

Файловые системы

АКОС, МФТИ

26 сентября, 2024



Всё есть файл...

Всё есть файл...

...овый дескриптор

Встроенные

```
= STDIN_FILENO  
= STDOUT_FILENO  
= STDERR_FILENO
```

- **Потоки консоли:** ввод, вывод, ошибки;
- Почти всегда равны `0`, `1` и `2`
- Но лучше использовать константы;
- Их даже можно закрыть (но зачем?).

Пользовательские

```
= open(...)  
= socket(...)  
= accept(...)  
= epoll(...)  
= socketpair(...)*  
= signalfd(...), ...
```

- Файлы, сеть, мультиплексеры,...;
- Всё, что работает как поток данных.

Почему не `fork(...)` ?

Почему не `fopen(...)` ?

`fopen(...)` возвращает `FILE*`, а не дескриптор

Папки – тоже файлы?

```
1  int main() {
2      int fd = open("/", O_RDONLY, 0);
3      struct dirent ent = {};
4      while(getdents64(fd, &ent, sizeof(ent)) > 0) {
5          printf("%s\n", ent.d_name);
6          lseek(fd, ent.d_off, SEEK_SET);
7      }
8  }
```

Папки – тоже файлы?

```
1  int main() {  
2      int fd = open("/", O_RDONLY, 0);  
3      struct dirent ent = {};  
4      while(getdents64(fd, &ent, sizeof(ent)) > 0) {  
5          printf("%s\n", ent.d_name);  
6          lseek(fd, ent.d_off, SEEK_SET);  
7      }  
8  }
```

Да, это тоже файловые дескрипторы. А ещё это директории, а не папки.

А если вызвать `read(...)` на директорию?

```
1  int main() {
2      int fd = open("/", O_RDONLY, 0);
3      char buffer[16];
4      if(read(fd, buffer, sizeof(buffer)) >= 0) {
5          printf("%15s", buffer);
6      } else perror("read");
7  }
```

А если вызвать `read(...)` на директорию?

```
1  int main() {  
2      int fd = open("/", O_RDONLY, 0);  
3      char buffer[16];  
4      if(read(fd, buffer, sizeof(buffer)) >= 0) {  
5          printf("%15s", buffer);  
6      } else perror("read");  
7  }
```

Вывод: `read: Is a directory` . **Причина:** `read(...) == -EISDIR`

Файловый дескриптор - это

- **Число**, сопоставленное какому-то ресурсу.
- Его можно понимать, как **“указатель” на виртуальный класс**.
- **Разработчик должен помнить** типы дескрипторов. Это упрощают обёртки:
 - `FILE` , `fopen()` , `fclose()` , `fread()` , `fwrite()` , `fseek()` , ... для файлов;
 - `DIR` , `opendir()` , `closedir()` , `readdir()` , `seekdir()` , ... для директорий;
 - **И практически ничего** для работы с сокетами / сигналами / pipe-ами.
- Активные дескрипторы процесса можно увидеть в `/proc/<pid>/fd/`

```
open(char *path, int flags, mode_t mode)
```

Открыть (создать) файл (директорию).

int flags :

- |= **O_RDONLY** : Открыть на **чтение**;
- |= **O_WRONLY** : Открыть на **запись**;
- |= **O_RDWR** : Открыть на **чтение и запись**;
- |= **O_TRUNC** : **Очистить** файл при открытии;
- |= **O_CREAT** : **Создать** файл, если его нет;
- |= **O_EXCL** : Сломаться, если файл уже есть.

mode_t mode : маска прав для создаваемого файла.

Чтение и запись

- Для этого служат самые известные системные вызовы:

```
read(int fd, void* buf, size_t count)
```

```
write(int fd, void* buf, size_t count)
```

- Существуют `pread(...)` и `pwrite(...)`, которые **явно принимают позицию файла**.
- Если хочется одновременно записать **несколько буферов**, можно использовать:

```
readv(int fd, struct iovec *vector, int count)
```

```
writew(int fd, struct iovec *vector, int count)
```

```
lseek(int fd, off_t offset, int whence)
```

Настройка позиции файла

`int whence` :

= `SEEK_SET` : Установить позицию на `offset` ;

= `SEEK_CUR` : Сдвинуть позицию на `offset` ;

= `SEEK_END` : Установить позицию в **конец** и сдвинуть на `offset` .

`lseek()` возвращает позицию в байтах от начала файла.

```
fcntl(int fd, int cmd, long arg)
```

Системный вызов управления дескрипторами.

`int cmd` :

- = `F_SETFD` : Установить флаги дескриптора;
- = `F_SETFL` : Установить флаги статуса;
- = `F_SETLK` : Установить **блокировку** на файл;
- = `F_DUPFD` : **Дублировать** дескриптор;
- = `F_SETSIG` : Получить сигнал, когда будет доступно чтение / запись;
- = `F_SETPIPE_SZ` : Настроить размер очереди.

`long arg` : аргумент, используется в `F_SET*` – командах

Какие флаги можно настраивать?

Флаги дескриптора (`F_SETFD`):

- `FD_CLOEXEC` : автоматически закрыть файл при вызове `exec()`
- И всё, их ровно одна штука 🙄.

Полезные флаги статуса (`F_SETFL`):

- `O_APPEND` : дописывать в конец файла, как в лог;
- `O_NONBLOCK` : запретить блокирующий ввод/вывод;
- `O_NOATIME` : не изменять время последнего доступа к файлу;

Бесполезные флаги статуса:

- `O_ASYNC` : получать сигнал по доступности чтения/записи;
- `O_DIRECT` : прямая запись, обход кеширования ядра;

А что такое файл?

Файл – это не путь!

```
/home/you/test.txt
```

Может быть тем же файлом, что и:

```
/home/you/test2.txt
```

Программа

```
write(fd, "Hi!", 4);
```

Дескриптор

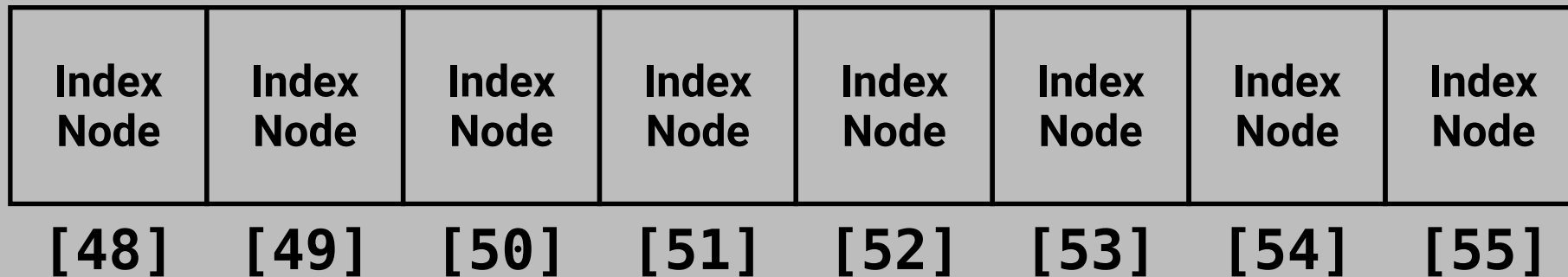
Ядро

```
process->fds[fd]->inum
```

Номер inode

Диск

...



...

Index Node

- Структура, которую обычно называют “файлом”;
- Хранится в длинном массиве на жестком диске;
- **Знает**, где на жестком диске хранится **содержимое её файла**;
- **Хранит число ссылок** на саму себя (как `std::shared_ptr`).

/usr/bin/bash

Корень

Index
Node

Index
Node

Index
Node

Index
Node

Directory
Entries

.

..

etc

usr

...

.

..

bin

share

...

.

..

bash

mkdir

...

0x7f

0x45

0x4c

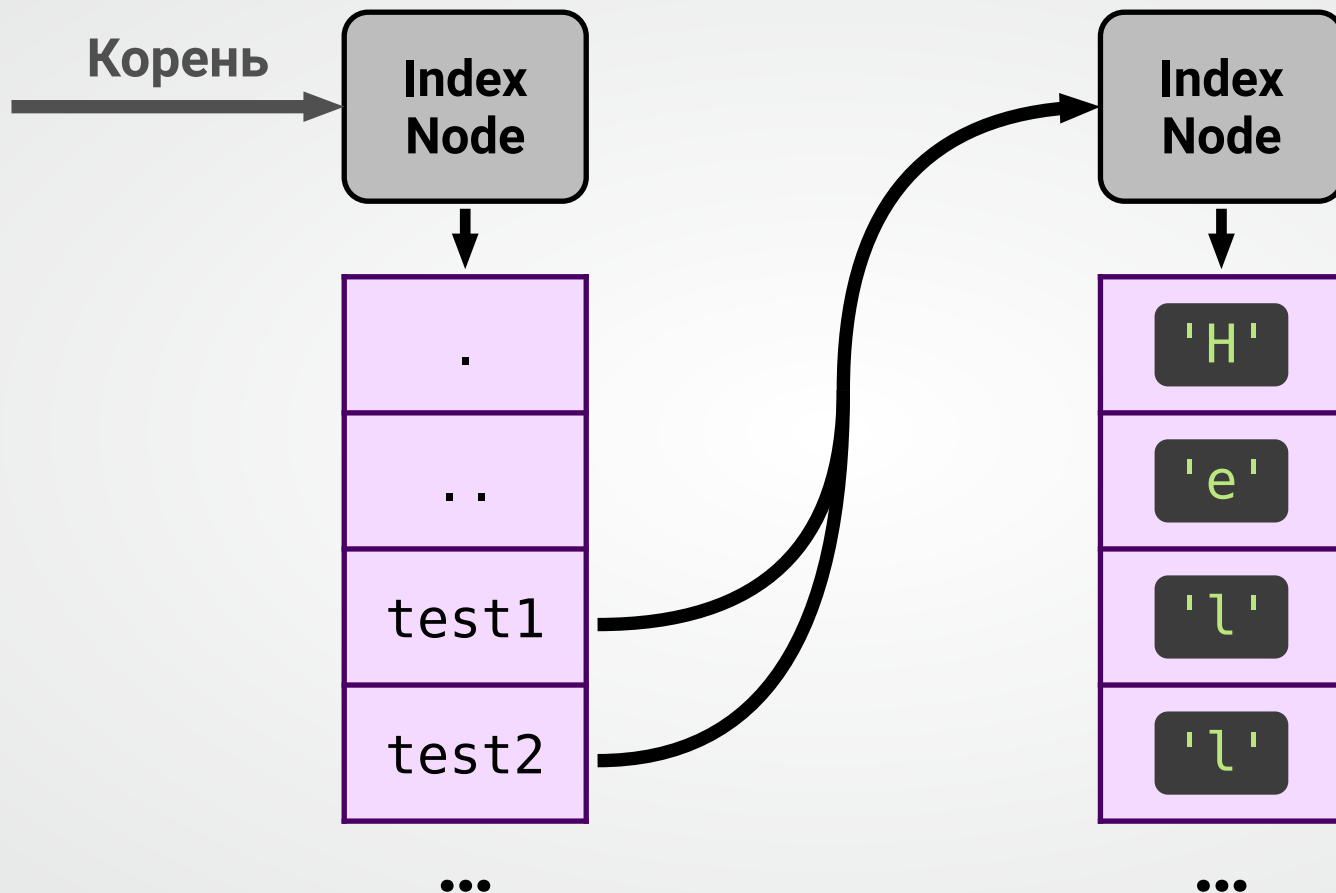
0x46

...

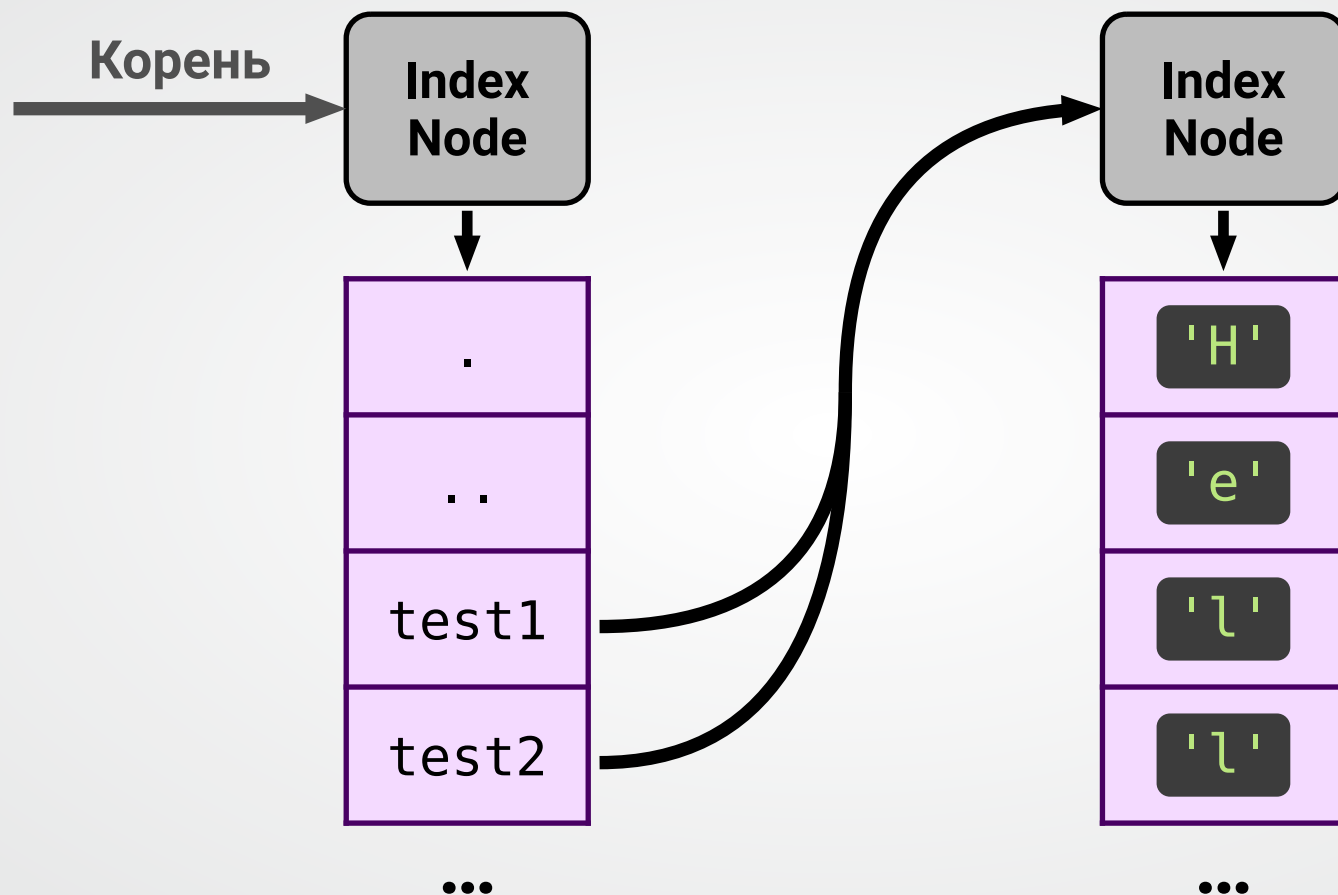
Directory Entry

- Структура с **именем** и **адресом** Index Node;
- Может **ссылаться на свой же Index Node**(`./`);
- Живёт там, где обычно хранятся данные файла;
- Хранится в массиве других Directory Entry.

Что, если на Index Node несколько ссылок?



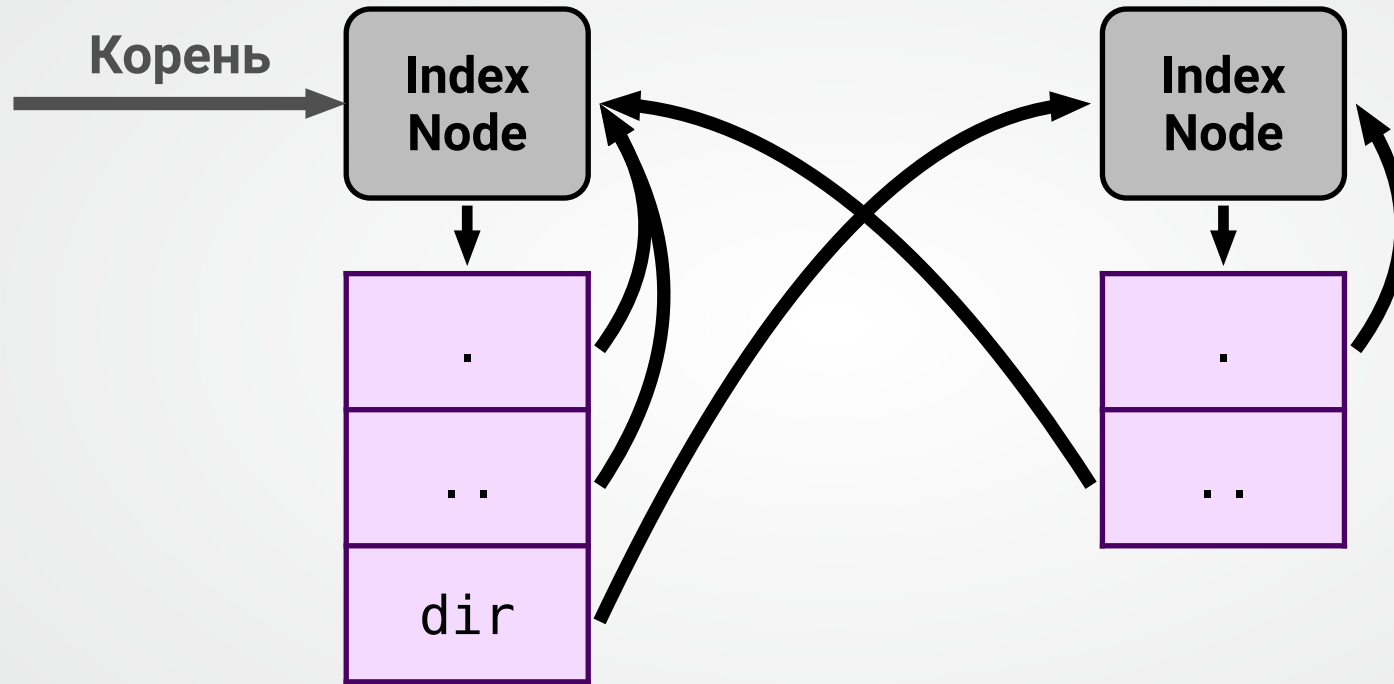
Что, если на Index Node несколько ссылок?



Это называется **жесткая ссылка**. Так можно только с файлами.

Задача: сколько ссылок у пустой директории?

Задача: сколько ссылок у пустой директории?



Ответ: 2

VFS

Виртуальная файловая система

- К системе может быть подключено **много накопителей**: диски, USB-носители, ...;
- Каждый из них может иметь свою файловую систему;

Как работать со всем сразу?



VFS - Обобщённый интерфейс для ФС.

Можно думать об этом, как о виртуальном классе:

```
class ExFat: public virtual VFS { /* ... */ }
class Fat32: public virtual VFS { /* ... */ }
class NTFS: public virtual VFS { /* ... */ }
class FAT: public virtual VFS { /* ... */ }
class HFS: public virtual VFS { /* ... */ }
// ...
```

Теперь любую из этих файловых систем можно подключить к системе:

```
void System::mount(VFS* filesystem, const char* path);
```



procfs – не файловая файловая система.

`$ cat /proc/meminfo` : информация о памяти;

`$ cat /proc/cpuinfo` : информация о CPU;

`$ cat /proc/version` : версия ядра;

`$ cat /proc/schedstat` : информация от планировщика о каждом CPU;

`$ cat /proc/filesystems` : информация о файловых системах.

`$ cat /proc/<pid>/schedstat` : информация от планировщика о процессе;

`$ ls /proc/<pid>/fd` : открытые файловые дескрипторы;

Эта файловая система тоже реализует интерфейс VFS.

Другие примеры

Системные:

`sysfs` : содержит информацию об устройствах и драйверах;

`pipefs` : служит для создания и использования pipe-ов;

`ramfs` : использует оперативную память вместо диска;

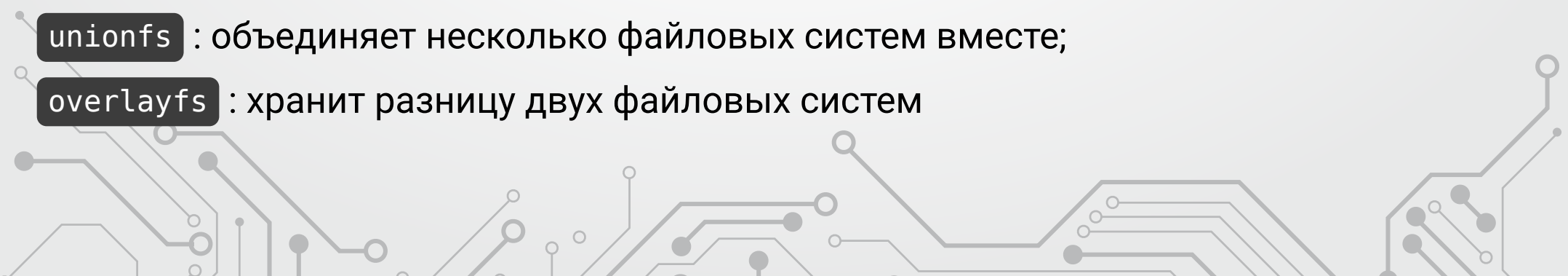
`tmpfs` : как `ramfs` , но со сбросом на swap;

Общего назначения:

`ecryptfs` : хранит файлы в зашифрованном виде;

`unionfs` : объединяет несколько файловых систем вместе;

`overlayfs` : хранит разницу двух файловых систем



Как быть, если очень хочется свою ФС?



Как быть, если очень хочется свою ФС?

FUSE

Filesystem in userspace



Как быть, если очень хочется свою ФС?

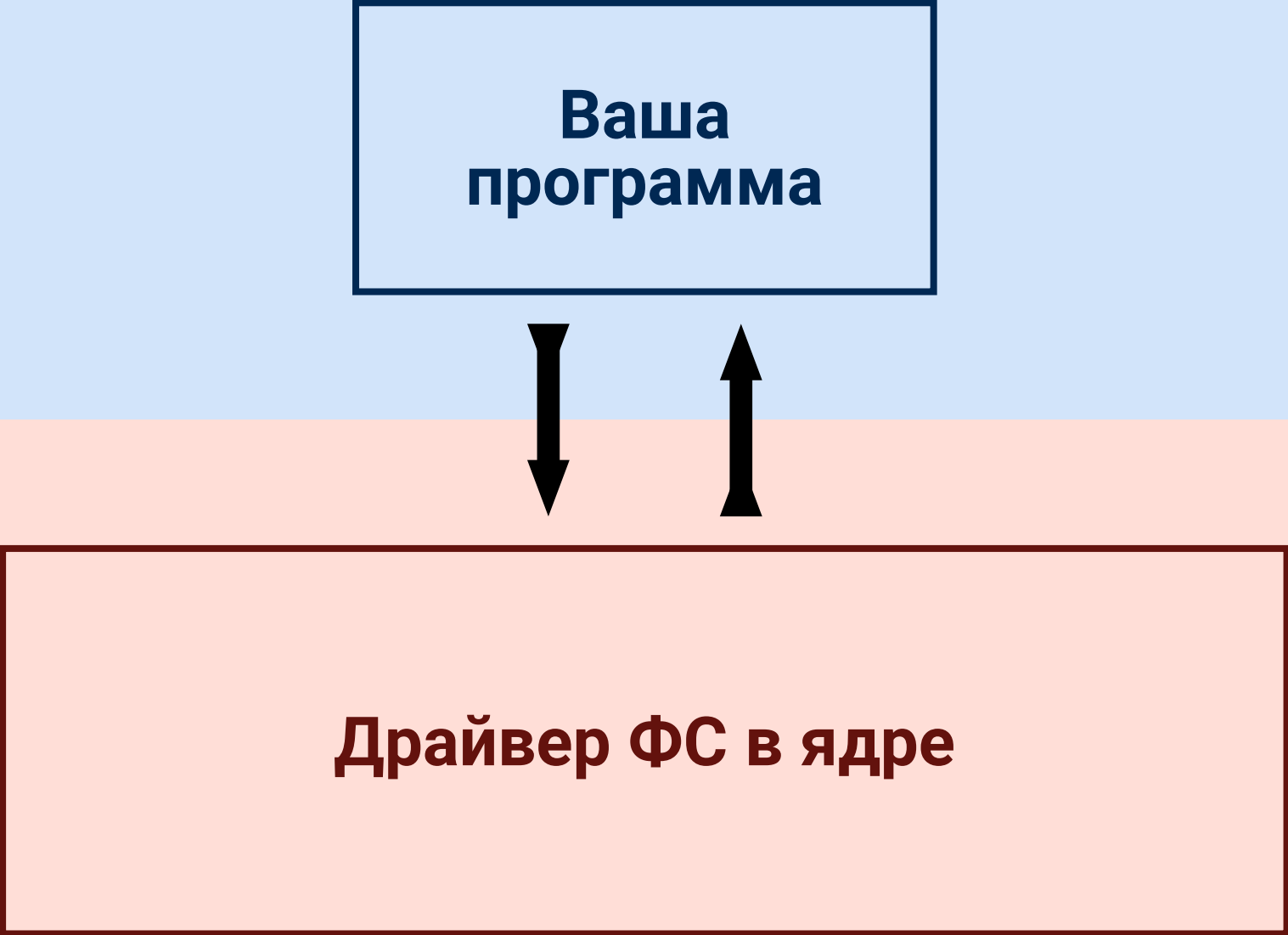
FUSE

Filesystem in userspace

- +** Избавляет от необходимости разрабатывать драйвер для ядра;
- Работает медленнее, чем встроенные в ядро файловые системы.

Userspace

**Ваша
программа**



The diagram illustrates the interaction between the userspace and the kernel space. The top half, labeled 'Userspace' in blue, contains a light blue box with a dark blue border labeled 'Ваша программа' (Your program). The bottom half, labeled 'Ядро' (Kernel) in dark red, contains a light red box with a dark red border labeled 'Драйвер ФС в ядре' (Filesystem driver in kernel). Two thick black arrows connect the boxes: one pointing downwards from the program to the driver, and one pointing upwards from the driver to the program, indicating bidirectional communication.

Ядро

Драйвер ФС в ядре

Userspace

**Ваша
программа**

**Userspace-
драйвер**

Ядро

Драйвер FUSE



Сеанс магии

И всё же, зачем?

- `$ sshfs` : проект сообщества, позволяет монтировать ФС через `$ ssh`
- Снижает поверхность атаки;
- Позволяет монтировать **почти любые образы дисков**, не имея прав администратора.



Спасибо за внимание!

A decorative graphic at the bottom of the slide featuring a complex circuit board pattern with various lines, dots, and geometric shapes in black and grey.

 github.com/JakMobius/courses/tree/main/mipt-os-basic-2024