МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет информационных технологий

Кафедра параллельных вычислений

ОТЧЕТ

О ВЫПОЛНЕНИИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

«Игра «Жизнь» Дж. Конвэя»

студента 2 курса, группы 21206

Балашова Вячеслава Вадимовича

Направление 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника»

Преподаватель:
Кандидат технических наук
А. Ю. Власенко

Новосибирск 2023

Содержание

Цель

1. Практическое освоение методов реализации алгоритмов мелкозернистого параллелизма на крупноблочном параллельном вычислительном устройстве на примере реализации клеточного автомата «Игра "Жизнь" Дж. Конвея» с использованием неблокирующих коммуникаций библиотеки MPI.

Задание

1. Написать параллельную программу на языке C/C++ с использованием MPI, реализующую клеточный автомат игры "Жизнь" с завершением программы по повтору состояния клеточного массива в случае одномерной декомпозиции массива по строкам и с циклическими границами массива. Проверить корректность исполнения алгоритма на различном числе процессорных ядер и различных размерах клеточного массива, сравнив с результатами, полученными для исходных данных вручную.

2. Измерить время работы программы при использовании различного числа процессорных ядер: 1, 2, 4, 8, 16, … . Размеры клеточного массива X и Y подобрать таким образом, чтобы решение задачи на одном ядре занимало не менее 30 секунд. Построить графики зависимости времени работы, ускорения и эффективности распараллеливания от числа используемых ядер.

3. Произвести профилирование программы и выполнить ее оптимизацию. Попытаться достичь 50-процентной эффективности параллельной реализации на 16 ядрах для выбранных X и Y.

Описание работы

Ход выполнения работы:

1. Была написана параллельная программа на языке Си с использованием библиотеки MPI, в которой для удобства все поле инициализируется на процессе с нулевым рангом, после чего части поля раздается всем процессам. После выполнения раздачи все процессы начинают выполнять итерации в цикле, пока состояние поля на одной из следующих итераций не совпадет с состоянием поля на одной из предыдущих итераций, либо пока количество итераций не достигнет максимального возможного числа (см. Приложение 1).

2. Для проведения замеров использовалось квадратное поле n*n, где n 500. В качестве стартовой конфигурации поля использовалась фигура «Глайдер», которая смещается на 1 клетку вправо и на 1 клетку вниз за 4 итерации. Количество итераций, после которых программа завершится, равно n * 4 + 1.

3. Были проведены замеры времени работы программы на 1, 2, 4, 8 и 16 процессах с данными, описанных в пункте 2. Также были построены графики зависимости времени работы, ускорения и эффективности распараллеливания в зависимости от количества процессов.

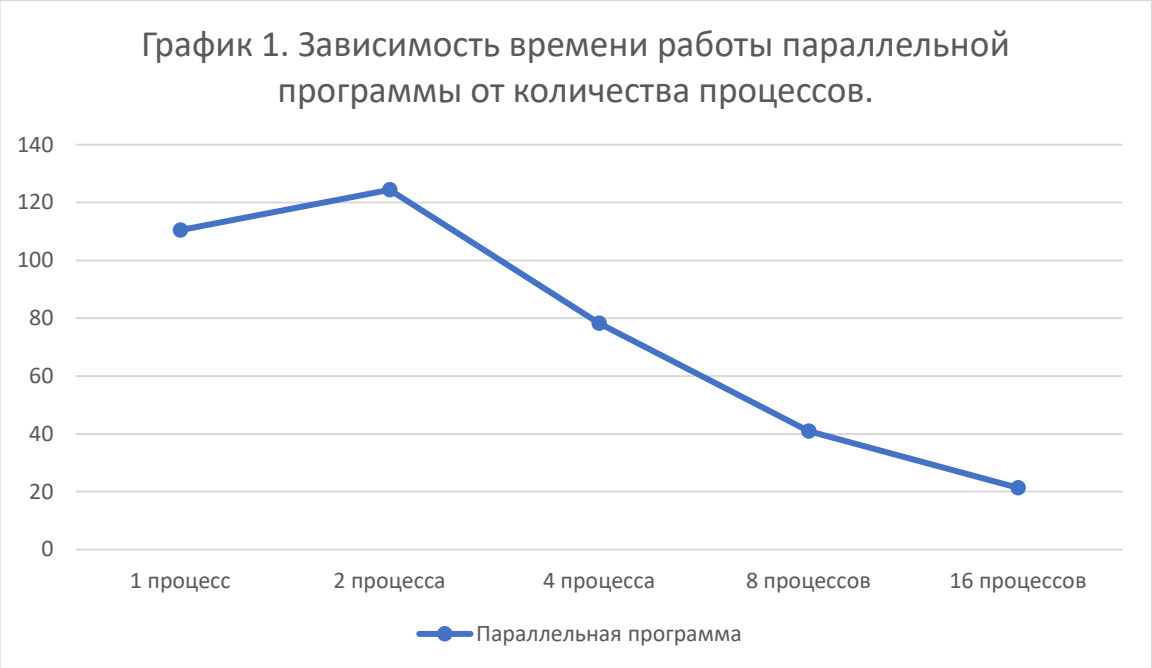


Таблица 1. Соответствие времени работы программы и количества процессов для параллельной программы.

Время, сек.	Количество процессов, шт.
110,4729434	1
124,3876666	2
78,2641686	4
40,9602074	8
21,3435538	16

Таблица 2. Соответствие коэффициентов ускорения и количества процессов для параллельной программы.

Ускорение, коэфф.	Количество процессов, шт.
1	1
0,8881342212	2
1,411539219	4
2,697079688	8
5,17593951	16

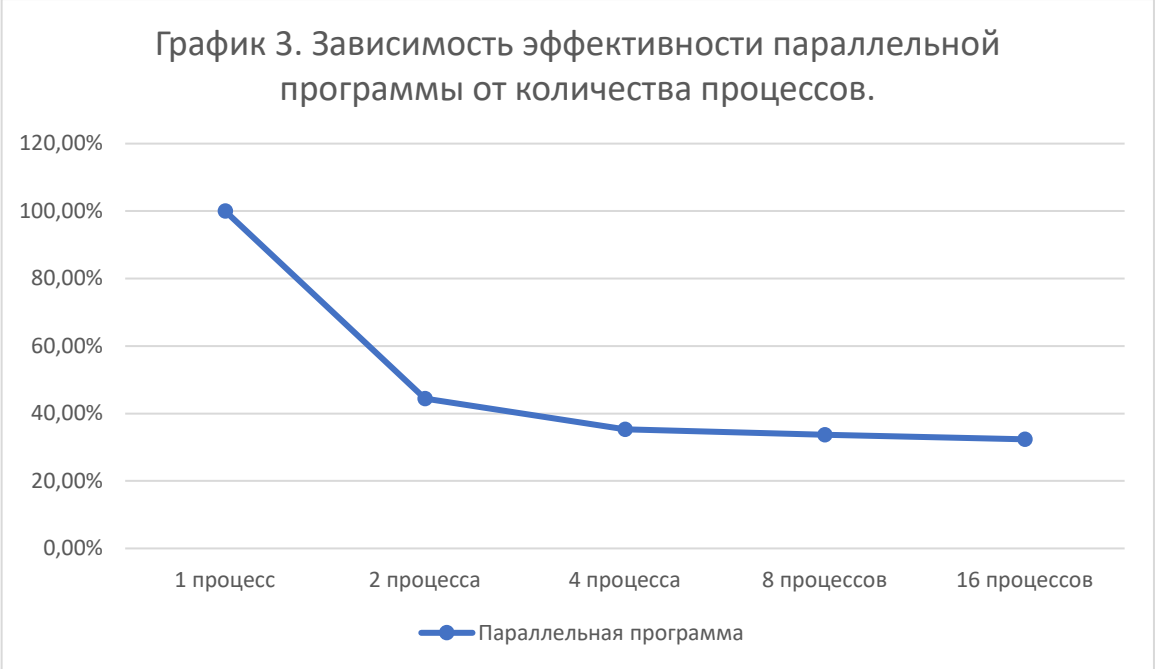


График 3. Зависимость эффективности параллельной программы от количества процессов.

Таблица 3. Соответствие эффективности и количества процессов параллельной программы.

Эффективность, %	Количество процессов, шт.
100,00%	1
44,41%	2
35,29%	4
33,71%	8
32,35%	16

4. Было выполнено профилирование параллельной программы, запущенной на 24 процессах с помощью инструмента ITAC (Intel Trace Analyzer and Collector).

Рисунок 1. Профилирование параллельной программы: общий вид.

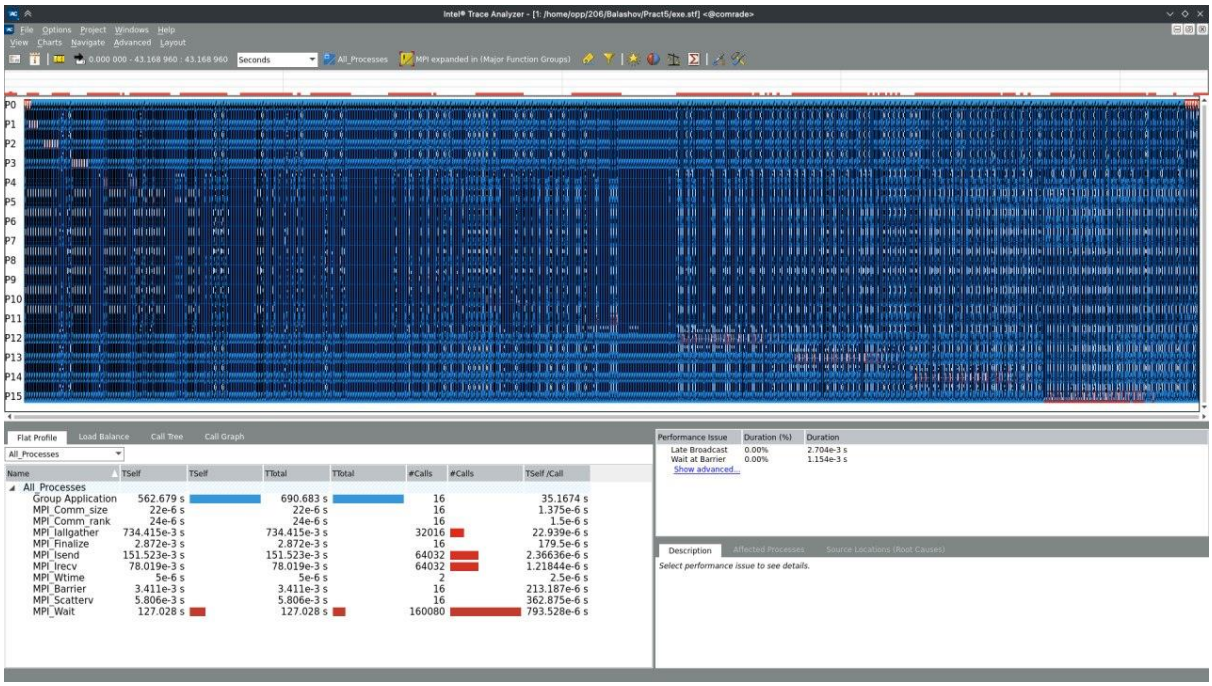


Рисунок 2. Профилирование параллельной программы: начало программы.

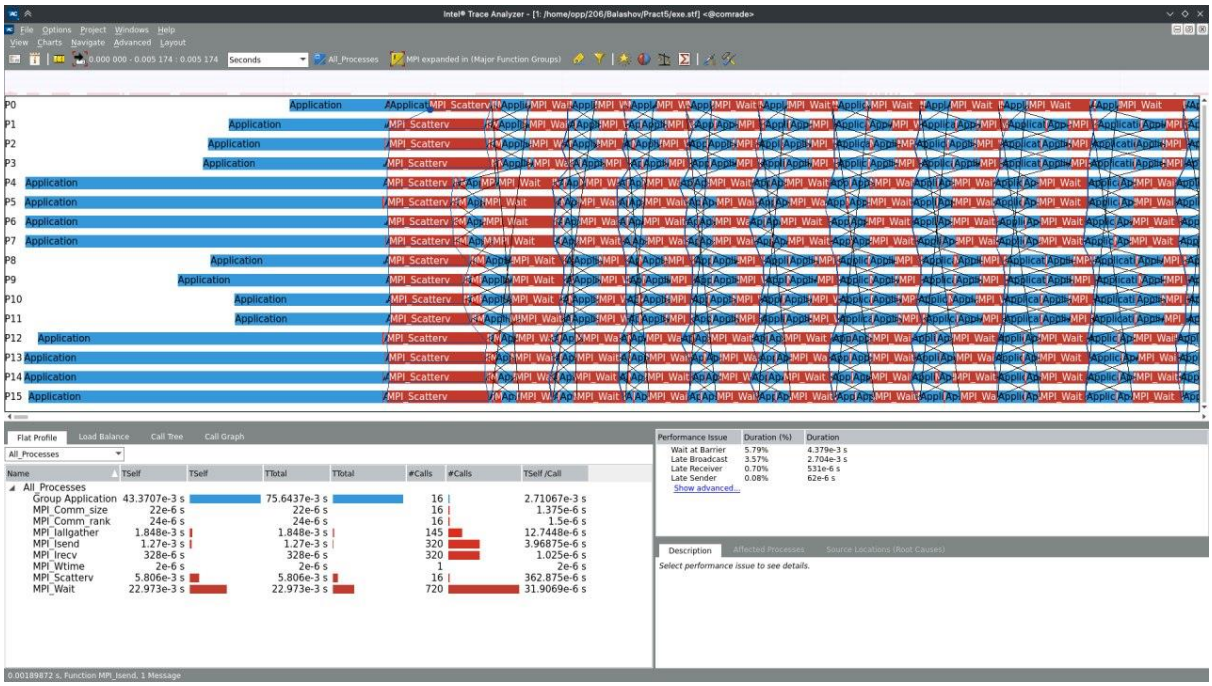


Рисунок 3. Профилирование параллельной программы: Приближенное рассмотрение.

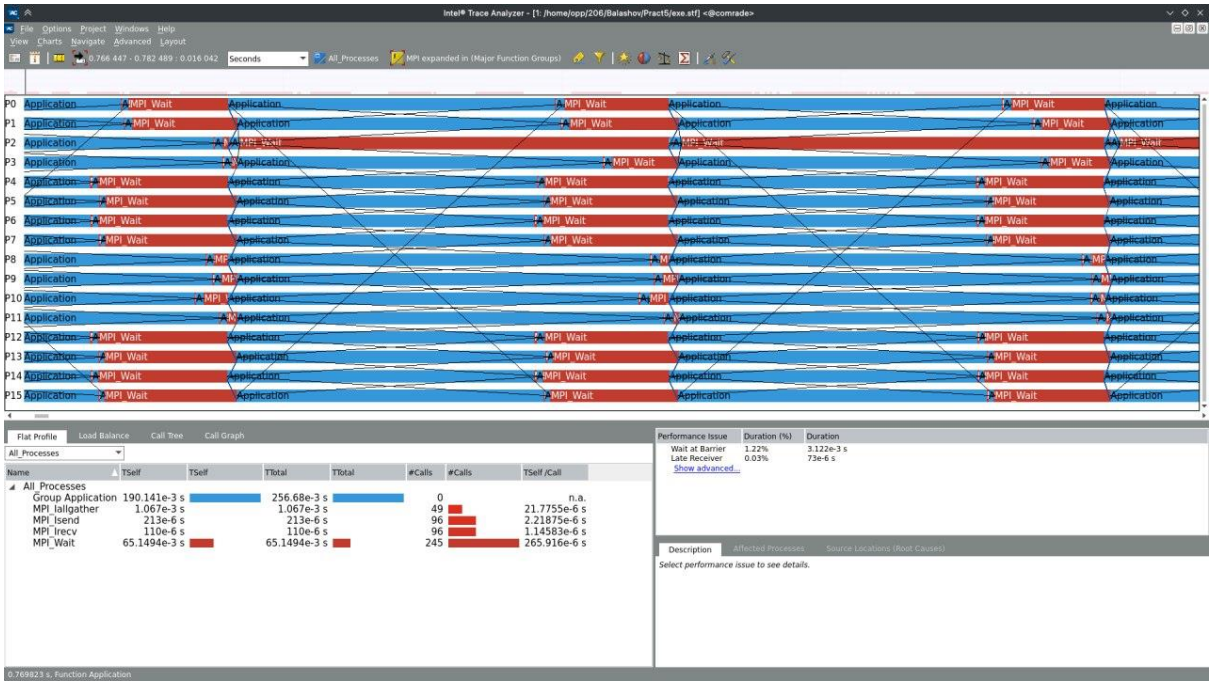


Рисунок 4. Профилирование параллельной программы: еще более приближенное рассмотрение.

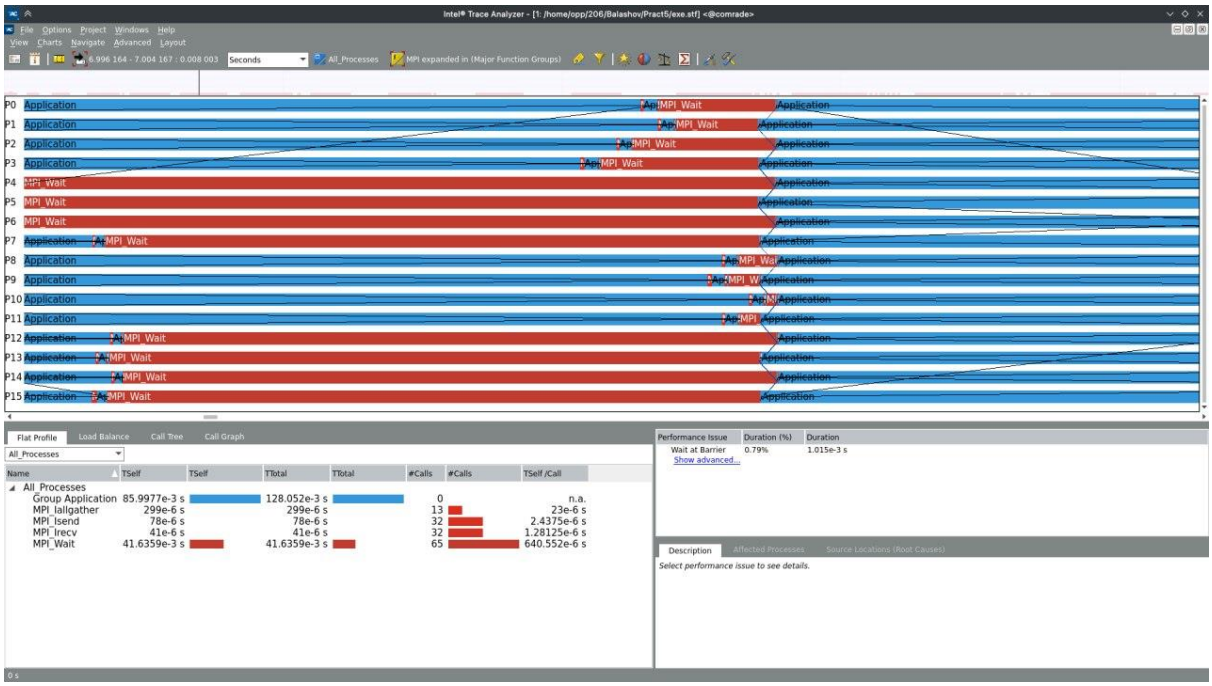


Рисунок 5. Профилирование параллельной программы: более близкий рассмотр Isend и Irecv.

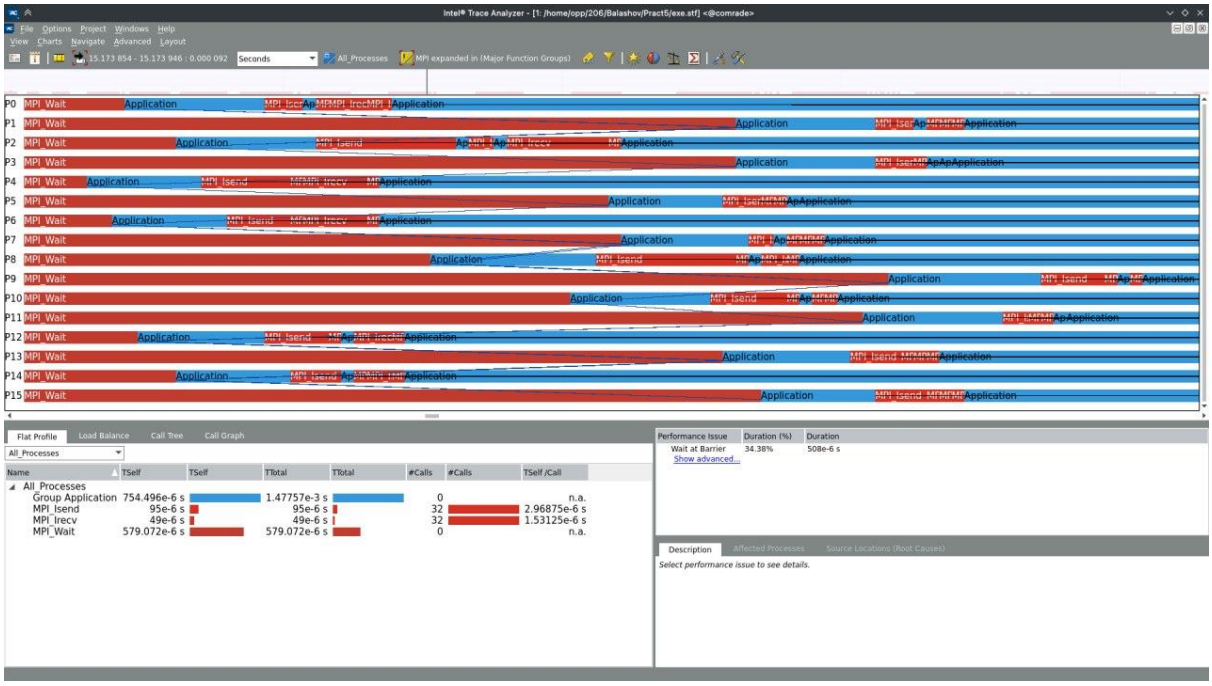
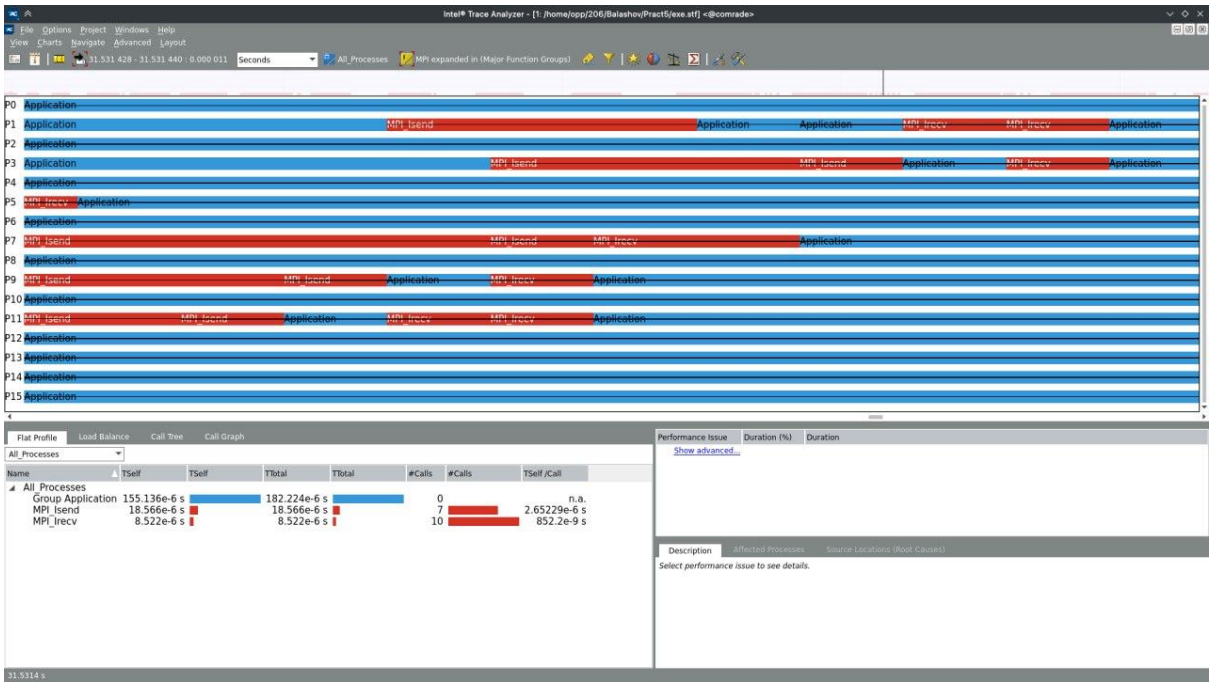


Рисунок 6. Профилирование параллельной программы: более близкий рассмотр Isend и Irecv.



Заключение

В ходе выполнения практической работы был получен опыт работы с неблокирующими функциями библиотеки MPI. Особенность этих функций заключается в том, что передача данных между процессами происходит параллельно с самой программой, что можно заметить при профилировании программы, ведь вызов этих функций (или же инициализация передачи данных) занимает мало времени.

Приложение 1. Исходный код программы.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#include <mpi.h>



void initFieldWithGliderTopLeftCorner(char * field, int height, int width)
{
   memset(field, 0, width * height);
   field[0 * width + 1] = 1;
   field[1 * width + 2] = 1;
   field[2 * width + 0] = 1;
   field[2 * width + 1] = 1;
   field[2 * width + 2] = 1;
}

void printField(char * field, int height, int width)
{
   for (int i = 0; i < height; ++i)
   {
      for (int j = 0; j < width; ++j)
      {
         printf("%d ", field[i * width + j]);
      }
      printf("\n");
   }
}


char countNewStageBySum(char cellState, int sum)
{
   if (cellState)
   {
      if (sum < 2 || sum > 3)
      {
         return 0;
      }
      return 1;
   }
   else
   {
      if (sum == 3)
      {
         return 1;
      }
      return 0;
```

```
    }
}

char countNewStageByNeighbours(char cellState, char one, char two, char three, char four,
char five, char six, char seven, char eight)
{
    int sum = one + two + three + four + five + six + seven + eight;
    return countNewStageBySum(cellState, sum);
}

char countNewStageByIndex(char * field, int index, int fieldWidth)
{
    int sum = field[index - 1] + field[index + 1] + field[index - fieldWidth - 1] + field[index -
fieldWidth] + field[index - fieldWidth + 1] +
                field[index + fieldWidth - 1] + field[index + fieldWidth] + field[index +
fieldWidth + 1];
    return countNewStageBySum(field[index], sum);
}


void updateFieldLine(char * fieldLineSrc, char * fieldLineDst, int fieldWidth)
{
    *fieldLineDst = countNewStageByNeighbours(*fieldLineSrc,
                *(fieldLineSrc - fieldWidth + fieldWidth - 1),
                *(fieldLineSrc - fieldWidth),
                *(fieldLineSrc - fieldWidth + 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1),
                *(fieldLineSrc + 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth + fieldWidth - 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth + 1));

    for (int k = 1; k < fieldWidth - 1; ++k)
    {
        *(fieldLineDst + k) = countNewStageByIndex(fieldLineSrc, k, fieldWidth);
    }

    *(fieldLineDst + fieldWidth - 1) = countNewStageByNeighbours(*(fieldLineSrc +
fieldWidth - 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 - fieldWidth - 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 - fieldWidth),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 - fieldWidth - fieldWidth + 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 - 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 - fieldWidth + 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 + fieldWidth - 1),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 + fieldWidth),
                *(fieldLineSrc + fieldWidth - 1 + 1));
}
```

```
int main(int argc, char * argv[])
{
   int fieldHeight     = 100;
   int fieldWidth      = 100;
   int maxNumOfIterations = 100;

   if (argc > 1)
   {
      fieldHeight = atoi(argv[1]);
   }
   if (argc > 2)
   {
      fieldWidth  = atoi(argv[2]);
   }
   if (argc > 3)
   {
      maxNumOfIterations = atoi(argv[3]);
   }

   const int ROOT_RANK = 0;
   const int PREV_TO_NEXT_RANK_MESSAGE_ID = 101;
   const int NEXT_TO_PREV_RANK_MESSAGE_ID = 102;


   int mpiSize;
   int mpiRank;
   int mpiNextRank;
   int mpiPrevRank;

   char * field;
   int  * sendCounts;
   int  * displs;
   double start;


   char * fieldPart;
   char * fieldPartBuf;
   char * stopFlags;
   char ** previousStages;
   int currSegmentHeight;


   int minSegmentHeight;
   int heightRemains;

   MPI_Request sendToPrevReq;
   MPI_Request sendToNextReq;
   MPI_Request recvFromPrevReq;
```

```
   MPI_Request recvFromNextReq;
   MPI_Request gatherStopFlagsReq;

   MPI_Status  mpiStatus;

   MPI_Init(&argc, &argv);
   MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &mpiSize);
   MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &mpiRank);

   minSegmentHeight = fieldHeight / mpiSize;
   heightRemains = fieldHeight - minSegmentHeight * mpiSize;
   currSegmentHeight = minSegmentHeight + ((mpiRank < heightRemains) ? 1 : 0);

   if (mpiRank == ROOT_RANK)
   {
      printf("Field height = %d\nField width  = %d\nNumber Of iterations = %d\n",
fieldHeight, fieldWidth, maxNumOfIterations);
      start = MPI_Wtime();
      field = (char *) malloc(sizeof(char) * fieldWidth * fieldHeight);
      initFieldWithGliderTopLeftCorner(field, fieldHeight, fieldWidth);
      sendCounts = (int *) malloc(sizeof(int) * mpiSize);
      displs  = (int *) malloc(sizeof(int) * mpiSize);

      for (int i = 0; i < mpiSize; ++i)
      {
         sendCounts[i] = (minSegmentHeight + ((i < heightRemains) ? 1 : 0)) * fieldWidth;
         displs[i] = (minSegmentHeight * i + ((i < heightRemains) ? i : heightRemains)) *
fieldWidth;
      }
   }

   fieldPart      = (char *)  malloc(sizeof(char)   * (currSegmentHeight + 2) * fieldWidth);
   stopFlags      = (char *)  malloc(sizeof(char)   * maxNumOfIterations * mpiSize);
   previousStages  = (char **) malloc(sizeof(char *) * maxNumOfIterations);

   MPI_Scatterv(field, sendCounts, displs, MPI_CHAR, fieldPart + fieldWidth,
currSegmentHeight * fieldWidth, MPI_CHAR, ROOT_RANK, MPI_COMM_WORLD);

   mpiPrevRank = mpiRank ? mpiRank - 1 : mpiSize - 1;
   mpiNextRank = mpiRank < mpiSize - 1 ? mpiRank + 1 : 0;

   int i = 0;

   for (; i < maxNumOfIterations; ++i)
   {
      MPI_Isend(fieldPart + fieldWidth, fieldWidth, MPI_CHAR, mpiPrevRank,
NEXT_TO_PREV_RANK_MESSAGE_ID, MPI_COMM_WORLD, &sendToPrevReq);
      MPI_Isend(fieldPart + (currSegmentHeight) * fieldWidth, fieldWidth, MPI_CHAR,
mpiNextRank, PREV_TO_NEXT_RANK_MESSAGE_ID, MPI_COMM_WORLD,
&sendToNextReq);
```

```
    MPI_Irecv(fieldPart, fieldWidth, MPI_CHAR, mpiPrevRank,
PREV_TO_NEXT_RANK_MESSAGE_ID, MPI_COMM_WORLD, &recvFromPrevReq);
    MPI_Irecv(fieldPart + (1 + currSegmentHeight) * fieldWidth, fieldWidth, MPI_CHAR,
mpiNextRank, NEXT_TO_PREV_RANK_MESSAGE_ID, MPI_COMM_WORLD,
&recvFromNextReq);


    for (int j = 0; j < i; ++j)
    {
       stopFlags[mpiRank * maxNumOfIterations + j] = 1;
       for (int k = 0; k < currSegmentHeight * fieldWidth; ++k)
       {
          if (previousStages[j][fieldWidth + k] != fieldPart[fieldWidth + k])
          {

             stopFlags[mpiRank * maxNumOfIterations + j] = 0;
             break;
          }
       }
    }

    MPI_Iallgather(stopFlags + mpiRank * maxNumOfIterations, maxNumOfIterations,
MPI_CHAR, stopFlags, maxNumOfIterations, MPI_CHAR, MPI_COMM_WORLD,
&gatherStopFlagsReq);

    fieldPartBuf = (char *) malloc(sizeof(char) * (currSegmentHeight + 2) * fieldWidth);

    for (int k = 1; k < currSegmentHeight - 1; ++k)
    {
       updateFieldLine(fieldPart + fieldWidth * (k + 1), fieldPartBuf + fieldWidth * (k + 1),
fieldWidth);
    }

    MPI_Wait(&sendToPrevReq, &mpiStatus);
    MPI_Wait(&recvFromPrevReq, &mpiStatus);

    updateFieldLine(fieldPart + fieldWidth, fieldPartBuf + fieldWidth, fieldWidth);

    MPI_Wait(&sendToNextReq, &mpiStatus);
    MPI_Wait(&recvFromNextReq, &mpiStatus);

    updateFieldLine(fieldPart + (1 + currSegmentHeight - 1) * fieldWidth,
                fieldPartBuf + (1 + currSegmentHeight - 1) * fieldWidth, fieldWidth);


    MPI_Wait(&gatherStopFlagsReq, &mpiStatus);

    previousStages[i] = fieldPart;
    fieldPart = fieldPartBuf;
```

```
            char finish = 0;
            for (int j = 0; j < i; ++j)
            {
                finish = 1;
                for (int k = 0; k < mpiSize; ++k)
                {
                    if (!stopFlags[k * maxNumOfIterations + j])
                    {
                        finish = 0;
                        break;
                    }
                }
                if (finish)
                {
                    break;
                }
            }


            if (finish)
            {
                break;
            }
        }

        MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD);

        if (mpiRank == ROOT_RANK)
        {
            printf("Took %d iterations for %lf sec for trying to return to one of previous stages\n", i
+ 1, MPI_Wtime() - start);
        }


        for (int j = 0; j < i; ++j)
        {
            free(previousStages[j]);
        }

        if (i != maxNumOfIterations)
        {
            free(previousStages[i]);
        }

        free(previousStages);
        free(stopFlags);
        free(fieldPart);

        if (mpiRank == ROOT_RANK)
```

```
    {
        free(field);
        free(displs);
        free(sendCounts);
    }


    MPI_Finalize();
    return 0;
}
```