Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ Робототехника и комплексная автоматизация

КАФЕДРА Системы автоматизированного проектирования (РК-6)

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

по дисциплине: «Разработка программных систем»

Студент Гусаров Аркадий Андреевич

Группа РК6-63Б

Тип задания Лабораторная работа №2

Вариант лабораторной работы 2

Студент _____ **Гусаров А.А.**
подпись, дата *фамилия, и.о.*

Преподаватель _____ **Федорук В.Г.**
подпись, дата *фамилия, и.о.*

Оценка _____

Москва, 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Текст задания

Разработать, используя средства многопотокового программирования, параллельную программу решения уравнения струны методом конечных разностей с использованием явной вычислительной схемы. Количество потоков, временной интервал моделирования и количество (кратное 8) узлов расчетной сетки - параметры программы. Уравнение струны имеет следующий вид:

$$d^2*z / dt^2 = a^2 * (d^2*z / dx^2) + f(x,t)$$

где t - время, x - пространственная координата, вдоль которой ориентирована струна, z - отклонение (малое) точки струны от положения покоя, a - фазовая скорость, f(x,t) - внешнее "силовое" воздействие на струну.

Предусмотреть возможность задания ненулевых начальных условий и ненулевого внешнего воздействия. Программа должна демонстрировать ускорение по сравнению с последовательным вариантом. Предусмотреть визуализацию результатов посредством утилиты gnuplot. При этом утилита gnuplot должна вызываться отдельной командой после окончания расчета.

Описание структуры программы

В программе динамически выделяется память под узлы сетки (в текущий и предыдущий моменты времени). Инициализируются атрибуты потоков и инициализируются барьеры. Выделяется память и инициализируются пользовательские структуры данных, хранящие ID потока и индексы расчетных узлов данного потока. Создаются потоки, отвечающие за расчеты. Потоки разделяют набор расчетных узлов сетки и производят расчет очередного временного слоя. Синхронизация осуществляется путем использования барьеров. Вывод результатов на каждой итерации записывается в файл. Визуальное отображение работы программы реализовано посредством утилиты gnuplot.

Описание основных структур данных

В программе используются пользовательский тип данных *struct ThreadRecord*.

```
typedef struct {
	pthread_t tid;
	int first;
	int last;
} ThreadRecord;
```

Где *pthread_t tid* - идентификатор потока. *first, last* - первый и последний индексы расчётных узлов данного потока. Данная структура содержит информацию о работе расчетных потоков. Весь кооператив потоков характеризуется массивом указателей на переменные типа *struct ThreadRecord*.

Для того, чтобы вычислить какие узлы будут находиться в каком потоке, вводится переменная *int j*, равная: *(node - 2) / nt*, где *node* – это количество узлов, *nt* – количество потоков, *j* необходимо для вычисления индексов узлов, которые будут распределяться по потокам.

Также в программе используются следующие стандартные структуры данных:

- *struct timeval* - структура данных, в которую записывается информация о времени;
- *pthread_attr_t* - структура данных в которую записываются параметры создаваемых потоков;
- *pthread_barrier_t* - тип данных для барьеров - средство синхронизации процессов;
- *pthread_t* - тип данных, хранящий информацию о созданных потоках;
- *FILE* - указатель на управляющую таблицу открытого потока данных, если открытие файла произошло успешно;

- Z - двумерный массив чисел, в котором хранятся значения уравнения. Длина массива по оси X равна количеству узлов струны. В строках массива хранятся координаты узлов струны для текущего и предыдущего временного слоя. Координаты, которые считались текущим временным слоем на текущем шаге, на следующем шаге по времени считаются координатами прошлого временного слоя. На каждом шаге по времени в строку с индексом *cur* записываются координаты, рассчитанные на данном шаге.

Блок-схема

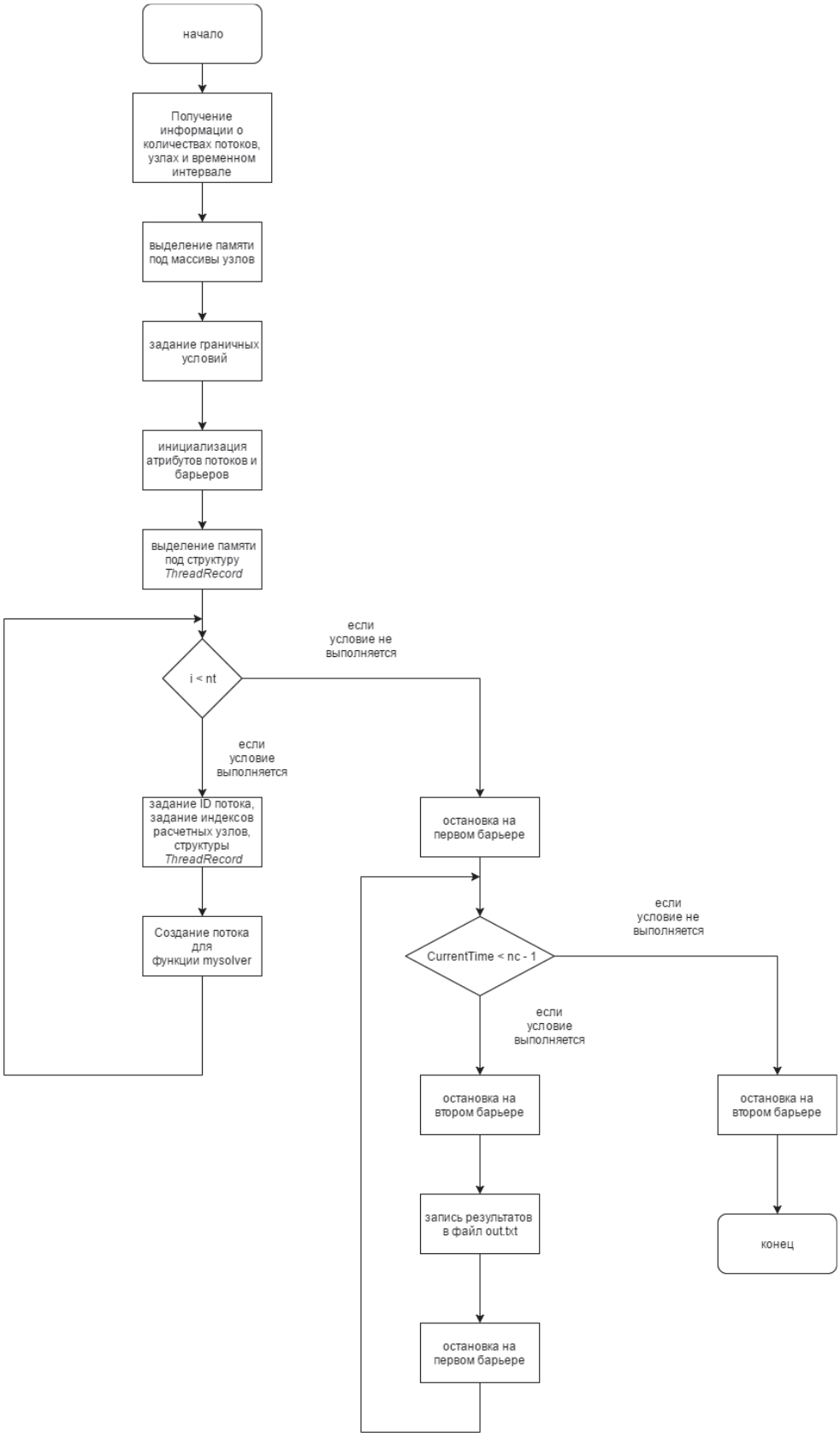


Рис. 1. Блок-схема функции-потока *main*

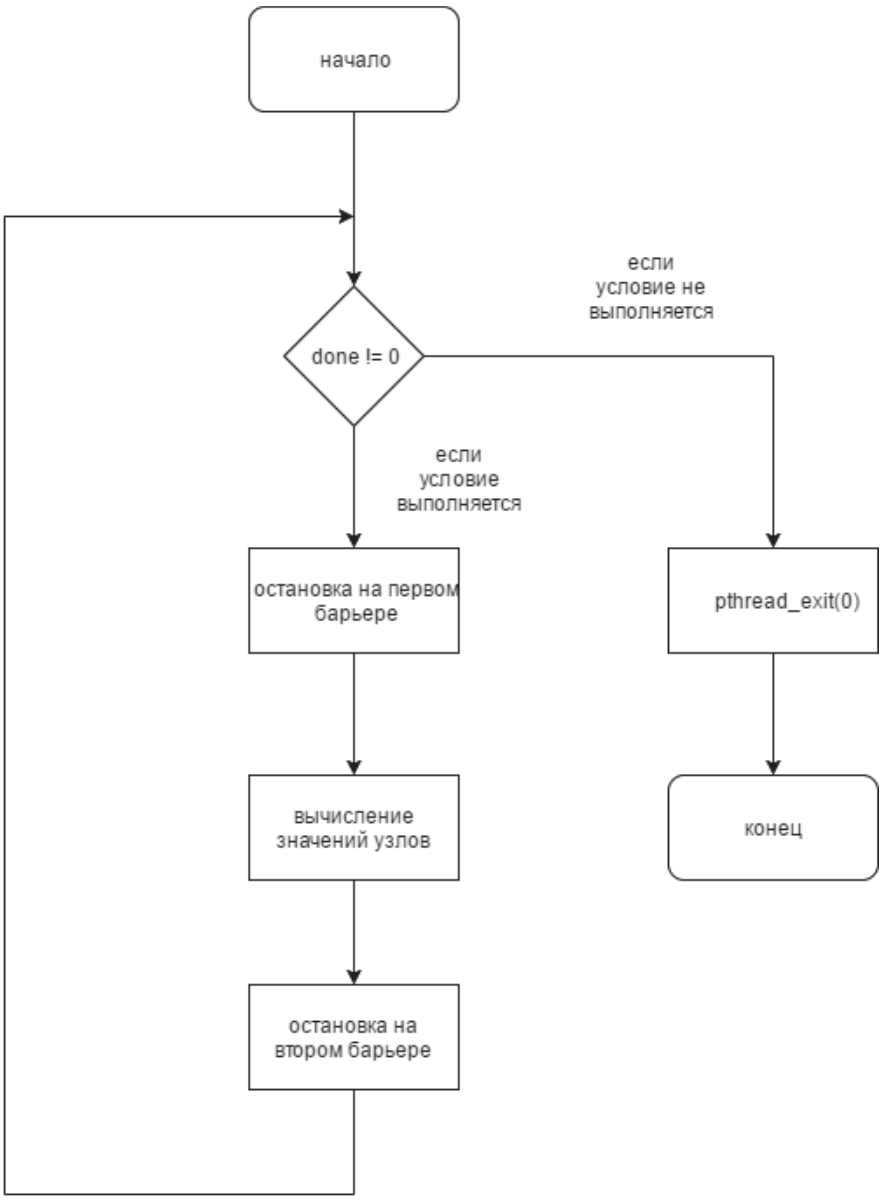
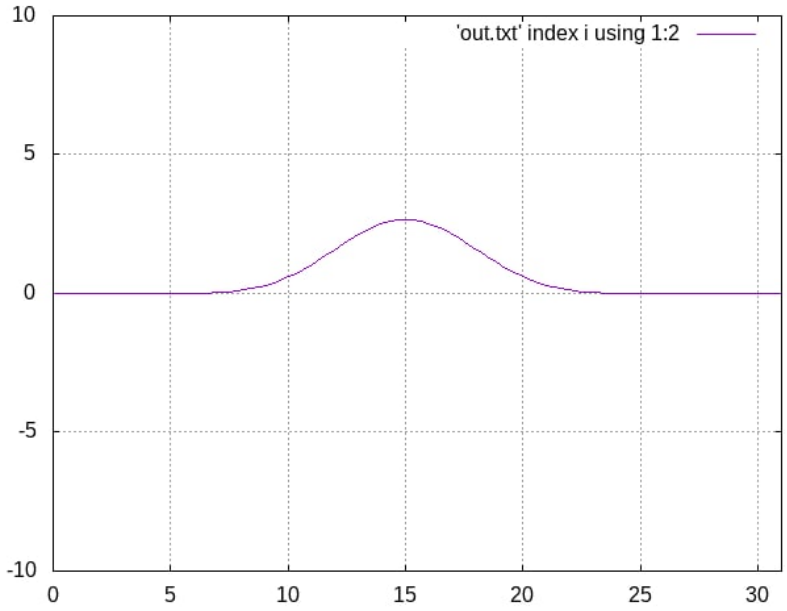


Рис. 2. Блок-схема расчётной функции-потока

Пример работы программы



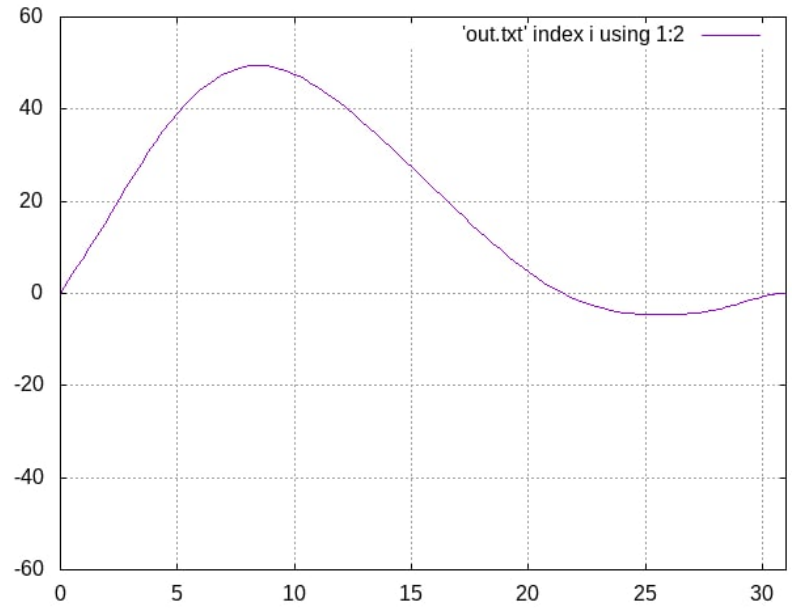


Рис. 3. Примеры работы программы: единственная сила приолежна в центре и приложены две силы по краям (кол-во потоков – 1, временной интервал – 100, кол-во узлов – 32)

Ускорение программы

Проведён эксперимент для проверки ускорения вычислений в зависимости от кол-во используемых потоков (временной интервал равен 100, кол-во узлов – 80.000.000):

Кол-во узлов	Время рассчётов, мс	Прирост производительности, %
1	92870	-
2	47060	197
4	25041	371
8	20611	451
16	21676	428

Таблица 1. Таблица производительности

Текст программы

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <signal.h>
#include <pthread.h>
#include <sched.h>
#include <sys/time.h>
#define F(x, t) 10.0
#define DELTA_X 1.0
#define DELTA_T 1.0
#define A 1.0
FILE *fp, *out;
typedef struct
{
    pthread_t tid;
    int begin;
    int end;
} ThreadInfo;
double **z;
double z_max = 0;
```

```
int node, nc;
int done = 0;
int CurrentTime = 0;
pthread_barrier_t barr1, barr2;
int TimeOfWork();
void WriteFile(int t, FILE *f);
void WriteGnuplotFile(FILE *out, int nodes, int time_interval, int max_elem);
void *mysolver(void *arg_p);
void CalculateFirstTime(int nc);
int main(int argc, char *argv[])
{
    if (argc != 4)
    {
        fprintf(stderr, "%s <Кол-во потоков> <Временной интервал> <Кол-во узлов>\n", argv[0]);
        exit(1);
    }

    // Количество потоков
    int nt = atoi(argv[1]);
    // Временной интервал
    nc = atoi(argv[2]);
    // Количество узлов
    node = atoi(argv[3]);
    printf("Input data:\nThreads = %d,\nTime = %d,\nNodes = %d\n", nt, nc, node);
    while (node % 8 != 0)
    {
        printf("<Nodes>: %d must divide by 8\n", node);
        printf("Enter <Nodes>: ");
        scanf("%d", &node);
    }
    while (node % nt != 0)
    {
        printf("<Nodes>: %d must divide by <Threads>: %d\n", node, nt);
        printf("Enter <Threads>: ");
        scanf("%d", &nt);
```

```
}
out = fopen("out.txt", "w");
fp = fopen("graph.dat", "w");
// Выделение памяти
z = (double **)malloc(2 * sizeof(double *));

for (int i = 0; i < 2; i++)
{
    z[i] = (double *)malloc(node * sizeof(double));
}
CalculateFirstTime(nc);
pthread_attr_t pattr;
// Получаем дефолтные значения атрибутов
pthread_attr_init(&pattr);
pthread_attr_setscope(&pattr, PTHREAD_SCOPE_SYSTEM);
pthread_attr_setdetachstate(&pattr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);
ThreadInfo *threads = (ThreadInfo *)calloc(nt, sizeof(ThreadInfo));
// Отвечают за синхронизацию расчета струны и времени
pthread_barrier_init(&barr1, NULL, nt + 1);
pthread_barrier_init(&barr2, NULL, nt + 1);
int j = node / nt;
for (int i = 0; i < nt; i++)
{
    threads[i].begin = i * j;
    threads[i].end = (i + 1) * j - 1;
    if (i == 0)
    {
        threads[i].begin = 1;
    }
    if (i == nt - 1)
    {
        threads[i].end = node - 2;
    }
    printf("i = %d, k = [%d; %d]\n", i, threads[i].begin, threads[i].end);
    if (pthread_create(&(threads[i].tid), &pattr, mysolver, (void *)&(threads[i])))
```

```
        {
            perror("pthreads_create");
        }
    }
    struct timeval ts;
    // Засекаем время
    gettimeofday(&ts, NULL);
    for (CurrentTime = 0; CurrentTime < nc; CurrentTime++)
    {
        // Расчет по времени
        pthread_barrier_wait(&barr1);
        WriteFile(CurrentTime % 2, out);
        // Расчет струны
        pthread_barrier_wait(&barr2);
    }
    done = 1;
    printf("Time of work: %d milliseconds\n", TimeOfWork(ts));
    WriteGnuplotFile(fp, node, nc, z_max);
    // Освобождаем выделенную память
    free(threads);
    for (int i = 0; i < 2; i++)
    {
        free(z[i]);
    }
    free(z);
    return 0;
}
int TimeOfWork(struct timeval time_start)
{
    struct timeval time_curr, dtv;
    // Вычисляем текущее время
    gettimeofday(&time_curr, NULL);

    dtv.tv_sec = time_curr.tv_sec - time_start.tv_sec;
    dtv.tv_usec = time_curr.tv_usec - time_start.tv_usec;
```

```
    if (dtv.tv_usec < 0)
    {
        dtv.tv_sec--;
        dtv.tv_usec += 1000000;
    }

    return dtv.tv_sec * 1000 + dtv.tv_usec / 1000;
}
void WriteFile(int t, FILE *f)
{
    for (int i = 0; i < node; i++)
    {
        fprintf(f, "%d\t%f\n", i, z[t][i]);
    }
    fprintf(f, "\n\n");
}
void WriteGnuplotFile(FILE *out, int nodes, int time_interval, int max_elem)
{
    // GIF
    fprintf(out, "set terminal gif animate loop 0\n");
    fprintf(out, "set grid\n");
    fprintf(out, "set cbrange [0.9:1]\n");
    fprintf(out, "set xrange [0:%d]\n", nodes - 1);
    fprintf(out, "set yrange [-%d:%d]\n", (int)max_elem, (int)max_elem);
    fprintf(out, "set output 'lab2.gif'\n");
    fprintf(out, "do for [i=0:%d]{\n", time_interval - 1);
    fprintf(out, "plot 'out.txt' index i using 1:2 smooth bezier}\n");
}
void *mysolver(void *arg_p)
{
    ThreadInfo *thr = (ThreadInfo *)arg_p;
    int cur, prev;
    double f = 0.0, f2 = 0.0;
    double A2 = A * A;
```

```
    double DELTA_T2 = DELTA_T * DELTA_T;
    double DELTA_X2 = DELTA_X * DELTA_X;
    while (!done)
    {
        pthread_barrier_wait(&barr1);
        cur = CurrentTime % 2;
        prev = (CurrentTime + 1) % 2;
        for (int i = thr->begin; i <= thr->end; i++)
        {
            if (i == node / 2 && CurrentTime == 0)
            {
                f = F(i, CurrentTime);
            }
            else
            {
                f = 0.0;
            }
            // Прикладываем силу к третьей четверти струны в начальный момент времени
            if (i == node / 2 + node / 4 && CurrentTime < nc / 8)
            {
                f2 = -F(i, CurrentTime);
            }
            else
            {
                f2 = 0.0;
            }
            z[cur][i] = DELTA_T2 * (A2 * (z[prev][i - 1] - 2 * z[prev][i] + z[prev][i + 1]) /
DELTA_X2 + f + 0 + 2 * z[prev][i] - z[cur][i]);
            if (abs(z[cur][i]) > z_max)
                z_max = abs(z[cur][i]);
        }
        pthread_barrier_wait(&barr2);
    }
    pthread_exit(0);
}
void CalculateFirstTime(int nc)
```

```
{
    for (int i = 0; i <= node; i++)
    {
        z[0][i] = 0.0;
        z[1][i] = 0.0;
    }
    WriteFile(1, out);
}
```