

Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)
Институт №8 “Компьютерные науки и прикладная математика”
Кафедра №806 “Вычислительная математика и программирование”

Лабораторная работа №4 по курсу
«Операционные системы»

Группа: М8О-215Б-23

Студент: Агафонов А. С.

Преподаватель: Миронов Е.С.

Оценка: _____

Дата: 28.12.24

Москва, 2024

Постановка задачи

Вариант 8.

Требуется создать динамические библиотеки, которые реализуют заданный вариантом функционал. Далее использовать данные библиотеки 2-мя способами:

1. Во время компиляции (на этапе «линковки»/linking)
2. Во время исполнения программы. Библиотеки загружаются в память с помощью интерфейса ОС для работы с динамическими библиотеками

В конечном итоге, в лабораторной работе необходимо получить следующие части:

- ☐ Динамические библиотеки, реализующие контракты, которые заданы вариантом;
- ☐ Тестовая программа (*программа №1*), которая использует одну из библиотек, используя информацию, полученную на этапе компиляции;
- ☐ Тестовая программа (*программа №2*), которая загружает библиотеки, используя только их относительные пути и контракты.

Провести анализ двух типов использования библиотек.

| Описание | Сигнатура | Реализация 1 | Реализация 2 |
|--|---|--|-------------------------------------|
| Расчет интеграла функции $\sin(x)$ на отрезке $[A, B]$ с шагом e | Float SinIntegral(float A, float B, float e) | Подсчет интеграла методом прямоугольников. | Подсчет интеграла методом трапеций. |
| Отсортировать целочисленный массив | Int * Sort(int * array) | Пузырьковая сортировка | Сортировка Хоара |

Общий метод и алгоритм решения

Использованные системные вызовы:

- `void* dlopen(const char* filename, int flag);` – загружает динамическую библиотеку в память.
- `void* dlsym(void* handle, const char* symbol);` – возвращает указатель на функцию или переменную из загруженной библиотеки.

- `int dlclose(void* handle);` – освобождает ресурсы, связанные с загруженной библиотекой.

В рамках лабораторной работы были выполнены следующие основные этапы:

1. Создание динамических библиотек:

- Реализованы две функции:
 - **SinIntegral:** Рассчитывает интеграл функции $\sin(x)$ на заданном отрезке $[A, B]$ с шагом e методом прямоугольников и методом трапеций.
 - **Sort:** Сортирует целочисленный массив с использованием пузырьковой сортировки и быстрой сортировки (алгоритм Хоара).
- Для каждой реализации функции была создана отдельная динамическая библиотека:
 - `libSinIntegral_Rect.so` и `libSinIntegral_Trapezoid.so` для функции `SinIntegral`.
 - `libSort_Bubble.so` и `libSort_Quick.so` для функции `Sort`.

2. Разработка тестовых программ:

- **TestProgram1:** Использует динамические библиотеки на этапе компиляции (линковки).
- **TestProgram2:** Загружает динамические библиотеки во время исполнения программы с помощью функций `dlopen`, `dlsym` и `dlclose`.

3. Автоматизация сборки с помощью Makefile:

- Создан `Makefile` для упрощения процесса компиляции и сборки библиотек и тестовых программ.
- Включены настройки `RPATH` для автоматического поиска динамических библиотек без необходимости ручной установки переменной окружения `LD_LIBRARY_PATH`.

Makefile

`CXX = g++`

`CXXFLAGS = -std=c++11 -Wall -Wextra -fPIC -shared -O2`

`APPFLAGS = -std=c++11 -Wall -Wextra -O2`

`LDFLAGS = -ldl`

`# RPATH настройки`

`RPATH = -Wl,-rpath,\$${ORIGIN}`

`# Библиотеки`

`LIBS = libSinIntegral_Rect.so libSinIntegral_Trapezoid.so libSort_Bubble.so`

`libSort_Quick.so`

`all: $(LIBS) TestProgram1 TestProgram2`

`libSinIntegral_Rect.so: SinIntegral_Rect.cpp`

`$(CXX) $(CXXFLAGS) -o $@ $<`

`libSinIntegral_Trapezoid.so: SinIntegral_Trapezoid.cpp`

`$(CXX) $(CXXFLAGS) -o $@ $<`

`libSort_Bubble.so: Sort_Bubble.cpp`

`$(CXX) $(CXXFLAGS) -o $@ $<`

libSort_Quick.so: Sort_Quick.cpp

\$(CXX) \$(CXXFLAGS) -o \$@ Sort_Quick.cpp

TestProgram1: TestProgram1.cpp

\$(CXX) \$(APPFLAGS) -o \$@ TestProgram1.cpp -L. -lSinIntegral_Rect -lSort_Bubble \$(RPATH)

TestProgram2: TestProgram2.cpp

\$(CXX) \$(APPFLAGS) -o \$@ TestProgram2.cpp \$(LDFLAGS) \$(RPATH)

clean:

rm -f \$(LIBS) TestProgram1 TestProgram2

Описание используемых флагов

В Makefile используются следующие флаги компиляции и линковки:

- **Компилятор и стандарты:**
 - CXX = g++: Используется компилятор g++ для C++.
 - -std=c++11: Устанавливает стандарт C++11 для компиляции, обеспечивая доступ к современным возможностям языка.
- **Предупреждения и оптимизации:**
 - -Wall -Wextra: Включают все стандартные предупреждения и дополнительные предупреждения для выявления потенциальных ошибок в коде.
 - -O2: Включает уровень оптимизации O2 для повышения производительности создаваемых бинарных файлов.
- **Создание динамических библиотек:**
 - -fPIC: Генерирует позиционно-независимый код, необходимый для создания динамических библиотек.
 - -shared: Указывает компилятору создать динамическую библиотеку.
- **Настройка пути поиска библиотек:**
 - RPATH = -Wl,-rpath,\$\$ORIGIN: Встраивает путь поиска библиотек непосредственно в исполняемый файл. \$ORIGIN указывает на директорию, содержащую исполняемый файл, что позволяет динамическому загрузчику находить библиотеки без необходимости установки LD_LIBRARY_PATH.
- **Линковка с системными библиотеками:**
 - -ldl: Линкует программу с библиотекой dl, необходимой для динамической загрузки библиотек во время исполнения (используется в TestProgram2).

Код программы

SinIntegral_Rect.cpp

```
#include <cmath>

#include <stdexcept>

extern "C" float SinIntegral(float A, float B, float e) {

    if (e <= 0.0f) {

        throw std::invalid_argument("Шаг интегрирования должен быть положительным");

    }

    float sum = 0.0f;

    for (float x = A; x < B; x += e) {

        sum += std::sin(x) * e;

    }

    return sum;

}
```

SinIntegral_Trapezoid.cpp

```
#include <cmath>

#include <stdexcept>

extern "C" float SinIntegral(float A, float B, float e) {

    if (e <= 0.0f) {

        throw std::invalid_argument("Шаг интегрирования должен быть положительным");

    }

    float sum = 0.0f;

    for (float x = A; x < B; x += e) {
```

```

float x_next = x + e;

if (x_next > B) x_next = B;

sum += (std::sin(x) + std::sin(x_next)) * (x_next - x) / 2.0f;

}

return sum;

}

```

Sort_Bubble.cpp

```

#include <algorithm>

#include <stdexcept>

extern "C" int* Sort(int* array, int size) {

    if (!array) {

        throw std::invalid_argument("Массив не может быть null");

    }

    if (size <= 0) {

        throw std::invalid_argument("Размер массива должен быть положительным");

    }

    for(int i = 0; i < size-1; ++i) {

        for(int j = 0; j < size-i-1; ++j) {

            if(array[j] > array[j+1]) {

                std::swap(array[j], array[j+1]);

            }

        }

    }

    return array;

}

```

Sort_Quick.cpp

```
#include <algorithm>

#include <stdexcept>

extern "C" int* Sort(int* array, int size) {
    if (!array) {
        throw std::invalid_argument("Массив не может быть null");
    }
    if (size <= 0) {
        throw std::invalid_argument("Размер массива должен быть положительным");
    }
    std::sort(array, array + size);
    return array;
}
```

TestProgram1.cpp

```
#include <iostream>

#include <stdexcept>

// Прототипы функций из динамической библиотеки
extern "C" float SinIntegral(float A, float B, float e);
extern "C" int* Sort(int* array, int size);

int main() {
    std::string command;
    while (true) {
```

```
std::cout << "Введите команду (0 - переключение не поддерживается, 1 -  
интеграл, 2 - сортировка): ";
```

```
if (!(std::cin >> command)) break;
```

```
try {
```

```
    if (command == "0") {
```

```
        std::cout << "Переключение реализации не поддерживается в программе  
№1.\n";
```

```
    }
```

```
    else if (command == "1") {
```

```
        float A, B, e;
```

```
        std::cout << "Введите A, B, e: ";
```

```
        std::cin >> A >> B >> e;
```

```
        float result = SinIntegral(A, B, e);
```

```
        std::cout << "Интеграл: " << result << "\n";
```

```
    }
```

```
    else if (command == "2") {
```

```
        int size;
```

```
        std::cout << "Введите размер массива: ";
```

```
        std::cin >> size;
```

```
        if (size <= 0) {
```

```
            std::cerr << "Размер массива должен быть положительным.\n";
```

```
            continue;
```

```
        }
```

```
        int* array = new int[size];
```

```
        std::cout << "Введите элементы массива: ";
```

```
        for(int i = 0; i < size; ++i) {
```

```
            std::cin >> array[i];
```

```
        }
```



```

    int* sorted = Sort(array, size);

    std::cout << "Отсортированный массив: ";

    for(int i = 0; i < size; ++i) {

        std::cout << sorted[i] << " ";

    }

    std::cout << "\n";

    delete[] array;

}

else {

    std::cout << "Неверная команда.\n";

}

} catch (const std::exception& ex) {

    std::cerr << "Ошибка: " << ex.what() << "\n";

}

}

return 0;

}

```

TestProgram2.cpp

```

#include <iostream>

#include <dlfcn.h>

#include <stdexcept>

typedef float (*SinIntegralFunc)(float, float, float);

typedef int* (*SortFunc)(int*, int);

int main() {

```

```

const char* libSinPaths[2] = { "./libSinIntegral_Rect.so",
"./libSinIntegral_Trapezoid.so" };

const char* libSortPaths[2] = { "./libSort_Bubble.so", "./libSort_Quick.so" };

int currentLibIndex = 0;


void* handleSin = dlopen(libSinPaths[currentLibIndex], RTLD_LAZY);
if (!handleSin) {
    std::cerr << "Не удалось загрузить библиотеку SinIntegral: " << dlerror() << "\n";
    return 1;
}


void* handleSort = dlopen(libSortPaths[currentLibIndex], RTLD_LAZY);
if (!handleSort) {
    std::cerr << "Не удалось загрузить библиотеку Sort: " << dlerror() << "\n";
    dlclose(handleSin);
    return 1;
}


// Получение адресов функций
SinIntegralFunc SinIntegral = (SinIntegralFunc)dlsym(handleSin, "SinIntegral");
SortFunc Sort = (SortFunc)dlsym(handleSort, "Sort");


if (!SinIntegral || !Sort) {
    std::cerr << "Не удалось найти функции в библиотеках.\n";
    dlclose(handleSin);
    dlclose(handleSort);
    return 1;
}

```

```
}
```

```
std::string command;
```

```
while (true) {
```

```
    std::cout << "Введите команду(0 - переключение, 1 - интеграл, 2 - сортировка): ";
```

```
    if (!(std::cin >> command)) break;
```

```
    try {
```

```
        if (command == "0") {
```

```
            // Переключение реализации библиотек
```

```
            dlclose(handleSin);
```

```
            dlclose(handleSort);
```

```
            currentLibIndex = 1 - currentLibIndex; // Переключение между 0 и 1
```

```
            handleSin = dlopen(libSinPaths[currentLibIndex], RTLD_LAZY);
```

```
            handleSort = dlopen(libSortPaths[currentLibIndex], RTLD_LAZY);
```

```
            if (!handleSin || !handleSort) {
```

```
                std::cerr << "Не удалось переключить библиотеки: " << dlerror() << "\n";
```

```
                return 1;
```

```
            }
```

```
            SinIntegral = (SinIntegralFunc)dlsym(handleSin, "SinIntegral");
```

```
            Sort = (SortFunc)dlsym(handleSort, "Sort");
```

```
            if (!SinIntegral || !Sort) {
```

```
                std::cerr << "Не удалось найти функции после переключения.\n";
```

```
                dlclose(handleSin);
```

```
                dlclose(handleSort);
```

```
                return 1;
```

```
            }
```

```
            std::cout << "Реализации переключены.\n";
```

```

}

else if (command == "1") {

    float A, B, e;

    std::cout << "Введите A, B, e: ";

    std::cin >> A >> B >> e;

    float result = SinIntegral(A, B, e);

    std::cout << "Интеграл: " << result << "\n";

}

else if (command == "2") {

    int size;

    std::cout << "Введите размер массива: ";

    std::cin >> size;

    if (size <= 0) {

        std::cerr << "Размер массива должен быть положительным.\n";

        continue;

    }

    int* array = new int[size];

    std::cout << "Введите элементы массива: ";

    for(int i = 0; i < size; ++i) {

        std::cin >> array[i];

    }

    int* sorted = Sort(array, size);

    std::cout << "Отсортированный массив: ";

    for(int i = 0; i < size; ++i) {

        std::cout << sorted[i] << " ";

    }

    std::cout << "\n";

```

```

        delete[] array;
    }

    else {

        std::cout << "Неверная команда.\n";

    }

} catch (const std::exception& ex) {

    std::cerr << "Ошибка: " << ex.what() << "\n";

}

}

dlclose(handleSin);

dlclose(handleSort);

return 0;

}

```

Протокол работы программы

Тестирование

root@e1b75742bd52:/workspaces/os_base/lab4/src# ./TestProgram2

Введите команду(0 - переключение, 1 - интеграл, 2 - сортировка): 0

Реализации переключены.

Введите команду(0 - переключение, 1 - интеграл, 2 - сортировка): 1

Введите A, B, e: 0 3.1416 0.001

Интеграл: 2

Введите команду(0 - переключение, 1 - интеграл, 2 - сортировка): 2

Введите размер массива: 4

Введите элементы массива: 4 3 2 1

Отсортированный массив: 1 2 3 4

Strace

Program 1:

```
1507 execve("./TestProgram1", ["./TestProgram1"], 0x7ffd16befdc8 /* 26 vars */) = 0
```

1507 brk(NULL) = 0x2c4f5000

1507 mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fe146add000

1507 readlink("/proc/self/exe", "/workspaces/os_base/lab4/src/Tes"..., 4096) = 41

1507 access("/etc/ld.so.preload", R_OK) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-
v4/libSinIntegral_Rect.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v4",
0x7fff9bc615b0, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-
v3/libSinIntegral_Rect.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v3",
0x7fff9bc615b0, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-
v2/libSinIntegral_Rect.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v2",
0x7fff9bc615b0, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD,
"/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/x86_64/libSinIntegral_Rect.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC)
= -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/x86_64",
0x7fff9bc615b0, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/libSinIntegral_Rect.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64", 0x7fff9bc615b0, 0) = -
1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/libSinIntegral_Rect.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64", 0x7fff9bc615b0, 0) = -
1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/libSinIntegral_Rect.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls", 0x7fff9bc615b0, 0) = -1
ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD,
"/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/x86_64/libSinIntegral_Rect.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -
1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/x86_64", 0x7fff9bc615b0,
0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/libSinIntegral_Rect.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64", 0x7ff9bc615b0, 0) = -1
ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/libSinIntegral_Rect.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64", 0x7ff9bc615b0, 0) = -1
ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libSinIntegral_Rect.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1507 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=16048, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1507 mmap(NULL, 16456, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fe146ad8000

1507 mmap(0x7fe146ad9000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7fe146ad9000

1507 mmap(0x7fe146ada000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7fe146ada000

1507 mmap(0x7fe146adb000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7fe146adb000

1507 close(3) = 0

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libSort_Bubble.so",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1507 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15984, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1507 mmap(NULL, 16448, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fe146ad3000

1507 mmap(0x7fe146ad4000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7fe146ad4000

1507 mmap(0x7fe146ad5000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7fe146ad5000

1507 mmap(0x7fe146ad6000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7fe146ad6000

1507 close(3) = 0

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libstdc++.so.6",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=25258, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1507 mmap(NULL, 25258, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7fe146acc000

1507 close(3) = 0

```

1507 openat(AT_FDCWD, "/usr/local/lib64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
1507 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=2530008, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
1507 mmap(NULL, 2543808, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fe14685e000
1507 mmap(0x7fe146903000, 1216512, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xa5000) = 0x7fe146903000
1507 mmap(0x7fe146a2c000, 581632, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1ce000) = 0x7fe146a2c000
1507 mmap(0x7fe146aba000, 57344, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x25c000) = 0x7fe146aba000
1507 mmap(0x7fe146ac8000, 12480, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fe146ac8000
1507 close(3) = 0
1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libm.so.6",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1507 openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libm.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
1507 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=907784, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
1507 mmap(NULL, 909560, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fe14677f000
1507 mmap(0x7fe14678f000, 471040, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x10000) = 0x7fe14678f000
1507 mmap(0x7fe146802000, 368640, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x83000) = 0x7fe146802000
1507 mmap(0x7fe14685c000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xdc000) = 0x7fe14685c000
1507 close(3) = 0
1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libgcc_s.so.1",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1507 openat(AT_FDCWD, "/usr/local/lib64/libgcc_s.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
1507 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=906528, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
1507 mmap(NULL, 181160, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fe146752000
1507 mmap(0x7fe146756000, 143360, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x4000) = 0x7fe146756000

```



```

1507 mmap(0x7fe146779000, 16384, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x27000) = 0x7fe146779000

1507 mmap(0x7fe14677d000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2b000) = 0x7fe14677d000

1507 close(3) = 0

1507 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libc.so.6",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1507 openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1507 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\20t\2\0\0\0\0"..., 832) = 832

1507 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

1507 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=1922136, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1507 mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fe146750000

1507 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

1507 mmap(NULL, 1970000, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7fe14656f000

1507 mmap(0x7fe146595000, 1396736, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x26000) = 0x7fe146595000

1507 mmap(0x7fe1466ea000, 339968, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x17b000) = 0x7fe1466ea000

1507 mmap(0x7fe14673d000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1ce000) = 0x7fe14673d000

1507 mmap(0x7fe146743000, 53072, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fe146743000

1507 close(3) = 0

1507 mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7fe14656c000

1507 arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x7fe14656c740) = 0

1507 set_tid_address(0x7fe14656ca10) = 1507

1507 set_robust_list(0x7fe14656ca20, 24) = 0

1507 rseq(0x7fe14656d060, 0x20, 0, 0x53053053) = 0

1507 mprotect(0x7fe14673d000, 16384, PROT_READ) = 0

1507 mprotect(0x7fe14677d000, 4096, PROT_READ) = 0

1507 mprotect(0x7fe14685c000, 4096, PROT_READ) = 0

1507 mprotect(0x7fe146aba000, 45056, PROT_READ) = 0

```

```

1507 mprotect(0x7fe146ad6000, 4096, PROT_READ) = 0
1507 mprotect(0x7fe146adb000, 4096, PROT_READ) = 0
1507 mprotect(0x403000, 4096, PROT_READ) = 0
1507 mprotect(0x7fe146b0f000, 8192, PROT_READ) = 0
1507 prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024,
rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0
1507 munmap(0x7fe146acc000, 25258) = 0
1507 futex(0x7fe146ac873c, FUTEX_WAKE_PRIVATE, 2147483647) = 0
1507 getrandom("\xd6\xa4\x40\xb7\xf0\xd4\xa", 8, GRND_NONBLOCK) = 8
1507 brk(NULL) = 0x2c4f5000
1507 brk(0x2c516000) = 0x2c516000
1507 newfstatat(1, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...},
AT_EMPTY_PATH) = 0
1507 write(1, "\320\222\320\262\320\265\320\264\320\270\321\202\320\265
\320\272\320\276\320\274\320\260\320\275\320\264\321\203 (0"... , 160) = 160
1507 newfstatat(0, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...},
AT_EMPTY_PATH) = 0
1507 read(0, 0x2c5076c0, 1024) = ? ERESTARTSYS (To be restarted if SA_RESTART is
set)
1507 --- SIGINT {si_signo=SIGINT, si_code=SI_KERNEL} ---
1507 +++ killed by SIGINT +++

```

Program 2:

```

1748 execve("./TestProgram2", ["./TestProgram2"], 0x7ffd248f8728 /* 26 vars */) = 0
1748 brk(NULL) = 0x2db1000
1748 mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7f30d5b8e000
1748 readlink("/proc/self/exe", "/workspaces/os_base/lab4/src/Tes"... , 4096) = 41
1748 access("/etc/ld.so.preload", R_OK) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-
v4/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v4",
0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-
v3/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v3",
0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

```

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/glibc-hwcaps/x86-64-v2", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/x86_64", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/x86_64", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/tls", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/x86_64", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/x86_64", 0x7fff4063340, 0) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 newfstatat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src", {st_mode=S_IFDIR|0777, st_size=4096, ...}, 0) = 0

1748 openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=25258, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 mmap(NULL, 25258, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7f30d5b87000

1748 close(3) = 0

```

1748 openat(AT_FDCWD, "/usr/local/lib64/libstdc++.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=2530008, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
1748 mmap(NULL, 2543808, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d5919000
1748 mmap(0x7f30d59be000, 1216512, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xa5000) = 0x7f30d59be000
1748 mmap(0x7f30d5ae7000, 581632, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1ce000) = 0x7f30d5ae7000
1748 mmap(0x7f30d5b75000, 57344, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x25c000) = 0x7f30d5b75000
1748 mmap(0x7f30d5b83000, 12480, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7f30d5b83000
1748 close(3) = 0
1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libm.so.6",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1748 openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libm.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=907784, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
1748 mmap(NULL, 909560, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d583a000
1748 mmap(0x7f30d584a000, 471040, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x10000) = 0x7f30d584a000
1748 mmap(0x7f30d58bd000, 368640, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x83000) = 0x7f30d58bd000
1748 mmap(0x7f30d5917000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xdc000) = 0x7f30d5917000
1748 close(3) = 0
1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libgcc_s.so.1",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
1748 openat(AT_FDCWD, "/usr/local/lib64/libgcc_s.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832
1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=906528, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
1748 mmap(NULL, 181160, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d580d000
1748 mmap(0x7f30d5811000, 143360, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x4000) = 0x7f30d5811000

```

1748 mmap(0x7f30d5834000, 16384, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x27000) = 0x7f30d5834000

1748 mmap(0x7f30d5838000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2b000) = 0x7f30d5838000

1748 close(3) = 0

1748 openat(AT_FDCWD, "/workspaces/os_base/lab4/src/libc.so.6",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

1748 openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\3\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\20t\2\0\0\0\0"..., 832) = 832

1748 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

1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=1922136, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 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

1748 mmap(NULL, 1970000, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d562c000

1748 mmap(0x7f30d5652000, 1396736, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x26000) = 0x7f30d5652000

1748 mmap(0x7f30d57a7000, 339968, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x17b000) = 0x7f30d57a7000

1748 mmap(0x7f30d57fa000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1ce000) = 0x7f30d57fa000

1748 mmap(0x7f30d5800000, 53072, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7f30d5800000

1748 close(3) = 0

1748 mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7f30d562a000

1748 mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7f30d5627000

1748 arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x7f30d5627740) = 0

1748 set_tid_address(0x7f30d5627a10) = 1748

1748 set_robust_list(0x7f30d5627a20, 24) = 0

1748 rseq(0x7f30d5628060, 0x20, 0, 0x53053053) = 0

1748 mprotect(0x7f30d57fa000, 16384, PROT_READ) = 0

1748 mprotect(0x7f30d5838000, 4096, PROT_READ) = 0

1748 mprotect(0x7f30d5917000, 4096, PROT_READ) = 0

1748 mprotect(0x7f30d5b75000, 45056, PROT_READ) = 0

```

1748 mprotect(0x403000, 4096, PROT_READ) = 0

1748 mprotect(0x7f30d5bc0000, 8192, PROT_READ) = 0

1748 prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024,
rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0

1748 munmap(0x7f30d5b87000, 25258) = 0

1748 futex(0x7f30d5b8373c, FUTEX_WAKE_PRIVATE, 2147483647) = 0

1748 getrandom("\xd6\x85\x2c\xdc\xbc\xd0\x11\x78", 8, GRND_NONBLOCK) = 8

1748 brk(NULL) = 0x2db1000

1748 brk(0x2dd2000) = 0x2dd2000

1748 openat(AT_FDCWD, "./libSinIntegral_Rect.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=16048, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 getcwd("/workspaces/os_base/lab4/src", 128) = 29

1748 mmap(NULL, 16456, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d5b89000

1748 mmap(0x7f30d5b8a000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7f30d5b8a000

1748 mmap(0x7f30d5b8b000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5b8b000

1748 mmap(0x7f30d5b8c000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5b8c000

1748 close(3) = 0

1748 mprotect(0x7f30d5b8c000, 4096, PROT_READ) = 0

1748 openat(AT_FDCWD, "./libSort_Bubble.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15984, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 getcwd("/workspaces/os_base/lab4/src", 128) = 29

1748 mmap(NULL, 16448, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d5622000

1748 mmap(0x7f30d5623000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7f30d5623000

1748 mmap(0x7f30d5624000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5624000

1748 mmap(0x7f30d5625000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5625000

1748 close(3) = 0

```

```

1748 mprotect(0x7f30d5625000, 4096, PROT_READ) = 0

1748 newfstatat(1, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...},
AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 write(1, "\320\222\320\262\320\265\320\264\320\270\321\202\320\265
\320\272\320\276\320\274\320\260\320\275\320\264\321\203(0 "..., 159) = 159

1748 newfstatat(0, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...},
AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 read(0, "0\n", 1024)          = 2

1748 munmap(0x7f30d5b89000, 16456)  = 0

1748 munmap(0x7f30d5622000, 16448)  = 0

1748 openat(AT_FDCWD, "./libSinIntegral_Trapezoid.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=16056, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 getcwd("/workspaces/os_base/lab4/src", 128) = 29

1748 mmap(NULL, 16456, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d5b89000

1748 mmap(0x7f30d5b8a000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7f30d5b8a000

1748 mmap(0x7f30d5b8b000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5b8b000

1748 mmap(0x7f30d5b8c000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5b8c000

1748 close(3)                      = 0

1748 mprotect(0x7f30d5b8c000, 4096, PROT_READ) = 0

1748 openat(AT_FDCWD, "./libSort_Quick.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

1748 read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0\0\0\0\0\0\0"..., 832) = 832

1748 newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=16344, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0

1748 getcwd("/workspaces/os_base/lab4/src", 128) = 29

1748 mmap(NULL, 16456, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) =
0x7f30d5622000

1748 mmap(0x7f30d5623000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7f30d5623000

1748 mmap(0x7f30d5624000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5624000

1748 mmap(0x7f30d5625000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7f30d5625000

1748 close(3)                      = 0

```

```
1748 mprotect(0x7f30d5625000, 4096, PROT_READ) = 0
```

```
1748 write(1,  
"\320\240\320\265\320\260\320\273\320\270\320\267\320\260\321\206\320\270\320\270  
\320\277\320\265\321\200\320\265\320\272\320"..., 45) = 45
```

```
1748 write(1, "\320\222\320\262\320\265\320\264\320\270\321\202\320\265  
\320\272\320\276\320\274\320\260\320\275\320\264\321\203(0 "..., 159) = 159
```

```
1748 read(0, 0x2dc56e0, 1024)      = ? ERESTARTSYS (To be restarted if SA_RESTART is  
set)
```

```
1748 --- SIGINT {si_signo=SIGINT, si_code=SI_KERNEL} ---
```

```
1748 +++ killed by SIGINT +++
```

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы были успешно созданы и использованы динамические библиотеки для реализации заданных функций. Разработанные тестовые программы демонстрируют два подхода к использованию динамических библиотек: статическую линковку во время компиляции и динамическую загрузку во время исполнения.

Использование RPATH в Makefile позволило упростить процесс поиска библиотек, избавив от необходимости ручной настройки переменной окружения LD_LIBRARY_PATH. Анализ с помощью strace подтвердил корректность загрузки библиотек в обоих подходах. Работа показала преимущества динамической загрузки, такие как гибкость и возможность изменения функциональности без пересборки программ, а также подчеркнула важность правильной настройки путей поиска библиотек для обеспечения их корректной загрузки.