Московский Авиационный Институт

(Национальный Исследовательский Университет)

Институт №8 “Компьютерные науки и прикладная математика”

Кафедра №806 “Вычислительная математика и программирование”

Лабораторная работа №2 по курсу

«Операционные системы»

Группа: М8О-209Б-23

Студент: Осипов М.Н.

Преподаватель: Миронов Е.С.

Оценка: _____

Дата: 18.11.25

Москва, 2025

Постановка задачи

Вариант 5.

Отсортировать массив целых чисел при помощи четно-нечетной сортировки Бетчера.

Общий метод и алгоритм решения

Использованные системные вызовы:

- **pthread_create() -** Создает новый поток, который выполняет функцию worker с передачей данных data
- **pthread_join() -** Блокирует выполнение основного потока до завершения указанного рабочего потока
- **pthread_mutex_lock() / pthread_mutex_unlock() -** Защищает критическую секцию (операцию обмена элементов) от одновременного доступа нескольких потоков
- **malloc() / free() -** Динамическое выделение и освобождение памяти
- **srand() / rand() -** Инициализация генератора случайных чисел и заполнение массива
- **time() -** Используется для инициализации генератора случайных чисел

1. **Инициализация**: Программа создает массив случайных чисел заданного размера и инициализирует мьютекс для синхронизации
2. **Запуск потоков**: Для каждой итерации сортировки создаются потоки - сначала для четной фазы (сравнение элементов 0-1, 2-3...), затем для нечетной фазы (сравнение элементов 1-2, 3-4...)
3. **Параллельная обработка**: Каждый поток обрабатывает свою часть массива, сравнивая пары элементов и выполняя обмен при необходимости с использованием мьютекса
4. **Синхронизация**: Основной поток ожидает завершения всех рабочих потоков после каждой фазы перед началом следующей
5. **Проверка результата**: После каждой пары фаз проверяется отсортированность массива, процесс повторяется пока массив не будет полностью отсортирован
6. **Завершение**: Программа выводит отсортированный массив и освобождает ресурсы

Код программы

main.c

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
```

```c
#include <unistd.h>
#include <time.h>


int *array, size, max_threads;
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;


typedef struct {
    int phase;
    int thread_id;
} ThreadData;


void swap(int i, int j) {
    int tmp = array[i];
    array[i] = array[j];
    array[j] = tmp;
}


void* worker(void *arg) {
    ThreadData *data = (ThreadData*)arg;
    int start = data->thread_id * 2 + data->phase;
    int step = max_threads * 2;

    for (int i = start; i < size - 1; i += step) {
        if (array[i] > array[i + 1]) {
            pthread_mutex_lock(&mutex);
            swap(i, i + 1);
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
        }
    }
```

```
    free(data);
    return NULL;
}


int is_sorted() {
    for (int i = 0; i < size - 1; i++)
        if (array[i] > array[i + 1]) return 0;
    return 1;
}


void print_array(int *arr, char *label) {
    printf("%s: ", label);
    for (int i = 0; i < size; i++) {
        printf("%d", arr[i]);
        if (i < size - 1) printf(" ");
    }
    printf("\n");
}


void parallel_sort() {
    pthread_t *threads = malloc(max_threads * sizeof(pthread_t));
    int sorted = 0;
    int iterations = 0;

    while (!sorted && iterations < size) {
        // Even phase
        for (int i = 0; i < max_threads; i++) {
            ThreadData *data = malloc(sizeof(ThreadData));
            data->phase = 0;
            data->thread_id = i;
```

```
            pthread_create(&threads[i], NULL, worker, data);
        }
        for (int i = 0; i < max_threads; i++) pthread_join(threads[i], NULL);

        // Odd phase
        for (int i = 0; i < max_threads; i++) {
            ThreadData *data = malloc(sizeof(ThreadData));
            data->phase = 1;
            data->thread_id = i;
            pthread_create(&threads[i], NULL, worker, data);
        }
        for (int i = 0; i < max_threads; i++) pthread_join(threads[i], NULL);

        sorted = is_sorted();
        iterations++;
    }

    printf("Сортировка завершена за %d итераций\n", iterations);
    free(threads);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    if (argc != 3) {
        printf("Usage: %s <size> <threads>\n", argv[0]);
        return 1;
    }

    size = atoi(argv[1]);
    max_threads = atoi(argv[2]);

    if (max_threads > size/2) max_threads = size/2;
```

```
        if (max_threads < 1) max_threads = 1;


        array = malloc(size * sizeof(int));
        int *original = malloc(size * sizeof(int));


        srand(time(NULL));
        for (int i = 0; i < size; i++) {
            array[i] = rand() % 100;
            original[i] = array[i];
        }
        printf("=== Чётно-нечётная сортировка Бетчера ===\n");
        printf("Размер массива: %d, Потоков: %d\n\n", size, max_threads);


        print_array(original, "Неотсортированный массив");


        parallel_sort();


        print_array(array, "Отсортированный массив");
        printf("Проверка: %s\n", is_sorted() ? "ОТСОРТИРОВАНО КОРРЕКТНО" : "НЕ
ОТСОРТИРОВАННО КОРРЕКТНО");


        free(array);
        free(original);
        pthread_mutex_destroy(&mutex);
        return 0;
    }
```

Протокол работы программы

```
$ gcc -pthread main.c
$ ./a.out 10 4
=== Чётно-нечётная сортировка Бетчера ===
Размер массива: 10, Потоков: 4
```

Неотсортированный массив: 31 68 39 35 79 58 14 73 57 79

Сортировка завершена за 4 итераций

Отсортированный массив: 14 31 35 39 57 58 68 73 79 79

Проверка: ОТСОРТИРОВАНО КОРРЕКТНО

Число потоков (размер массива = 50 чисел)	Время выполнения(мс)	Ускорение	Эффективность
1	9.452	1	1
2	10.786	0.88	0.440
4	30.121	0.31	0.078
8	66.414	0.14	0.018

```
$ strace ./a.out 10 4
execve("./a.out", ["./a.out", "10", "4"], 0x7ffe4048eb50 /* 34 vars */) = 0
brk(NULL)                               = 0x5b44a8f49000
access("/etc/ld.so.preload", R_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=21784, ...}) = 0
mmap(NULL, 21784, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x78866e522000
close(3)                                = 0
openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libpthread.so.0", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0 l\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=149520, ...}) = 0
mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) =
0x78866e520000
mmap(NULL, 136304, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x78866e4fe000
mmap(0x78866e504000, 65536, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,
3, 0x6000) = 0x78866e504000
mmap(0x78866e514000, 24576, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3,
0x16000) = 0x78866e514000
mmap(0x78866e51a000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,
3, 0x1b000) = 0x78866e51a000
mmap(0x78866e51c000, 13424, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS,
-1, 0) = 0x78866e51c000
```

```
close(3)                                = 0

openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\260>\2\0\0\0\0\0"..., 832) =
832

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=1901536, ...}) = 0

mmap(NULL, 1914496, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x78866e32a000

mmap(0x78866e34c000, 1413120, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x22000) = 0x78866e34c000

mmap(0x78866e4a5000, 323584, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3,
0x17b000) = 0x78866e4a5000

mmap(0x78866e4f4000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,
3, 0x1c9000) = 0x78866e4f4000

mmap(0x78866e4fa000, 13952, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS,
-1, 0) = 0x78866e4fa000

close(3)                                = 0

mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) =
0x78866e327000

arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x78866e327740) = 0

mprotect(0x78866e4f4000, 16384, PROT_READ) = 0

mprotect(0x78866e51a000, 4096, PROT_READ) = 0

mprotect(0x5b44a6e90000, 4096, PROT_READ) = 0

mprotect(0x78866e552000, 4096, PROT_READ) = 0

munmap(0x78866e522000, 21784)           = 0

set_tid_address(0x78866e327a10)         = 55406

set_robust_list(0x78866e327a20, 24)     = 0

rt_sigaction(SIGRTMIN, {sa_handler=0x78866e504690, sa_mask=[],
sa_flags=SA_RESTORER|SA_SIGINFO, sa_restorer=0x78866e511140}, NULL, 8) = 0

rt_sigaction(SIGRT_1, {sa_handler=0x78866e504730, sa_mask=[],
sa_flags=SA_RESTORER|SA_RESTART|SA_SIGINFO, sa_restorer=0x78866e511140}, NULL, 8) = 0

rt_sigprocmask(SIG_UNBLOCK, [RTMIN RT_1], NULL, 8) = 0

prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024, rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0

brk(NULL)                               = 0x5b44a8f49000

brk(0x5b44a8f6a000)                     = 0x5b44a8f6a000

fstat(1, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...}) = 0

write(1, "=== \320\247\321\221\321\202\320\275\320\276-
\320\275\320\265\321\207\321\221\321\202\320\275\320\260\321\217 "..., 72=== Чётно-нечётная
сортировка Бетчера ===
```

```
) = 72

write(1, "\320\240\320\260\320\267\320\274\320\265\321\200
\320\274\320\260\321\201\321\201\320\270\320\262\320\260: 10,"..., 52Размер массива: 10,
Потоков: 4

) = 52

write(1,
"\320\235\320\265\320\276\321\202\321\201\320\276\321\200\321\202\320\270\321\200\320\276\32
0\262\320\260\320\275\320\275\321\213"..., 78Неотсортированный массив: 19 68 43 13 53 12 58
55 65 8

) = 78

mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0) =
0x78866db26000

mprotect(0x78866db27000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55407], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55407

mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0) =
0x78866d325000

mprotect(0x78866d326000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55408

mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0) =
0x78866cb24000

mprotect(0x78866cb25000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55409

mmap(NULL, 8392704, PROT_NONE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS|MAP_STACK, -1, 0) =
0x78866c323000

mprotect(0x78866c324000, 8388608, PROT_READ|PROT_WRITE) = 0

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55410], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55410

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55411
```

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55412], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55412

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55413

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55414

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55415

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55416

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55417

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55418

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55419

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55420

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55421], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55421

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55422], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55422

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55423

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55424

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55425

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55426

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55427

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55428

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55429

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55430

clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55431

clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55432

clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55433

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55434], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55434

clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55435

```
     clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55436

     clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55437], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55437

     clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55438

     clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55439

     clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55440

     clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55441

     clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55442

     clone(child_stack=0x78866cb22fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[55443], tls=0x78866cb23700,
child_tidptr=0x78866cb239d0) = 55443

     clone(child_stack=0x78866d323fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866d324700,
child_tidptr=0x78866d3249d0) = 55444

     clone(child_stack=0x78866db24fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866db25700,
child_tidptr=0x78866db259d0) = 55445

     clone(child_stack=0x78866e325fb0,
flags=CLONE_VM|CLONE_FS|CLONE_FILES|CLONE_SIGHAND|CLONE_THREAD|CLONE_SYSVSEM|CLONE_SETTLS|CL
ONE_PARENT_SETTID|CLONE_CHILD_CLEARTID, parent_tid=[0], tls=0x78866e326700,
child_tidptr=0x78866e3269d0) = 55446

     write(1,
"\320\241\320\276\321\200\321\202\320\270\321\200\320\276\320\262\320\272\320\260
\320\267\320\260\320\262\320\265\321\200\321"..., 64Сортировка завершена за 5 итераций

     ) = 64
```

```
     write(1,
"\320\236\321\202\321\201\320\276\321\200\321\202\320\270\321\200\320\276\320\262\320\260\32
0\275\320\275\321\213\320\271 \320"..., 74Отсортированный массив: 8 12 13 19 43 53 55 58 65
68

     ) = 74

     write(1, "\320\237\321\200\320\276\320\262\320\265\321\200\320\272\320\260:
\320\236\320\242\320\241\320\236\320\240\320\242\320\230"..., 64Проверка: ОТСОРТИРОВАНО
КОРРЕКТНО

     ) = 64

     exit_group(0)                           = ?

     +++ exited with 0 +++
```

Вывод

Я составил и отладил программу на языке Си, осуществляющую работу с процессами и взаимодействие между ними. В результате работы программа выполняет сортировку массива целых чисел при помощи четно-нечетной сортировки Бетчера. Для каждой итерации сортировки создаются потоки. Основной поток ожидает завершения всех рабочих потоков. Для маленьких массивов (50 элементов) обычно выгоднее использовать 1-2 потока. Параллельная сортировка начинает показывать преимущество на массивах от 1000+ элементов.