

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-209БВ-24

Студент: Корепанов Иван Алексеевич

Преподаватель: Миронов Е.С.

Оценка: _____

Дата: 12.12.25

Москва, 2025

Постановка задачи

Вариант 27.

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.

№	Описание	Сигнатура	Реализация 1	Реализация 2
1	Расчет значения числа Пи при заданной длине ряда (K)	float Pi(int K)	Ряд Лейбница	Формула Валлиса
2	Расчет значения числа e(основание натурального логарифма)	Float E(int x)	$(1 + 1/x)^x$	Сумма ряда по n от 0 до x, где элементы ряда равны: $(1/(n!))$

Общий метод и алгоритм решения

Использованные системные вызовы

- `void* dlopen(const char* filename, int flag);` - загружает динамическую библиотеку в память
- `int dlclose(void* handle);` - выгружает динамическую библиотеку из памяти
- `void* dlsym(void* handle, const char* symbol);` - получает адрес символа из библиотеки
- `char* dlerror(void);` - возвращает строку с описанием последней ошибки

Алгоритм работы:

Программа представляет собой интерактивное консольное приложение, которое позволяет пользователю выполнять две математические операции:

1. вычисление приближённого значения числа π при заданной длине ряда (K);
2. вычисление приближённого значения числа e при заданном параметре (x).

В динамическом режиме программа также поддерживает переключение между двумя различными реализациями этих функций, выполненными в отдельных динамических библиотеках.

Программа работает в бесконечном цикле, пока пользователь не введёт команду для выхода. Ниже приведено пошаговое описание работы.

- **static** — функции P_i и E подключены на этапе линковки;
- **dynamic** — функции загружаются из библиотек при помощи `dlopen()` и `dlsym()`.

При динамической загрузке определяется активная библиотека, и получают указатели на функции P_i и E .

Код программы

mathlib.h

```
#ifndef MATHLIB_H
#define MATHLIB_H
float Pi(int K);
float E(int x);
#endif
```

lib1.c

```
#include <math.h>
```

```
#include "mathlib.h"
```

```
float Pi(int K) {  
    float pi = 0.0f;  
    for(int n = 0; n < K; n++)  
        pi += powf(-1, n) / (2*n + 1);  
    return pi * 4;  
}
```

```
float E(int x) {  
    return powf(1.0f + 1.0f/x, x);  
}
```

lib2.c

```
#include "mathlib.h"
```

```
float Pi(int K) {  
    float pi = 1.0f;  
    for(int n = 1; n <= K; n++)  
        pi *= (4.0f*n*n) / (4.0f*n*n - 1);  
    return pi * 2;  
}
```

```
float E(int x) {  
    float e = 1.0f;  
    float fact = 1.0f;  
    for(int n = 1; n <= x; n++) {  
        fact *= n;  
        e += 1.0f / fact;  
    }  
    return e;  
}
```

```
}
```

dynamic.c

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <dlfcn.h>
```

```
#include "mathlib.h"
```

```
int main() {
```

```
    char *libs[] = {"/lib1.so", "/lib2.so"};
```

```
    int cur = 0;
```

```
    void *handle = dlopen(libs[cur], RTLD_LAZY);
```

```
    float (*PiFunc)(int) = dlsym(handle, "Pi");
```

```
    float (*EFunc)(int) = dlsym(handle, "E");
```

```
    int cmd, arg;
```

```
    while (scanf("%d", &cmd) != EOF) {
```

```
        if (cmd == 0) {
```

```
            dlclose(handle);
```

```
            cur = 1 - cur;
```

```
            handle = dlopen(libs[cur], RTLD_LAZY);
```

```
            PiFunc = dlsym(handle, "Pi");
```

```
            EFunc = dlsym(handle, "E");
```

```
            printf("свапнута\n");
```

```
        }
```

```
        else if (cmd == 1) {
```

```
            scanf("%d", &arg);
```

```
            printf("Pi = %f\n", PiFunc(arg));
```

```
        }
```

```
        else if (cmd == 2) {
```

```
            scanf("%d", &arg);
```

```

        printf("E = %f\n", EFunc(arg));

    }

}

dlclose(handle);

return 0;

}

```

static.c

```

#include <stdio.h>

#include "mathlib.h"

int main() {

    int cmd, arg;

    while (scanf("%d", &cmd) != EOF) {

        if (cmd == 1) {

            scanf("%d", &arg);

            printf("Pi = %f\n", Pi(arg));

        }

        else if (cmd == 2) {

            scanf("%d", &arg);

            printf("E = %f\n", E(arg));

        }

    }

    return 0;

}

```

Протокол работы программы

Тестирование:

vscode → /workspaces/OS_LABS/lab4/src (main) \$./static

1 100

Pi = 3.131593

2 100

E = 2.704811

vscode → /workspaces/OS_LABS/lab4/src (main) \$./dynamic

1 100

Pi = 3.131593

2 100

E = 2.704811

0

свапнута

1 100

Pi = 3.133788

2 100

E = 2.718282

Strace:

Static.c

vscode → /workspaces/OS_LABS/lab4/src (main) \$ strace -f ./static

execve("./static", ["./static"], 0x7ffe58c101c8 /* 33 vars */) = 0

brk(NULL) = 0x6096b9ea2000

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

openat(AT_FDCWD, "/tls/x86_64/x86_64/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "/tls/x86_64/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "/tls/x86_64/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "/tls/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "/x86_64/x86_64/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1 ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "./x86_64/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1
ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "./x86_64/lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = -1
ENOENT (No such file or directory)

openat(AT_FDCWD, "./lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

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

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15992, ...}) = 0

mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7e066cb55000

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

**mmap(NULL, 16432, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE,
3, 0) = 0x7e066cb50000**

**mmap(0x7e066cb51000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x7e066cb51000**

**mmap(0x7e066cb52000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7e066cb52000**

**mmap(0x7e066cb53000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x7e066cb53000**

close(3) = 0

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

    fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=21784, ...}) = 0

    mmap(NULL, 21784, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x7e066cb4a000

    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\3\0>\0\1\0\0\0\260>\2\0\0\0\0"..., 832)
= 832

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

    mmap(NULL, 1914496, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3,
0) = 0x7e066c976000

    mmap(0x7e066c998000, 1413120, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x22000) = 0x7e066c998000

    mmap(0x7e066caf1000, 323584, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x17b000) = 0x7e066caf1000

    mmap(0x7e066cb40000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1c9000) = 0x7e066cb40000

    mmap(0x7e066cb46000, 13952, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7e066cb46000

    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\3\0>\0\1\0\0\0\0\322\0\0\0\0\0"..., 832)
= 832

    fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=1321344, ...}) = 0

    mmap(NULL, 1323280, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3,
0) = 0x7e066c832000

    mmap(0x7e066c83f000, 630784, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xd000) = 0x7e066c83f000

    mmap(0x7e066c8d9000, 634880, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xa7000) = 0x7e066c8d9000

```

```

mmap(0x7e066c974000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x141000) = 0x7e066c974000
close(3) = 0
mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x7e066c82f000
arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x7e066c82f740) = 0
mprotect(0x7e066cb40000, 16384, PROT_READ) = 0
mprotect(0x7e066c974000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x7e066cb53000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x6096a45f7000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x7e066cb81000, 4096, PROT_READ) = 0
munmap(0x7e066cb4a000, 21784) = 0
fstat(0, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0x1), ...}) = 0
brk(NULL) = 0x6096b9ea2000
brk(0x6096b9ec3000) = 0x6096b9ec3000
read(0, 1 100
"1 100\n", 1024) = 6
fstat(1, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0x1), ...}) = 0
write(1, "Pi = 3.131593\n", 14Pi = 3.131593
) = 14
read(0, 2 100
"2 100\n", 1024) = 6
write(1, "E = 2.704811\n", 13E = 2.704811
) = 13
read(0, -1
"-1\n", 1024) = 3
write(1, "Exit\n", 5Exit
) = 5
lseek(0, -1, SEEK_CUR) = -1 ESPIPE (Illegal seek)
exit_group(0) = ?
+++ exited with 0 +++

```

Dynamic.c

vscode → /workspaces/OS_LABS/lab4/src (main) \$ strace -f ./dynamic

execve("./dynamic", ["/dynamic"], 0x7ffc04713d18 /* 33 vars */) = 0

brk(NULL) = 0x5766ac0d0000

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

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

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=21784, ...}) = 0

mmap(NULL, 21784, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x79ea0d520000

close(3) = 0

openat(AT_FDCWD, "/lib/x86_64-linux-gnu/libdl.so.2",
O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0000\21\0\0\0\0\0"..., 832)
= 832

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=18688, ...}) = 0

mmap(NULL, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x79ea0d51e000

mmap(NULL, 20752, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3, 0)
= 0x79ea0d518000

mmap(0x79ea0d519000, 8192, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x79ea0d519000

mmap(0x79ea0d51b000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x3000) = 0x79ea0d51b000

mmap(0x79ea0d51c000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x3000) = 0x79ea0d51c000

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\3\0>\0\1\0\0\0260>\2\0\0\0\0"..., 832) =
832

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

mmap(NULL, 1914496, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3,
0) = 0x79ea0d344000

```

mmap(0x79ea0d366000, 1413120, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x22000) = 0x79ea0d366000
mmap(0x79ea0d4bf000, 323584, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x17b000) = 0x79ea0d4bf000
mmap(0x79ea0d50e000, 24576, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1c9000) = 0x79ea0d50e000
mmap(0x79ea0d514000, 13952, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x79ea0d514000
close(3) = 0
mmap(NULL, 12288, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS, -1, 0) = 0x79ea0d341000
arch_prctl(ARCH_SET_FS, 0x79ea0d341740) = 0
mprotect(0x79ea0d50e000, 16384, PROT_READ) = 0
mprotect(0x79ea0d51c000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x576693e61000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x79ea0d550000, 4096, PROT_READ) = 0
munmap(0x79ea0d520000, 21784) = 0
brk(NULL) = 0x5766ac0d0000
brk(0x5766ac0f1000) = 0x5766ac0f1000
openat(AT_FDCWD, "./lib1.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
read(3, "\177ELF\2\1\1\0\0\0\0\0\0\0\0\3\0>\0\1\0\0\0P\20\0\0\0\0\0"..., 832)
= 832
fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15992, ...}) = 0
getcwd("/workspaces/OS_LABS/lab4/src", 128) = 29
mmap(NULL, 16432, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE,
3, 0) = 0x79ea0d521000
mmap(0x79ea0d522000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x79ea0d522000
mmap(0x79ea0d523000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x79ea0d523000
mmap(0x79ea0d524000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x79ea0d524000
close(3) = 0

```

```

openat(AT_FDCWD, "/etc/ld.so.cache", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3
fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=21784, ...}) = 0
mmap(NULL, 21784, PROT_READ, MAP_PRIVATE, 3, 0) = 0x79ea0d33b000
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\3\0>\0\1\0\0\0\0\322\0\0\0\0\0"..., 832)
= 832
fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0644, st_size=1321344, ...}) = 0
mmap(NULL, 1323280, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE, 3,
0) = 0x79ea0d1f7000
mmap(0x79ea0d204000, 630784, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xd000) = 0x79ea0d204000
mmap(0x79ea0d29e000, 634880, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0xa7000) = 0x79ea0d29e000
mmap(0x79ea0d339000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x141000) = 0x79ea0d339000
close(3) = 0
mprotect(0x79ea0d339000, 4096, PROT_READ) = 0
mprotect(0x79ea0d524000, 4096, PROT_READ) = 0
munmap(0x79ea0d33b000, 21784) = 0
fstat(0, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0x1), ...}) = 0
read(0, 1 100
"1 100\n", 1024) = 6
fstat(1, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0x1), ...}) = 0
write(1, "Pi = 3.131593\n", 14Pi = 3.131593
) = 14
read(0, 0
"0\n", 1024) = 2
munmap(0x79ea0d521000, 16432) = 0
munmap(0x79ea0d1f7000, 1323280) = 0
openat(AT_FDCWD, "./lib2.so", O_RDONLY|O_CLOEXEC) = 3

```

```

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

fstat(3, {st_mode=S_IFREG|0755, st_size=15640, ...}) = 0

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

mmap(NULL, 16424, PROT_READ, MAP_PRIVATE|MAP_DENYWRITE,
3, 0) = 0x79ea0d521000

mmap(0x79ea0d522000, 4096, PROT_READ|PROT_EXEC,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x1000) = 0x79ea0d522000

mmap(0x79ea0d523000, 4096, PROT_READ,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x79ea0d523000

mmap(0x79ea0d524000, 8192, PROT_READ|PROT_WRITE,
MAP_PRIVATE|MAP_FIXED|MAP_DENYWRITE, 3, 0x2000) = 0x79ea0d524000

close(3) = 0

mprotect(0x79ea0d524000, 4096, PROT_READ) = 0

write(1, "Library swapped\n", 16Library swapped
) = 16

read(0, 1 100
"1 100\n", 1024) = 6

write(1, "Pi = 3.133788\n", 14Pi = 3.133788
) = 14

read(0, -1
"-1\n", 1024) = 3

write(1, "Exit\n", 5Exit
) = 5

munmap(0x79ea0d521000, 16424) = 0

lseek(0, -1, SEEK_CUR) = -1 ESPIPE (Illegal seek)

exit_group(0) = ?

+++ exited with 0 +++

```

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы была реализована программа с поддержкой статической и динамической загрузки функций через разделяемые библиотеки. Были созданы две библиотечные реализации и организовано

переключение между ними в процессе выполнения программы. Данные программы демонстрируют различия между статистической и динамической линковкой.