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»

Выполнил: М. А. Бурмакин
Группа: М8О-207БВ-24
Преподаватель: Е. С. Миронов

Москва, 2025

Условие

Цель работы

Целью является приобретение практических навыков в:

1. Создание динамических библиотек
2. Создание программ, которые используют функции динамических библиотек

Задание

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: 1. Динамические библиотеки, реализующие контракты, которые заданы вариантом; 2. Тестовая программа (программа №1), которая используют одну из библиотек, используя информацию полученные на этапе компиляции; 3. Тестовая программа (программа №2), которая загружает библиотеки, используя только их относительные пути и контракты. Провести анализ двух типов использования библиотек.

Пользовательский ввод для обоих программ должен быть организован следующим образом: 1. Если пользователь вводит команду «0», то программа переключает одну реализацию контрактов на другую (необходимо только для программы №2). Можно реализовать лабораторную работу без данной функции, но максимальная оценка в этом случае будет «хорошо»; 2. «1 arg1 arg2 . . . argN», где после «1» идут аргументы для первой функции, предусмотренной контрактами. После ввода команды происходит вызов первой функции, и на экране появляется результат её выполнения; 3. «2 arg1 arg2 . . . argM», где после «2» идут аргументы для второй функции, предусмотренной контрактами. После ввода команды происходит вызов второй функции, и на экране появляется результат её выполнения.

Вариант 14

Первая функция: 1. Описание: Расчет интеграла функции sin(x) на отрезке [A, B] 2. Сигнатура: Float SinIntegral(float A, float B, float e) 3. Реализация 1 Подсчет интеграла методом прямоугольников. 4. Реализация 2 Подсчет интеграла методом трапеций.

Вторая функция: 1. Описание: Перевод числа x из десятичной системы счисления в другую 2. Сигнатура: Char* translation(long x) 3. Реализация 1 Другая система счисления двоичная 4. Реализация 2 Другая система счисления троичная

Метод решения

Общее описание алгоритма

Проект состоит из двух динамических библиотек (`libimpl1.so` и `libimpl2.so`) и двух программ (`program1` и `program2`), демонстрирующих различные способы линковки с библиотеками.

Программа `program1` выполняет следующие действия:

1. Статически линкуется с библиотекой `libimpl1.so` на этапе компиляции
2. В цикле читает команды от пользователя
3. Обрабатывает команды: вычисление интеграла и перевод числа в двоичную систему
4. Использует функции из библиотеки напрямую

Программа `program2` выполняет следующие действия:

1. Динамически загружает библиотеки во время выполнения через `dlopen()`
2. Получает указатели на функции через `dlsym()`
3. Позволяет переключаться между реализациями `impl1` и `impl2`
4. Выгружает библиотеку при завершении через `dlclose()`

Библиотека `impl1` содержит:

1. Функцию `SinIntegral()` для вычисления интеграла методом прямоугольников
2. Функцию `translation()` для перевода числа в двоичную систему счисления

Библиотека `impl2` содержит:

1. Функцию `SinIntegral()` для вычисления интеграла методом трапеций
2. Функцию `translation()` для перевода числа в троичную систему счисления

Архитектура программы

- Библиотека impl1 (libimpl1.so)
  - sin_integral.c: метод прямоугольников для вычисления интеграла
  - translation.c: перевод в двоичную систему
- Библиотека impl2 (libimpl2.so)
  - sin_integral.c: метод трапеций для вычисления интеграла
  - translation.c: перевод в троичную систему
- Программа program1
  - Статическая линковка с libimpl1.so
  - Прямой вызов функций из библиотеки
- Программа program2
  - Динамическая загрузка библиотек через dlopen()
  - Получение указателей на функции через dlsym()
  - Возможность переключения между реализациями

Описание программы

Проект состоит из двух динамических библиотек и двух программ, демонстрирующих статическую и динамическую линковку.

Библиотека `impl1` содержит функции для вычисления интеграла методом прямоугольников и перевода чисел в двоичную систему. Библиотека `impl2` содержит функции для вычисления интеграла методом трапеций и перевода чисел в троичную систему.

Программа `program1` статически линкуется с `libimpl1.so` на этапе компиляции и использует функции напрямую. Программа `program2` динамически загружает библиотеки во время выполнения и может переключаться между реализациями.

Используемые системные вызовы и функции

`dlopen(const char *filename, int flag)` Открывает динамическую библиотеку и возвращает handle для работы с ней. Флаг `RTLD_LAZY` означает ленивую загрузку символов.

`dlsym(void *handle, const char *symbol)` Получает адрес символа (функции) из загруженной библиотеки по его имени.

`dlclose(void *handle)` Закрывает динамическую библиотеку и освобождает связанные ресурсы.

`dlerror()` Возвращает строку с описанием последней ошибки, возникшей при работе с динамическими библиотеками, или NULL, если ошибок не было.

`sinf(float x)` Вычисляет синус числа типа float. Используется в функциях вычисления интеграла.

`malloc(size_t size)` Выделяет память для строки результата в функции `translation()`.

`free(void *ptr)` Освобождает память, выделенную через `malloc()`.

Обработка ошибок

Программа обрабатывает следующие ошибки:

- Ошибки загрузки библиотеки (`dlopen()` возвращает NULL)
- Ошибки получения символов (`dlsym()` возвращает NULL)
- Ошибки выделения памяти (`malloc()` возвращает NULL)
- Некорректные параметры функций (A >= B, e <= 0)
- Некорректный пользовательский ввод

Все ошибки обрабатываются через проверку возвращаемых значений функций и вывод сообщений об ошибках через `fprintf(stderr, ...)` и `dlerror()`.

Результаты

Сборка проекта: `cmake ..`, `make`

Тест 1: Программа program1, команда "1 0 3.14159 0.01". Результат: интеграл $\sin(x)$ от 0 до $\pi \approx 2.0$. Работает корректно.

Тест 2: Программа program1, команда "2 5". Результат: "101"(двоичное представление). Работает корректно.

Тест 3: Программа program2, команда "0". Переключение между impl1 и impl2 работает корректно.

Тест 4: Программа program2, команда "2 5"с impl1. Результат: "101"(двоичная система). Работает корректно.

Тест 5: Программа program2, команда "2 5"с impl2. Результат: "12"(троичная система). Работает корректно.

Тест 6: Валидация параметров. Команда "1 5 3 0.01"возвращает ошибку "A must be less than B". Работает корректно.

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены и реализованы механизмы работы с динамическими библиотеками в операционной системе Linux:

1. **Статическая линковка**: Освоена статическая линковка программы с динамической библиотекой на этапе компиляции. Программа `program1` демонстрирует прямой вызов функций из библиотеки `libimpl1.so`.

2. **Динамическая загрузка**: Реализована динамическая загрузка библиотек во время выполнения с использованием системных вызовов `dlopen()`, `dlsym()` и `dlclose()`. Программа `program2` демонстрирует возможность переключения между различными реализациями функций.

3. **Создание динамических библиотек**: Изучен процесс создания динамических библиотек (shared libraries) с использованием CMake и компилятора GCC. Библиотеки `libimpl1.so` и `libimpl2.so` содержат различные реализации одних и тех же функций.

4. **Обработка ошибок**: Реализована корректная обработка ошибок при загрузке библиотек и получении символов через проверку возвращаемых значений и использование `dlerror()`.

5. **Вычисление интегралов**: Реализованы два метода численного интегрирования: метод прямоугольников (impl1) и метод трапеций (impl2) для вычисления интеграла функции sin(x).

6. **Системы счисления**: Реализованы функции перевода чисел в двоичную (impl1) и троичную (impl2) системы счисления с обработкой нуля и отрицательных чисел.

Программа успешно выполняет все поставленные задачи и демонстрирует корректную работу механизмов статической и динамической линковки с библиотеками. Реализованная система позволяет эффективно организовать модульную архитектуру программы с возможностью переключения между различными реализациями функций во время выполнения.

Исходная программа

Заголовочный файл functions.h

```h
#ifndef FUNCTIONS_H
#define FUNCTIONS_H

#include <stdlib.h>

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

float SinIntegral(float A, float B, float e);
char* translation(long x);

#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif // FUNCTIONS_H
```

Реализация impl1: sin_integral.c

```c
#include <math.h>
#include "../../include/functions.h"

float SinIntegral(float A, float B, float e) {
    if (A >= B) {
        return 0.0f;
    }

    if (e <= 0.0f) {
        return 0.0f;
    }

    float integral = 0.0f;
    float x = A;

    while (x < B) {
        float step = (x + e < B) ? e : (B - x);
        integral += sinf(x) * step;
        x += step;
    }

    return integral;
}
```

Реализация impl1: translation.c

```c
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "../../include/functions.h"

```

```c
char* translation(long x) {
    if (x == 0) {
        char* result = (char*)malloc(2);
        if (result == NULL) {
            return NULL;
        }
        result[0] = '0';
        result[1] = '\0';
        return result;
    }

    int negative = (x < 0);
    if (negative) {
        x = -x;
    }

    int bits = 0;
    long temp = x;
    while (temp > 0) {
        bits++;
        temp >>= 1;
    }

    char* result = (char*)malloc(bits + (negative ? 2 : 1));
    if (result == NULL) {
        return NULL;
    }

    int i = bits + (negative ? 1 : 0);
    result[i] = '\0';

    if (negative) {
        result[0] = '-';
    }

    temp = x;
    i = bits + (negative ? 1 : 0) - 1;
    while (temp > 0) {
        result[i--] = (temp % 2) + '0';
        temp /= 2;
    }

    return result;
}
```

Программа program1: main.c

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "../../include/functions.h"

void print_help() {
    printf("Commands: 0, 1 A B e, 2 x, exit\n");
}

```

```c
int main(int argc, char* argv[]) {
    print_help();

    char line[256];

    while (1) {
        printf("> ");
        if (fgets(line, sizeof(line), stdin) == NULL) {
            break;
        }

        size_t len = strlen(line);
        if (len > 0 && line[len - 1] == '\n') {
            line[len - 1] = '\0';
        }

        if (strlen(line) == 0) {
            continue;
        }

        if (strcmp(line, "exit") == 0 || strcmp(line, "quit") == 0) {
            break;
        }

        char command[2];
        if (sscanf(line, "%1s", command) != 1) {
            continue;
        }

        if (strcmp(command, "0") == 0) {
            printf("Switching not supported in program1\n");
        } else if (strcmp(command, "1") == 0) {
            float A, B, e;
            int parsed = sscanf(line, "%*s %f %f %f", &A, &B, &e);
            if (parsed != 3) {
                printf("Error: invalid arguments\n");
                continue;
            }

            if (A >= B) {
                printf("Error: A must be less than B\n");
                continue;
            }

            if (e <= 0) {
                printf("Error: step must be positive\n");
                continue;
            }

            float result = SinIntegral(A, B, e);
            printf("%f\n", result);
        } else if (strcmp(command, "2") == 0) {
            long x;
            int parsed = sscanf(line, "%*s %ld", &x);
            if (parsed != 1) {
                printf("Error: invalid argument\n");
                continue;
            }
```

```
68
69              char* result = translation(x);
70              if (result != NULL) {
71                  printf("%s\n", result);
72                  free(result);
73              } else {
74                  printf("Error: memory allocation failed\n");
75              }
76          }
77      }
78
79      return 0;
80  }
```

Программа program2: main.c (фрагмент)

```
1   #include <stdio.h>
2   #include <stdlib.h>
3   #include <string.h>
4   #include <dlfcn.h>
5   #include "../../include/functions.h"
6
7   typedef struct {
8       void* handle;
9       float (*SinIntegral)(float A, float B, float e);
10      char* (*translation)(long x);
11      int impl_number;
12  } LibraryFunctions;
13
14  static LibraryFunctions lib = {NULL, NULL, NULL, 1};
15
16  int load_library(const char* path) {
17      if (lib.handle != NULL) {
18          dlclose(lib.handle);
19          lib.handle = NULL;
20          lib.SinIntegral = NULL;
21          lib.translation = NULL;
22      }
23
24      dlerror();
25
26      lib.handle = dlopen(path, RTLD_LAZY);
27      if (lib.handle == NULL) {
28          const char* error = dlerror();
29          if (error != NULL) {
30              fprintf(stderr, "Error loading library: %s\n", error);
31          }
32          return 0;
33      }
34
35      dlerror();
36
37      lib.SinIntegral = (float (*)(float, float, float))dlsym(lib.handle, "SinIntegral")
        ;
38      const char* dlsym_error = dlerror();
39      if (dlsym_error != NULL) {
```

```
        fprintf(stderr, "Error loading SinIntegral: %s\n", dlsym_error);
        dlclose(lib.handle);
        lib.handle = NULL;
        return 0;
    }

    lib.translation = (char* (*)(long))dlsym(lib.handle, "translation");
    dlsym_error = dlerror();
    if (dlsym_error != NULL) {
        fprintf(stderr, "Error loading translation: %s\n", dlsym_error);
        dlclose(lib.handle);
        lib.handle = NULL;
        lib.SinIntegral = NULL;
        return 0;
    }

    if (lib.SinIntegral == NULL || lib.translation == NULL) {
        fprintf(stderr, "Error: symbols are NULL\n");
        dlclose(lib.handle);
        lib.handle = NULL;
        return 0;
    }

    return 1;
}

void switch_implementation() {
    if (lib.impl_number == 1) {
        if (load_library("libimpl2.so")) {
            lib.impl_number = 2;
            printf("Switched to implementation 2\n");
        }
    } else {
        if (load_library("libimpl1.so")) {
            lib.impl_number = 1;
            printf("Switched to implementation 1\n");
        }
    }
}
```

Strace

```
execve("./program1", ["./program1"], 0x7ffea2a2a2c0 /* 27 vars */) = 0
brk(NULL)                               = 0x618610cf1000
arch_prctl(0x3001 /* ARCH_??? */, 0x7ffc9778b630) = -1 EINVAL (Invalid argument)
mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7d2d2b52d000
access("/etc/ld.so.preload", R_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v3/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v3", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOE
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v2", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOE
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/x86_64/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/x86_64", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (N
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOEN
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (No such
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOEN
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (No such
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No s
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (No such file or
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/x86_64/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 EN
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/x86_64", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (No su
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (N
```

```
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/libimpl1.so.1", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (N
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64", 0x7ffc9778a850, 0) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/libimpl1.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\0\0"..., 832) = 832
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15632, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
mmap(NULL, 16440, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x7d2d2b528000
mmap(0x7d2d2b529000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7d2d2b529000
mmap(0x7d2d2b52a000, 4096, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7d2d2b52a000
mmap(0x7d2d2b52b000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7d2d2b52b000
close(3)                                = 0
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "glibc-hwcaps/x86-64-v3/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "glibc-hwcaps/x86-64-v2/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=17920, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
mmap(NULL, 17920, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7d2d2b523000
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\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\0O{\f\225\\=\201\327\312\301P\32$\230\266\235"..., 68, 896) = 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) = 0x7d2d2b200000
mprotect(0x7d2d2b228000, 2023424, PROT_NONE) = 0
mmap(0x7d2d2b228000, 1658880, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x28000) = 0x7d2d2b228000
mmap(0x7d2d2b3bd000, 360448, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1bd000) = 0x7d2d2b3bd000
mmap(0x7d2d2b416000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x215000) = 0x7d2d2b416000
mmap(0x7d2d2b41c000, 52816, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7d2d2b41c000
close(3)                                = 0
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\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) = 0x7d2d2b43c000
mmap(0x7d2d2b44a000, 507904, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xe000) = 0x7d2d2b44a000
mmap(0x7d2d2b4c6000, 372736, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x8a000) = 0x7d2d2b4c6000
mmap(0x7d2d2b521000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xe4000) = 0x7d2d2b521000
close(3)                                = 0
mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7d2d2b439000
arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x7d2d2b439740) = 0
set_tid_address(0x7d2d2b439a10)         = 12665
set_robust_list(0x7d2d2b439a20, 24)     = 0
rseq(0x7d2d2b43a0e0, 0x20, 0, 0x53053053) = 0
mprotect(0x7d2d2b416000, 16384, PROT_READ) = 0
mprotect(0x7d2d2b521000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x7d2d2b52b000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x6185de8b9000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x7d2d2b567000, 8192, PROT_READ) = 0
prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024, rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0
munmap(0x7d2d2b523000, 17920)           = 0
newfstatat(1, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
getrandom("\xe0\x6e\x14\x41\x75\x64\x11\x7d", 8, GRND_NONBLOCK) = 8
brk(NULL)                               = 0x618610cf1000
brk(0x618610d12000)                     = 0x618610d12000
write(1, "=== Program 1 - Static Linking ="..., 35) = 35
write(1, "Commands:\n", 10)             = 10
write(1, "  0 - Show switching message\n", 29) = 29
write(1, "  1 A B e - Calculate integral o"..., 65) = 65
write(1, "  2 x - Convert number x to bina"..., 35) = 35
write(1, "  exit/quit - Exit program\n", 27) = 27
write(1, "================================"..., 36) = 36
newfstatat(0, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
write(1, "> ", 2)                       = 2
```

```
read(0, "1 0 3.14159 0.001\n", 1024)    = 18
write(1, "Integral result: 2.000002\n", 26) = 26
write(1, "> ", 2)                       = 2
read(0, "2 42\n", 1024)                 = 5
write(1, "101010\n", 7)                 = 7
write(1, "> ", 2)                       = 2
read(0, "quit\n", 1024)                 = 5
write(1, "Exiting...\n", 11)            = 11
exit_group(0)                           = ?
+++ exited with 0 +++

execve("./program2", ["./program2"], 0x7ffd3c38f510 /* 27 vars */) = 0
brk(NULL)                               = 0x5a84fc150000
arch_prctl(0x3001 /* ARCH_??? */, 0x7ffc77f2ca30) = -1 EINVAL (Invalid argument)
mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x78254845a000
access("/etc/ld.so.preload", R_OK)      = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v3/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) =
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v3", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOE
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) =
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/glibc-hwcaps/x86-64-v2", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOE
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 EN
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (N
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (N
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (N
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/tls", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such file or
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No su
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No su
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No su
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl1", {st_mode=S_IFDIR|0755, st_size=4096, ...}, 0) = 0
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/glibc-hwcaps/x86-64-v3/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) =
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/glibc-hwcaps/x86-64-v3", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOE
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/glibc-hwcaps/x86-64-v2/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) =
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/glibc-hwcaps/x86-64-v2", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOE
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 EN
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/x86_64/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (N
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (N
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (N
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/tls", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such file or
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/x86_64/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No su
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No su
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No su
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/x86_64", 0x7ffc77f2bc50, 0) = -1 ENOENT (No such file
openat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file
newfstatat(AT_FDCWD, "/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/impl2", {st_mode=S_IFDIR|0755, st_size=4096, ...}, 0) = 0
openat(AT_FDCWD, "glibc-hwcaps/x86-64-v3/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "glibc-hwcaps/x86-64-v2/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "tls/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "x86_64/x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "x86_64/libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "libc.so.6", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)
openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=17920, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
mmap(NULL, 17920, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x782548455000
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\0P\237\2\0\0\0\0\0@\0\0\0\0\0\0\0\360\320!\0\0\0\0\0\0\0\0@\08\0\16\
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\20\3\0\0\0\0\0\0\20\3\0\0\0\0\0\0\10\0\0\0\0\0\0\0
```

```
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\2\200\0\300\4\0\0\0\1\0\0\0\0\0\0", 48, 848) =
pread64(3, "\4\0\0\0\24\0\0\0\3\0\0\0GNU\0O{\f\225\\=\201\327\312\301P\32$\230\266\235\35\202\277\347\4\0\0\0\20\0\0\0\1\0\0
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\20\3\0\0\0\0\0\0\20\3\0\0\0\0\0\0\10\0\0\0\0\0\0\0
mmap(NULL, 2264656, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x782548200000
mprotect(0x782548228000, 2023424, PROT_NONE) = 0
mmap(0x782548228000, 1658880, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x28000) = 0x782548228000
mmap(0x7825483bd000, 360448, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1bd000) = 0x7825483bd000
mmap(0x782548416000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x215000) = 0x782548416000
mmap(0x78254841c000, 52816, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x78254841c000
close(3)                                = 0
mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x782548452000
arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x782548452740) = 0
set_tid_address(0x782548452a10)         = 16099
set_robust_list(0x782548452a20, 24)     = 0
rseq(0x7825484530e0, 0x20, 0, 0x53053053) = 0
mprotect(0x782548416000, 16384, PROT_READ) = 0
mprotect(0x5a84cd198000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x782548494000, 8192, PROT_READ) = 0
prlimit64(0, RLIMIT_STACK, NULL, {rlim_cur=8192*1024, rlim_max=RLIM64_INFINITY}) = 0
munmap(0x782548455000, 17920)           = 0
newfstatat(1, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
getrandom("\xc2\xfa\x56\x48\xa9\xe2\x45\x99", 8, GRND_NONBLOCK) = 8
brk(NULL)                               = 0x5a84fc150000
brk(0x5a84fc171000)                     = 0x5a84fc171000
write(1, "Commands: 0, 1 A B e, 2 x, exit\n", 32) = 32
openat(AT_FDCWD, "../impl1/libimpl1.so", 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\0\0@\0\0\0\0\0\0\0\3205\0\0\0\0\0\0\0\0\0\0@\08\0\v\0@\0
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15632, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
getcwd("/home/woland/os_labs/os_lab4/lab/build/src/program2", 128) = 52
mmap(NULL, 16440, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0) = 0x782548455000
mmap(0x782548456000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x782548456000
mmap(0x782548457000, 4096, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x782548457000
mmap(0x782548458000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x782548458000
close(3)                                = 0
openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
newfstatat(3, "", {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=17920, ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
mmap(NULL, 17920, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x78254844d000
close(3)                                = 0
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\0@\0\0\0\0\0\0\0\0PR\16\0\0\0\0\0\0\0\0@\08\0\v\0@\0\3
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) = 0x782548119000
mmap(0x782548127000, 507904, PROT_READ|PROT_EXEC, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xe000) = 0x782548127000
mmap(0x7825481a3000, 372736, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x8a000) = 0x7825481a3000
mmap(0x7825481fe000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xe4000) = 0x7825481fe000
close(3)                                = 0
mprotect(0x7825481fe000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x782548458000, 4096, PROT_READ) = 0
munmap(0x78254844d000, 17920)           = 0
newfstatat(0, "", {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0), ...}, AT_EMPTY_PATH) = 0
write(1, "> ", 2)                       = 2
read(0, "1 0 3.14159 0.001\n", 1024)    = 18
write(1, "2.000002\n", 9)               = 9
write(1, "> ", 2)                       = 2
read(0, "2 42\n", 1024)                 = 5
write(1, "101010\n", 7)                 = 7
write(1, "> ", 2)                       = 2
read(0, "quit\n", 1024)                 = 5
munmap(0x782548455000, 16440)           = 0
munmap(0x782548119000, 942344)          = 0
exit_group(0)                           = ?
+++ exited with 0 +++
```