59.                 D[i][j] += tmp[i][k] * C[k][j];
60.         }
61. }
62.
63. int main(int argc, char** argv)
64. {
65.     double alpha;
66.     double beta;
67.     int nums[8] = {1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128};
68.     int nis[5] = {16, 40, 180, 800, 1600};
69.     int njs[5] = {18, 50, 190, 900, 1800};
70.     int nks[5] = {22, 70, 210, 1100, 2200};
71.     int nls[5] = {24, 80, 220, 1200, 2400};
72.     for (int t = 0; t < 5; t++) {
73.         int ni = nis[t];
74.         int nk = nks[t];
75.         int nj = njs[t];
76.         int nl = nls[t];
77.         printf("ni = %d, nk = %d, nj = %d, nl = %d\n \n", ni, nk, nj, nl);
78.
```

```
79.     double (*tmp)[ni][nj]; tmp = (double(*)[ni][nj])malloc ((ni) * (nj) * sizeof(double));
80.     double (*A)[ni][nk]; A = (double(*)[ni][nk])malloc ((ni) * (nk) * sizeof(double));
81.     double (*B)[nk][nj]; B = (double(*)[nk][nj])malloc ((nk) * (nj) * sizeof(double));
82.     double (*C)[nj][nl]; C = (double(*)[nj][nl])malloc ((nj) * (nl) * sizeof(double));
83.     double (*D)[ni][nl]; D = (double(*)[ni][nl])malloc ((ni) * (nl) * sizeof(double));
84.
85.     init_array (ni, nj, nk, nl, &alpha, &beta,
86.                 *A,
87.                 *B,
88.                 *C,
89.                 *D);
90.
91.     for (int i = 0; i < 8; i++) {
92.       NUM_THREADS = nums[i];
93.       double start = omp_get_wtime();
94.       kernel_2mm (ni, nj, nk, nl,
95.                   alpha, beta,
96.                   *tmp,
97.                   *A,
98.                   *B,
99.                   *C,
100.                            *D);
101.                  double end = omp_get_wtime();
102.                  printf("Number of threads = %d\n", NUM_THREADS);
103.                  printf("Time = %.6f", end - start);
104.                  printf("\n");
105.                }
106.                free((void*)tmp);
```

```
107.                free((void*)A);
108.                free((void*)B);
109.                free((void*)C);
110.                free((void*)D);
111.                printf("\n");
112.            }
113.            return 0;
114.        }
```

Распараллелена программа классическими приёмами, рассмотренными на лекции.

Результаты замеров времени выполнения

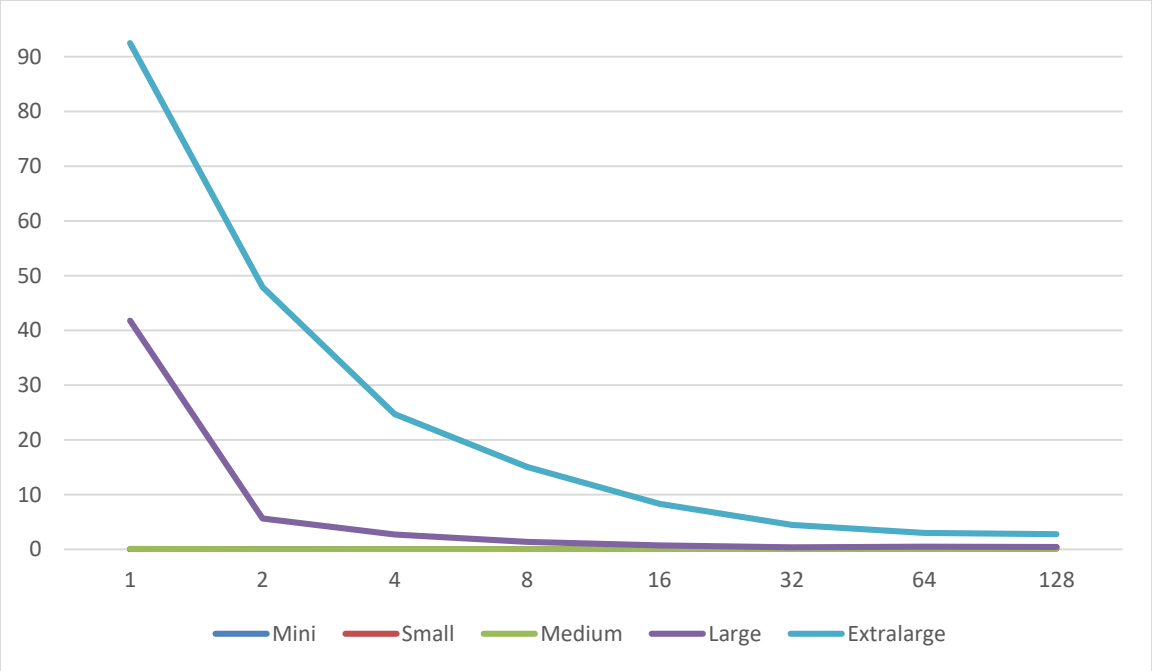
Работа задачи рассмотрена на суперкомпьютере Polus с различным числом нитей (1 - 128) и различными наборами данных, предоставленных вместе с исходным кодом (см ниже). Каждое измерение проводилось 3 раза. В таблице и на графиках записаны усредненные результаты времени выполнения.
Наборы данных:
Mini – 16, 18, 22, 24
Small – 40, 50, 70, 80
Medium – 180, 190, 210, 220
Large – 800, 900, 1100, 1200
Extralarge – 1600, 1800, 2200, 2400

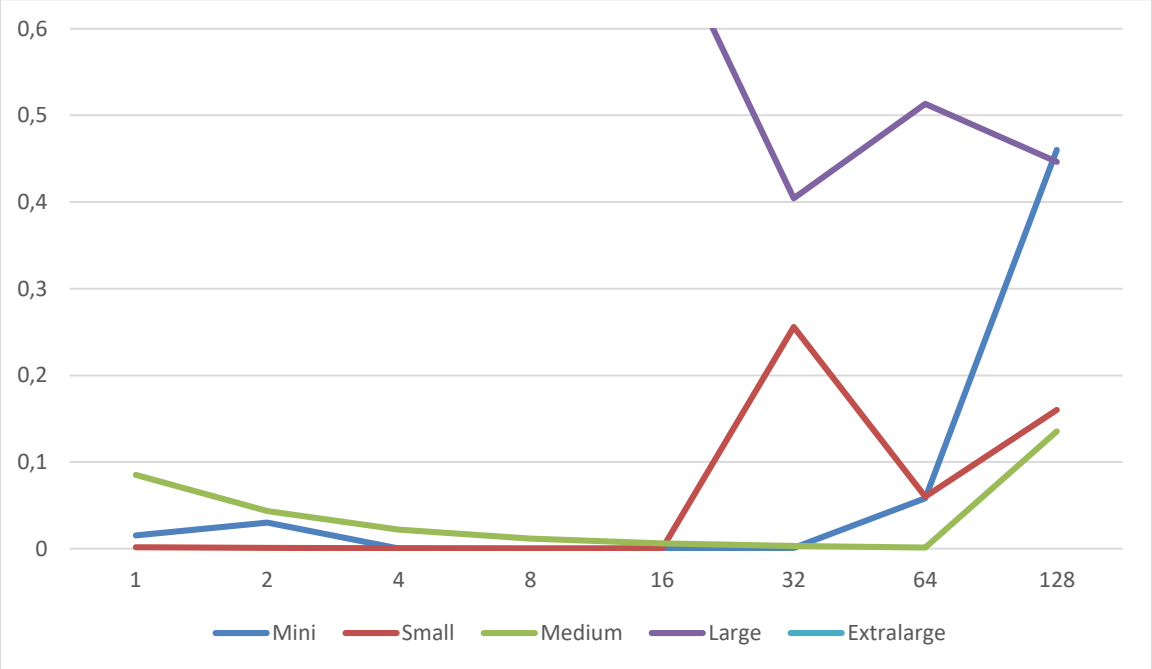
Таблица с результатами

Нити/размеры матриц	Mini	Small	Medium	Large	Extralarge
1	0.015268	0.001817	0.085185	41.779608	92.493467
2	0.029977	0.000904	0.043623	5.649542	47.945681
4	0.000169	0.000465	0.022020	2.735370	24.690036
8	0.000214	0.000281	0.011592	1.394740	15.057165
16	0.000366	0.000230	0.006024	0.723245	8.306721
32	0.000904	0.255991	0.003105	0.404365	4.497701
64	0.058304	0.059921	0.001371	0.513174	3.021916
128	0.460011	0.160068	0.135570	0.446294	2.797628

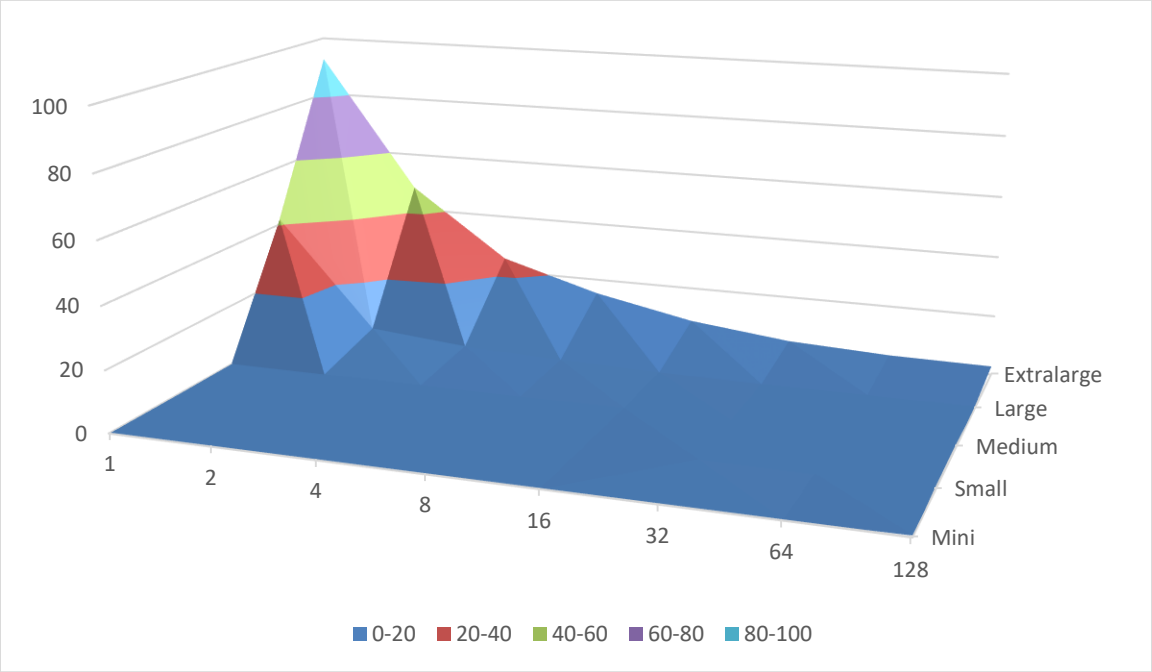
Графики: время выполнения программы в зависимости от размеров матриц и количества потоков

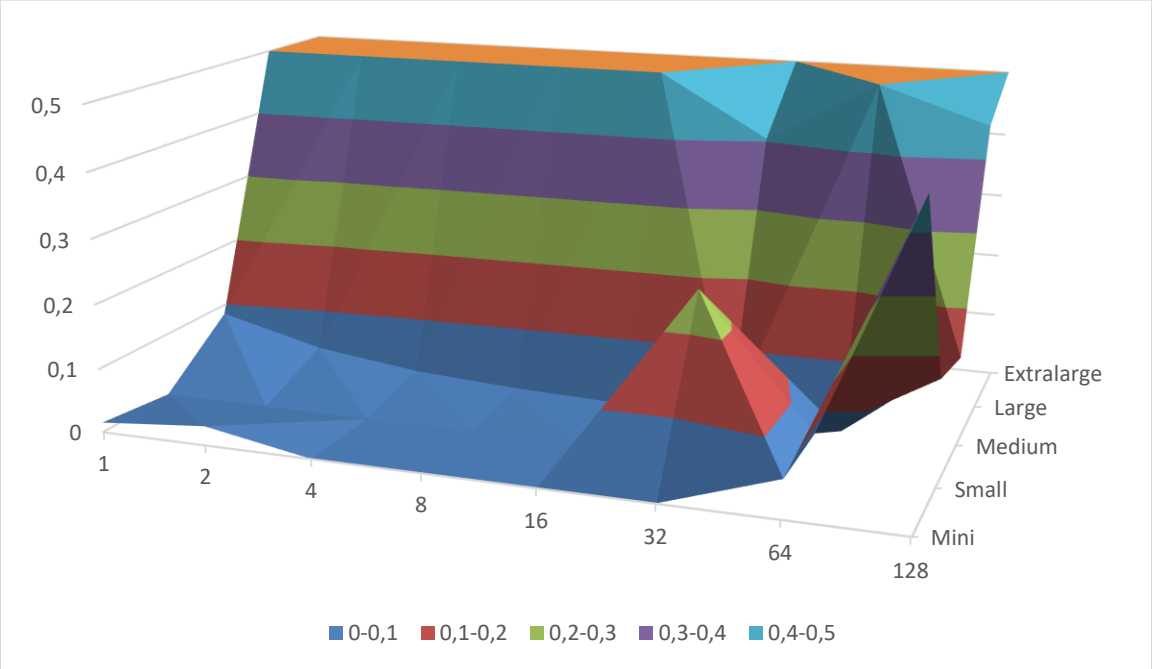
В виде линий:



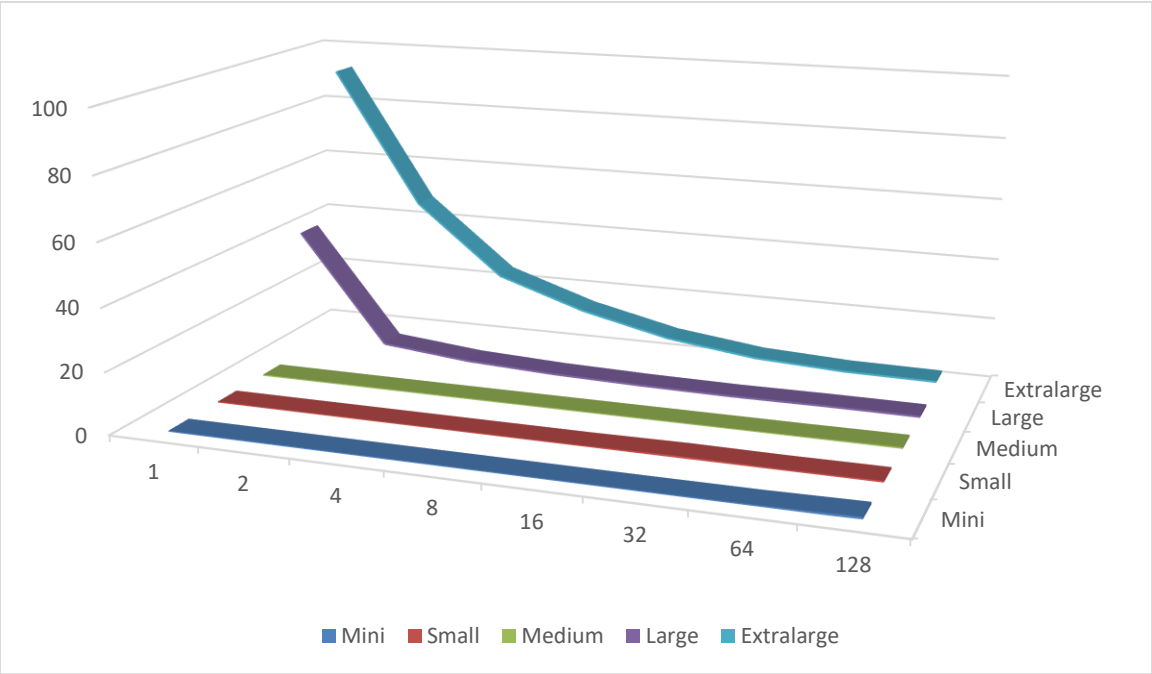


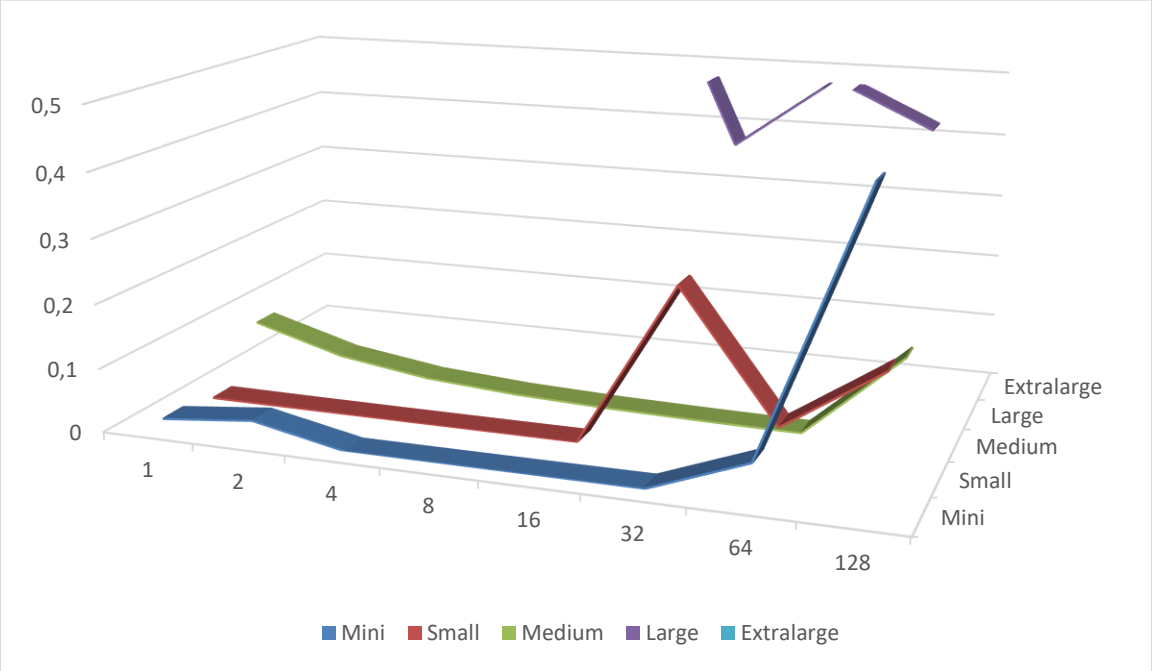
В виде поверхности:





В виде линий в трехмерном пространстве:





Вывод:

Распараллеливание программы в среднем дало выигрыш по времени в 4 раза на массивах большого размера.

Как показали эксперименты, для малых рассмотренных наборах данных (Mini, Small) выгодно использовать 4-16 нитей, а для больших (Medium, Large, Extralarge) – 32-128. При увеличении числа нитей у наборов данных малого размера наблюдается снижение производительности, что происходит из-за больших накладных расходов, в то время как производительность на больших наборах возрастает с увеличением числа нитей, т.к. в этом случае накладные расходы не столь существенны по сравнению с общими затрачиваемыми ресурсами.

Отсюда следует вывод, что на больших наборах данных стоит использовать большее число нитей, т.к. при этом наблюдается существенный выигрыш по времени выполнения программы при распараллеливании с помощью технологии OpenMP, но на маленьких стоит использовать небольшое количество нитей из-за существенных накладных расходов при использовании большого числа нитей.