

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»**

Выполнил: Д. А. Кузнецов  
Группа: М8О-207БВ-24  
Преподаватель: Е. С. Миронов

Москва, 2025

## Условие

### Цель работы:

Приобретение практических навыков в:

- Управление потоками в ОС
- Обеспечение синхронизации между потоками

### Задание:

Составить программу на языке C++, обрабатывающую данные в многопоточном режиме. При обработке использовать стандартные средства создания потоков операционной системы (Windows/Unix). Ограничение максимального количества потоков, работающих в один момент времени, должно быть задано ключом запуска вашей программы. Так же необходимо уметь продемонстрировать количество потоков, используемое вашей программой с помощью стандартных средств операционной системы. В отчете привести исследование зависимости ускорения и эффективности алгоритма от входных данных и количества потоков. Получившиеся результаты необходимо объяснить.

### Вариант: 3

Отсортировать массив целых чисел при помощи параллельной сортировки слиянием

## Метод решения

Алгоритм решения задачи:

1. Пользователь запускает программу с параметром `-max-threads N`.
2. Создается объект `ParallelMergeSort` с максимальным числом потоков `N`.
3. Генерируется случайный массив заданным размером элементов.
4. Вызывается метод `Sort()` основного массива.
5. Инициализируется счетчик активных потоков.
6. Запускается рекурсивная параллельная сортировка.
7. Попытка создания нового потока. В случае неудачи - сортируем подмассив последовательно.
8. Для маленьких подмассивов или при недоступности потоков рекурсивно делим массив пополам, сортируем левую и правую части, выполняем слияние отсортированных частей.
9. Когда все рекурсивные вызовы завершены: основной поток завершает выполнение, выводится время сортировки, программа завершает работу.

Архитектура программы:

```
lab2/  
  build/  
  include/  
    sort.h  
    utils.h  
  src/  
    sort.cpp  
    utils.cpp  
  CMakeLists.txt  
  main.cpp
```

Ссылки:

- <https://en.cppreference.com/w/cpp/chrono.html>
- <https://en.cppreference.com/w/cpp/thread/thread.html>
- [https://en.cppreference.com/w/cpp/thread/lock\\_guard.html](https://en.cppreference.com/w/cpp/thread/lock_guard.html)
- <https://en.cppreference.com/w/cpp/numeric/random/rand.html>
- [https://en.cppreference.com/w/cpp/numeric/random/mersenne\\_twister\\_engine.html](https://en.cppreference.com/w/cpp/numeric/random/mersenne_twister_engine.html)
- <https://en.cppreference.com/w/cpp/algorithm.html>
- <https://en.cppreference.com/w/cpp/header/cstdlib.html>

## Описание программы

main.cpp — точка входа в программу.

include/sort.h — объявление класса ParallelMergeSort

src/sort.cpp — реализация параллельной сортировки

- `ParallelMergeSort::ParallelMergeSort(int maxThreads);` — конструктор.
- `void ParallelMergeSort::ParallelSort(std::vector<int> arr, int left, int right);` — рекурсивная параллельная сортировка.
- `void ParallelMergeSort::SequentialSort(std::vector<int> arr, int left, int right);` — последовательная сортировка.
- `void ParallelMergeSort::Merge(std::vector<int> arr, int left, int mid, int right);` — слияние отсортированных массивов.

include/utils.h — объявление вспомогательной функции.

src/utils.cpp — реализация вспомогательной функции.

- `std::vector<int> GenerateRandomArray(sizet size);` — генерация случайного массива.

## Результаты

Программа получает на вход один параметр: максимальное число потоков (`-max-threads N`) После проверки корректности аргументов она запускает параллельную сортировку слиянием массива из 10000000 элементов. Алгоритм динамически распределяет работу между потоками, создавая новые потоки только когда это эффективно и не превышает заданный лимит.

По завершении всех вычислений программа выводит в стандартный поток вывода:

- размер отсортированного массива,
- максимальное число используемых потоков,
- время выполнения в миллисекундах,
- статус проверки корректности сортировки.

Результатом работы является отсортированный по возрастанию массив, корректность которого проверяется автоматически. Алгоритм гарантирует правильную сортировку благодаря корректной реализации слияния отсортированных подмассивов и атомарному управлению потоками.

Программа корректно обрабатывает ошибочные ситуации (некорректные аргументы, недопустимые значения потоков) и завершается с соответствующим кодом ошибки. В случае корректного запуска все потоки завершаются штатно, ресурсы освобождаются автоматически, а результат сортировки проходит валидацию.

График зависимости времени выполнения от количества используемых потоков приведен на рисунке 1 (размер массива = 10000000 элементов).

Анализ показывает, что при увеличении числа потоков от 1 до 8 наблюдается значительное сокращение времени выполнения, что свидетельствует о хорошей параллелизуемости алгоритма сортировки слиянием. Ускорение достигает примерно 3.5× при использовании 8 потоков по сравнению с однопоточной версией.

Оптимальная производительность достигается при 4-8 потоках, после чего дальнейшее увеличение числа потоков приводит к уменьшению прироста производительности. Это объясняется накладными расходами на создание и синхронизацию потоков, а также ограничениями памяти и кэша процессора.

При использовании максимального числа потоков (12 и более) наблюдается насыщение производительности, где дополнительное распараллеливание не дает существенного выигрыша из-за возрастающих затрат на коммуникацию между потоками и конкуренции за ресурсы памяти.

Таким образом, для задачи параллельной сортировки слиянием оптимальное число потоков составляет 4-8 для массива из 10000000 элементов. Это связано с балансом между вычислительной сложностью подзадач и накладными расходами на управление потоками. Алгоритм эффективно использует доступные вычислительные ресурсы и демонстрирует хорошую масштабируемость в многопоточной среде.

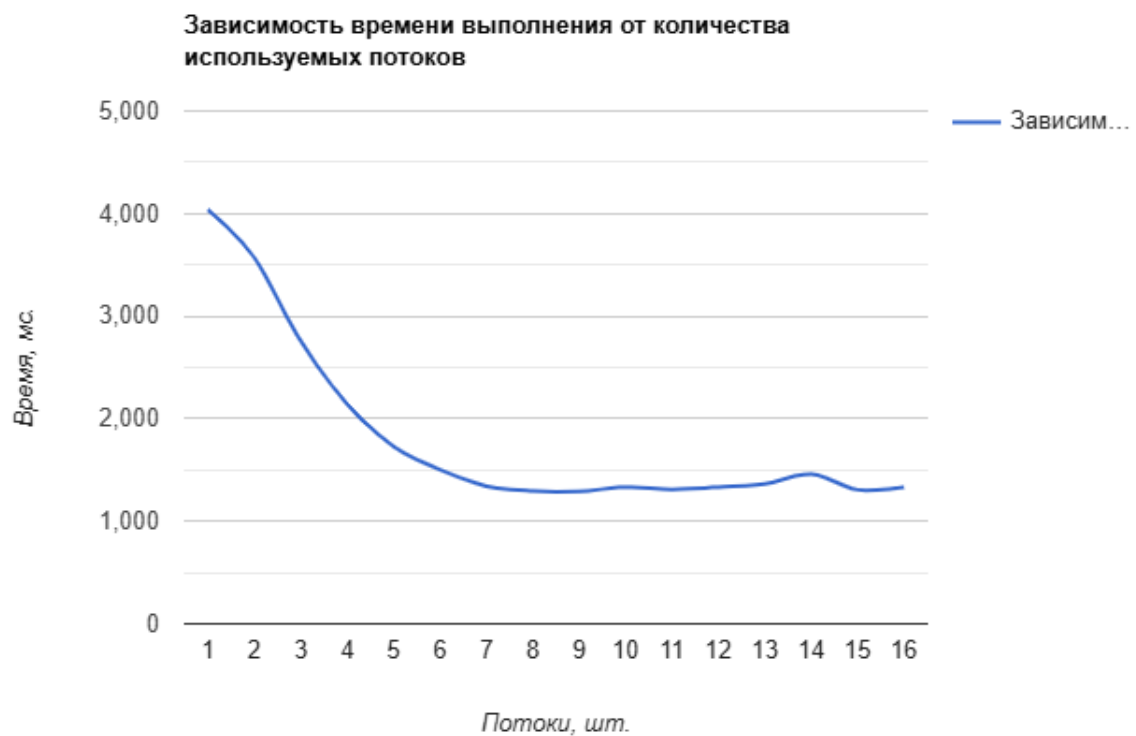


Рис. 1: График зависимости времени выполнения от количества используемых потоков.

## Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы были приобретены практические навыки в организации многопоточной сортировки данных, синхронизации потоков и эффективного управления вычислительными ресурсами.

Была разработана и отлажена программа на языке C++, реализующая параллельную сортировку слиянием для больших массивов данных. Программа использует стандартные средства многопоточности C++ (`std::thread`, `std::atomic`), что обеспечивает корректную работу на различных операционных системах и поддерживает кроссплатформенность.

В результате работы программа динамически распределяет вычислительную нагрузку между потоками, создавая новые потоки только когда это эффективно и не превышает заданный пользователем лимит. Алгоритм реализует стратегию "разделяй и властвуй" рекурсивно разделяя массив на подмассивы и параллельно обрабатывая их в отдельных потоках.

Была обеспечена безопасная работа с разделяемыми ресурсами: для контроля количества активных потоков используется атомарная переменная (`std::atomic`), что исключает гонки данных и гарантирует корректность работы в многопоточной среде.

Были обработаны возможные ошибки ввода (некорректные аргументы командной строки, недопустимые значения потоков), а также обеспечена корректная инициализация и завершение всех потоков. Программа включает проверку корректности сортировки для верификации результатов.

## Исходная программа

```
1 | #pragma once
2 |
3 | #include <vector>
4 | #include <atomic>
5 |
6 | class ParallelMergeSort {
7 | public:
8 |     explicit ParallelMergeSort(int maxThreads);
9 |     void Sort(std::vector<int>& arr);
10 |
11 | private:
12 |     void Merge(std::vector<int>& arr, int left, int mid, int right);
13 |     void SequentialSort(std::vector<int>& arr, int left, int right);
14 |     void ParallelSort(std::vector<int>& arr, int left, int right);
15 |
16 |     int maxThreads_;
17 |     std::atomic<int> activeThreads_{1};
18 | };
```

Листинг 1: sort.h

```
1 | #include "sort.h"
2 | #include <thread>
3 | #include <vector>
4 |
5 | ParallelMergeSort::ParallelMergeSort(int maxThreads) : maxThreads_(maxThreads) {
6 |     if (maxThreads_ < 1) maxThreads_ = 1;
7 | }
8 |
9 | void ParallelMergeSort::Merge(std::vector<int>& arr, int left, int mid, int right) {
10 |     std::vector<int> leftArr(arr.begin() + left, arr.begin() + mid + 1);
11 |     std::vector<int> rightArr(arr.begin() + mid + 1, arr.begin() + right + 1);
12 |
13 |     int i = 0;
14 |     int j = 0;
15 |     int k = left;
16 |
17 |     while (i < static_cast<int>(leftArr.size()) && j < static_cast<int>(rightArr.size()
18 |         ())) {
19 |         if (leftArr[i] <= rightArr[j]) {
20 |             arr[k++] = leftArr[i++];
21 |         } else {
22 |             arr[k++] = rightArr[j++];
23 |         }
24 |     }
25 |
26 |     while (i < static_cast<int>(leftArr.size())) {
27 |         arr[k++] = leftArr[i++];
28 |     }
29 |
30 |     while (j < static_cast<int>(rightArr.size())) {
31 |         arr[k++] = rightArr[j++];
32 |     }
33 | }
34 | void ParallelMergeSort::SequentialSort(std::vector<int>& arr, int left, int right) {
```

```

35     if (left >= right) {
36         return;
37     }
38     int mid = left + (right - left) / 2;
39     SequentialSort(arr, left, mid);
40     SequentialSort(arr, mid + 1, right);
41     Merge(arr, left, mid, right);
42 }
43
44 void ParallelMergeSort::ParallelSort(std::vector<int>& arr, int left, int right) {
45     if (left >= right) return;
46
47     int mid = left + (right - left) / 2;
48
49     int current = activeThreads_.load();
50     bool spawned = false;
51     while (current < maxThreads_) {
52         if (activeThreads_.compare_exchange_weak(current, current + 1)) {
53             std::thread t([this, &arr, left, mid]() {
54                 ParallelSort(arr, left, mid);
55                 activeThreads_.fetch_sub(1);
56             });
57             ParallelSort(arr, mid + 1, right);
58             t.join();
59             spawned = true;
60             break;
61         }
62     }
63
64     if (spawned) {
65         Merge(arr, left, mid, right);
66     } else {
67         SequentialSort(arr, left, right);
68     }
69 }
70
71 void ParallelMergeSort::Sort(std::vector<int>& arr) {
72     if (arr.size() <= 1) {
73         return;
74     }
75     activeThreads_.store(1);
76     ParallelSort(arr, 0, static_cast<int>(arr.size()) - 1);
77 }

```

Листинг 2: sort.cpp

```

1  #pragma once
2
3  #include <vector>
4  #include <string>
5
6  class Utils {
7  public:
8      static std::vector<int> GenerateRandomArray(size_t size);
9  };

```

Листинг 3: utils.h

```

1  #include <utils.h>
2  #include <random>
3
4  std::vector<int> Utils::GenerateRandomArray(size_t size) {
5      std::vector<int> arr(size);
6      std::random_device rd;
7      std::mt19937 gen(rd());
8      std::uniform_int_distribution<> dis(1, 1000000);
9      for (auto& x : arr) x = dis(gen);
10     return arr;
11 }

```

Листинг 4: utils.cpp

```

1  #include <iostream>
2  #include <vector>
3  #include <chrono>
4  #include <string>
5  #include <cstdlib>
6  #include "sort.h"
7  #include "utils.h"
8
9  void PrintUsage(const char* prog) {
10     std::cerr << "Usage: " << prog << " --max-threads N\n";
11     std::cerr << " N must be a positive integer (e.g., 1, 2, 4, 8).\n";
12 }
13
14 int main(int argc, char* argv[]) {
15     if (argc != 3) {
16         PrintUsage(argv[0]);
17         return 1;
18     }
19
20     int maxThreads = -1;
21
22     if (std::string(argv[1]) == "--max-threads") {
23         maxThreads = std::atoi(argv[2]);
24     } else {
25         std::cerr << "Error: expected --max-threads as first argument.\n";
26         PrintUsage(argv[0]);
27         return 1;
28     }
29
30     if (maxThreads <= 0) {
31         std::cerr << "Error: --max-threads must be a positive integer.\n";
32         return 1;
33     }
34
35     const size_t ARRAY_SIZE = 1000000;
36     std::cout << "Generating random array of " << ARRAY_SIZE << " elements...\n";
37     std::vector<int> arr = Utils::GenerateRandomArray(ARRAY_SIZE);
38
39     std::cout << "Max threads allowed: " << maxThreads << "\n";
40     auto start = std::chrono::high_resolution_clock::now();
41     ParallelMergeSort sorter(maxThreads);
42     sorter.Sort(arr);
43     auto end = std::chrono::high_resolution_clock::now();
44

```



```

45 |     auto duration = std::chrono::duration_cast<std::chrono::milliseconds>(end - start)
    |     ;
46 |     std::cout << "Sorting completed in " << duration.count() << " ms\n";
47 |
48 |     return 0;
49 | }

```

Листинг 5: main.cpp

## Strace

```

execve("./main",["./main"],0x7ffd0636d670 /* 37 vars */) = 0
brk(NULL)                                = 0x5c242a69c000
arch_prctl(0x3001 /* ARCH_??? */,0x7fff336d94d0) = -1 EINVAL (Invalid argument)
mmap(NULL,8192,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS,-1,0) = 0x72ea2fb48000
access("/etc/ld.so.preload",R_OK)        = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/glibc-hwcaps/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/glibc-hwcaps/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/glibc-hwcaps/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/glibc-hwcaps/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/haswell/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/haswell/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/haswell/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/haswell/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls/libstdc++.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/tls",0x7fffd0636d670 /* 37 vars */)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/haswell/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/haswell/x86_64-linux-gnu/libc.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/haswell/libstdc++.so.6")
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/haswell",0x7fffd0636d670 /* 37 vars */)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/x86_64-linux-gnu/libstdc++.so.6")

```

```

= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/x86_64", 0x7ff
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/libstdc++.so.6"
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib", {st_mode=S
= 0
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/glibc-hwcaps/x86-64
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/glibc-hwcaps/x
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/glibc-hwcaps/x86-64
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/glibc-hwcaps/x
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/haswell/x86_64
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/haswell/x8
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/haswell/libstd
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/haswell", 0
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/x86_64/libstdc
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/x86_64", 0x
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls/libstdc++.so.6
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/tls", 0x7fff336
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/haswell/x86_64/lib
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/haswell/x86_64
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/haswell/libstdc++.
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/haswell", 0x7ff
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/x86_64/libstdc++.s
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/x86_64", 0x7fff
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/libstdc++.so.6", 0
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib", {st_mode=S_IF
= 0
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v3/lib

```

```

= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v3"
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libst
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v2"
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/haswell/x86_64/libstdc+
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/haswell/x86_64",0x7
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/haswell/libstdc++.so.6"
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/haswell",0x7fff336d
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/x86_64/libstdc++.so.6",
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/x86_64",0x7fff336d8
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls/libstdc++.so.6",0_RDONL
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/tls",0x7fff336d86f0,0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/haswell/x86_64/libstdc++.so
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/haswell/x86_64",0x7fff3
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/haswell/libstdc++.so.6",0_R
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/haswell",0x7fff336d86f0
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/x86_64/libstdc++.so.6",0_RD
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/x86_64",0x7fff336d86f0,
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/libstdc++.so.6",0_RDONLY|O_
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib",{st_mode=S_IFDIR|0755,
= 0
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/glibc-hwcaps/x86-64-v3/libstdc+
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/glibc-hwcaps/x86-64-v3",0x7
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libstdc+
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/glibc-hwcaps/x86-64-v2",0x7
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/haswell/x86_64/libstdc++.so

```

```

= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/haswell/x86_64", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/haswell/libstdc++.so.6", O_RDONLY)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/haswell", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/x86_64", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/tls", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/haswell/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/haswell/x86_64", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/haswell/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/haswell", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/x86_64", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu", {st_mode=S_IFDIR|0755, st_size=0})
= 0
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v3/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v3", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/glibc-hwcaps/x86-64-v2", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/tls/haswell/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/tls/haswell/x86_64", 0x7fff336d86f0, 0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/tls/haswell/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/tls/haswell", 0x7fff336d86f0, 0) = -1
ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/tls/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC)

```

```
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/tls/x86_64",0x7fff336d86f0,0) = -1
ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/tls/libstdc++.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/tls",0x7fff336d86f0,0) = -1 ENOENT
(No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/haswell/x86_64/libstdc++.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/haswell/x86_64",0x7fff336d86f0,0)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/haswell/libstdc++.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/haswell",0x7fff336d86f0,0) = -1 ENOENT
(No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64/libstdc++.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64",0x7fff336d86f0,0) = -1 ENOENT
(No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/libstdc++.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC) =
-1 ENOENT (No such file or directory)
newfstatat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib",{st_mode=S_IFDIR|0755,st_size=32768,...},0)
= 0
openat(AT_FDCWD,"/etc/ld.so.cache",O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
newfstatat(3,"",{st_mode=S_IFREG|0644,st_size=135128,...},AT_EMPTY_PATH) =
0
mmap(NULL,135128,PROT_READ,MAP_PRIVATE,3,0) = 0x72ea2fb27000
close(3) = 0
openat(AT_FDCWD,"/lib/x86_64-linux-gnu/libstdc++.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= 3
read(3,"\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0"... ,832)
= 832
newfstatat(3,"",{st_mode=S_IFREG|0644,st_size=2260296,...},AT_EMPTY_PATH) =
0
mmap(NULL,2275520,PROT_READ,MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE,3,0) = 0x72ea2f800000
mprotect(0x72ea2f89a000,1576960,PROT_NONE) = 0
mmap(0x72ea2f89a000,1118208,PROT_READ|PROT_EXEC,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3)
= 0x72ea2f89a000
mmap(0x72ea2f9ab000,454656,PROT_READ,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,0x1ab000)
= 0x72ea2f9ab000
mmap(0x72ea2fa1b000,57344,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,
= 0x72ea2fa1b000
mmap(0x72ea2fa29000,10432,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS,-1)
= 0x72ea2fa29000
close(3) = 0
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/libgcc_s.so.1",
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/libgcc_s.so.1",O_R
```

```

= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/libgcc_s.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/libgcc_s.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/libgcc_s.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libgcc_s.so.1", 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\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=125488, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
mmap(NULL, 127720, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x72ea2fb07000
mmap(0x72ea2fb0a000, 94208, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x72ea2fb0a000
mmap(0x72ea2fb21000, 16384, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1a000) = 0x72ea2fb21000
mmap(0x72ea2fb25000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x72ea2fb25000
close(3) = 0
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/libc.so.6", O_RDONLY) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/libc.so.6", O_RDONLY) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/opt/ros/humble/lib/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
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\0P\237\2\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
pread64(3, "\6\0\0\0\4\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0"..., 784, 64) = 784
pread64(3, "\4\0\0\0 \0\0\0\5\0\0\0GNU\0\2\0\0\300\4\0\0\0\3\0\0\0\0\0\0\0"..., 48, 848) = 48
pread64(3, "\4\0\0\0\24\0\0\0\3\0\0\0GNU\00{\f\225\\=\201\327\312\301P\32$\230\266\235"..., 68) = 68
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=2220400, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
pread64(3, "\6\0\0\0\4\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0"..., 784, 64) = 784
mmap(NULL, 2264656, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x72ea2f400000
mprotect(0x72ea2f428000, 2023424, PROT_NONE) = 0
mmap(0x72ea2f428000, 1658880, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x72ea2f428000

```

```

mmap(0x72ea2f5bd000,360448,PROT_READ,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,0x1bd000)
= 0x72ea2f5bd000
mmap(0x72ea2f616000,24576,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,
= 0x72ea2f616000
mmap(0x72ea2f61c000,52816,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS,-1
= 0x72ea2f61c000
close(3) = 0
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_ros_com/lib/libm.so.6",O_RDONLY
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/home/clydegriffiths/ros2_ws/install/px4_msgs/lib/libm.so.6",O_RDONLY
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/opt/rviz_ogre_vendor/lib/libm.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/x86_64-linux-gnu/libm.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/opt/ros/humble/lib/libm.so.6",O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT
(No such file or directory)
openat(AT_FDCWD,"/lib/x86_64-linux-gnu/libm.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\0\0\0\0\0\0\0"... ,832)
= 832
newfstatat(3,"",{st_mode=S_IFREG|0644,st_size=940560,...},AT_EMPTY_PATH) =
0
mmap(NULL,942344,PROT_READ,MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE,3,0) = 0x72ea2f719000
mmap(0x72ea2f727000,507904,PROT_READ|PROT_EXEC,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,0
= 0x72ea2f727000
mmap(0x72ea2f7a3000,372736,PROT_READ,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,0x8a000)
= 0x72ea2f7a3000
mmap(0x72ea2f7fe000,8192,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE,3,0
= 0x72ea2f7fe000
close(3) = 0
mmap(NULL,8192,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS,-1,0) = 0x72ea2fb05000
mmap(NULL,12288,PROT_READ|PROT_WRITE,MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS,-1,0) = 0x72ea2fb02000
arch_prctl(ARCH_SET_FS,0x72ea2fb02740) = 0
set_tid_address(0x72ea2fb02a10) = 95627
set_robust_list(0x72ea2fb02a20,24) = 0
rseq(0x72ea2fb030e0,0x20,0,0x53053053) = 0
mprotect(0x72ea2f616000,16384,PROT_READ) = 0
mprotect(0x72ea2f7fe000,4096,PROT_READ) = 0
mprotect(0x72ea2fb25000,4096,PROT_READ) = 0
mprotect(0x72ea2fa1b000,45056,PROT_READ) = 0
mprotect(0x5c23ec108000,4096,PROT_READ) = 0
mprotect(0x72ea2fb82000,8192,PROT_READ) = 0
prlimit64(0,RLIMIT_STACK,NULL,{rlim_cur=8192*1024,rlim_max=RLIM64_INFINITY})
= 0
munmap(0x72ea2fb27000,135128) = 0
getrandom("\x6f\x59\xed\x1b\xdf\x98\x1b\xe",8,GRND_NONBLOCK) = 8
brk(NULL) = 0x5c242a69c000
brk(0x5c242a6bd000) = 0x5c242a6bd000

```

```

futex(0x72ea2fa2977c,FUTEX_WAKE_PRIVATE,2147483647) = 0
write(2,"Usage: ",7Usage: ) = 7
write(2,"./main",6./main) = 6
write(2," --max-threads N\n",17 --max-threads N
) = 17
write(2," N must be a positive integer (...51 N must be a positive integer
(e.g.,1,2,4,8).
) = 51
exit_group(1) = ?
+++ exited with 1 +++

```