

Материалы к лекциям по основам системного программирования

Жмылёв Сергей Александрович

Осень 2019

Структура курса I

Системное программное обеспечение

Программный интерфейс

Структура программ

Компиляция программ

Код возврата

Роль системы

Загрузка системы

Системные вызовы

Структура курса II

Обращение к системе

Файл

Дескриптор файла

Потоки ввода-вывода процесса

Стандартные потоки ввода-вывода

open(2)

Основные режимы доступа

lseek(2)

Структура курса III

read(2)

write(2)

close(2)

dup(2) и dup2(2)

stat(2)

Ошибки в системных вызовах

Стандартизация ошибок

Пример ошибки

Структура курса IV

Заголовочные файлы

Пример чтения/записи

Makefile

Утилита make

Полезные функции

Ввод-вывод со смещением

Рассеянный ввод-вывод

Структура iovec (I/O vector)

Структура курса V

Сброс кешей

Работа с файловыми дескрипторами

Команды `fcntl(2)`

Проверка доступа

Изменение прав доступа

Изменение владельца

Маска создания файла

Работа с ссылками

Структура курса VI

Символьные ссылки

Работа с каталогами

Рабочая директория

Чтение каталогов

Структура dirent

Файлы устройств

Модель памяти процесса

Выделение памяти

Структура курса VII

Утилита `rtar(1)`

Процесс

Состояния процесса

Полезные ссылки

<http://src.illumos.org/>

<https://github.com/mit-pdos/xv6-public>

<https://se.ifmo.ru/~korg/>

<https://vk.com/korglings>

Литература :

1. Uresh Vahalia. UNIX Internals
2. A. S. Tanenbaum, A. S. Woodhull. Operating Systems: Design and Implementation

Системное программное обеспечение

- ▶ Языки СПО
- ▶ Системные вызовы
- ▶ Ввод-вывод
- ▶ Потоки и процессы

Программный интерфейс

Любая программа принимает аргументы и переменные окружения

Код возврата – число, отображающее корректность завершения

Структура программ

```
int main(  
    int argc,  
    char *argv[],  
    char *envp[]  
) {  
    /* ... */  
  
    return 0;  
}
```

Структура программ

```
#include <stdlib.h>

int main(
    int argc,
    char *argv[],
    char *envp[]
) {
    /* ... */

    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Компиляция программ

```
# gcc -c program.c  
# gcc -o program program.o  
  
# gcc -o program program.c  
  
# cc -o program program.c
```

Код возврата

```
# rm -f /etc/passwd 2<&-  
# echo $?  
1  
# echo Hello, world!  
Hello, world!  
# echo $?  
0
```

Популярная ошибка

Использование `void main()` - недопустимо!

```
# cat void.c
void main(void) {}
# ./void
# echo $?
16
```


Роль системы

- ▶ Многозадачность;
- ▶ Виртуализация памяти;
- ▶ Управление устройствами;
- ▶ Обработка прерываний;
- ▶ Расширение набора операций, доступных программам.

Загрузка системы

- ▶ Reset vector: UEFI, BIOS, ...
- ▶ I/O, *PIC(IRQ), VGA
- ▶ POST + PCI BIOS
- ▶ Выбор загрузочного устройства
- ▶ Загрузчик stage0 (boot sector)
- ▶ Загрузчик stage1
- ▶ Ядро ОС

Системные вызовы

- ▶ Обращение к функции ядра системы
- ▶ Использование аппаратного обеспечения через единый API
- ▶ Имеют интерфейс libc
- ▶ Имеют привилегии ядра операционной системы

Обращение к системе

```
/* завершение программы с кодом 2 */  
_exit(2);
```

```
.globl _start  
_start:  
pushq $2  
movq $1, %rax  
int $0x80
```

```
# cc -m64 -Wall -Wextra -Wno-comment \  
-nostdlib -o main main.S
```

<https://pastebin.com/knTdpZRe>

Что такое файл?

Everything is a file!

Кроме потоков и ядра

Дескриптор файла

```
http:  
//src.illumos.org/source/xref/illumos-gate/  
usr/src/uts/common/syscall/open.c#54
```

```
http://src.illumos.org/source/xref/  
illumos-gate/usr/src/uts/common/fs/vnode.c#940
```

- ▶ Номер файлового дескриптора – целое неотрицательное число, абстрагирующее процессы от файлов, с которыми они работают.

Потоки ввода-вывода процесса

Номер	Файл	Флаги
0	/dev/tty	O_RDWR O_LARGEFILE
1	/dev/tty	O_RDWR O_LARGEFILE
2	/dev/tty	O_RDWR O_LARGEFILE
3	/etc/passwd	O_RDONLY
4	/dev/mtdblock3	O_RDWR
...
255

Стандартные потоки ввода-вывода

```
# grep FILENO /usr/include/unistd.h  
#define STDIN_FILENO 0  
#define STDOUT_FILENO 1  
#define STDERR_FILENO 2
```


open(2)

```
int open(  
    const char *path,    /* путь к файлу */  
    int oflag,           /* режим доступа */  
    /* mode_t mode */    /* права доступа */  
);
```

Функция возвращает номер дескриптора
или код ошибки

Основные режимы доступа

O_RDONLY – только для чтения

O_WRONLY – только для записи

O_RDWR – для записи/чтения

O_CREAT – создать, если не существует

O_APPEND – запись с конца

O_TRUNC – запись с начала

O_LARGEFILE – длинная позиция в файле

O_EXCL – длинная позиция в файле



lseek(2)

```
off_t lseek(  
    int fildes, /* номер открытого файла */  
    off_t offset, /* смещение позиции */  
    int whence /* действие */  
);
```

Функция возвращает полученное смещение в байтах или код ошибки

read(2)

```
ssize_t read(  
    int fildes, /* номер открытого файла */  
    void *buf, /* буфер чтения */  
    size_t nbyte /* количество байт */  
);
```

Функция возвращает количество прочитанных байт или код ошибки

write(2)

```
ssize_t write(  
    int fildes, /* номер дескриптора */  
    const void *buf, /* буфер записи */  
    size_t nbyte /* количество байт */  
);
```

Функция возвращает количество записанных байт или код ошибки

close(2)

```
int close(  
    int fildes, /* номер дескриптора */  
);
```

Функция возвращает 0 или код ошибки

dup(2) и dup2(2)

```
int dup(  
    int fildes /* номер открытого файла */  
);  
int dup2(int fildes, int fildes2);
```

Функция возвращает номер нового дескриптора или код ошибки

stat(2)

```
int stat(  
    const char *restrict path,  
    /* путь к файлу */  
    struct stat *restrict buf  
    /* результат */  
);
```

Функция возвращает номер 0 или код ошибки

Ошибки в системных вызовах

Код возврата системного вызова:

- ▶ меньше 0 – ошибка в ходе выполнения вызова
- ▶ равен 0 – успешное выполнение
- ▶ больше 0 – результат успешного выполнения

Стандартизация ошибок

- ▶ Унификация ошибочных кодов
- ▶ Переменная `errno`
- ▶ Функция `perror(3)`
- ▶ Функция `strerror(3)`

Пример ошибки

```
if (read(7, buf, 1) < 0) {  
    fprintf(stderr, "%d_", errno);  
    perror("read");  
    _exit(1);  
}  
  
/* 9 read: Bad file number */
```

Заголовочные файлы

- ▶ `unistd.h` – объявления UNIX
- ▶ `stdio.h` – стандартный ввод/вывод
- ▶ `fcntl.h` – операции с файлами
- ▶ `sys/types.h` – системные типы
- ▶ `sys/stat.h` – системные статусы

Пример чтения/записи

```
#include <unistd.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
    int bytes;
    char buf[256];
    while((bytes = read(STDIN_FILENO, buf,
    ↪ sizeof(buf))) > 0) {
        if (write(STDERR_FILENO, buf, bytes)
    ↪ < 0) {
            return 1;
        }
    }

    return bytes;
}
```

Makefile

```
PROJS=main
CC=gcc
CFLAGS=-m64

all: $(PROJS)
    @echo Done!

$(PROJS):
    $(CC) $(CFLAGS) -o $@ $@:=.c)
```

Утилита make

```
# make  
gcc -m64 -o main main.c  
Done!  
# ./main  
Hello, world!
```

Полезные функции

- ▶ `isatty(3C)`
- ▶ `gethostbyname(3NSL)`
`gethostbyaddr(3NSL)`
- ▶ `htons(3SOCKET)`
`htonl(3SOCKET)`
`ntohs(3SOCKET)`
`ntohl(3SOCKET)`
- ▶ `usleep(3C)`

Ввод-вывод со смещением

```
ssize_t pread(int fildes, void *buf,  
    ↪ size_t nbyte, off_t offset);  
  
ssize_t pwrite(int fildes, const void *buf,  
    ↪ size_t nbyte, off_t offset);
```

Функции возвращают количество байт или код ошибки

Рассеянный ввод-вывод

```
ssize_t readv(  
    int fildes,    /* дескриптор файла */  
    const struct iovec *iov,  
                /* массив структур */  
    int iovcnt /* количество структур */  
);
```

Функция возвращает количество байт или код ошибки

Структура iovec (I/O vector)

```
#include <sys/uio.h>
typedef struct iovec {
void *iov_base;
/* start address */
size_t iov_len;
/* segment length */
} iovec_t;
```

Сброс кешей

```
void sync(  
    void /* не принимает аргументов */  
);
```

Код возврата функции не информативен

Работа с файловыми дескрипторами

```
int fcntl(  
    int fildes,          /* дескриптор */  
    int cmd,             /* команда */  
    ... /* переменное число аргументов */  
);
```

Код возврата функции интерпретируется в зависимости от команды

Команды fcntl(2)

F_DUPFD / F_DUP2FD

аналог dup/dup2

F_FREESP

освободить место

F_GETFD / F_SETFD

флаг close on exec

F_GETFL / F_SETFL

флаги доступа

F_GETLK / F_SETLK

блокировка файла

F_GETLKW / F_SETLKW

F_RDLCK / F_WRLCK / F_UNLCK

Проверка доступа

```
int access(const char *path, int amode);
```

R_OK – чтение

W_OK – запись

X_OK – исполнение

F_OK – существование

Функция возвращает 0 или код ошибки

Изменение прав доступа

```
int chmod(const char *path, mode_t mode);  
int fchmod(int fildes, mode_t mode);
```

S_ISUID 04000

S_IRWXU 00700

(S_ISUID | S_IRWXU) 04700

Функции возвращают 0 или код ошибки

Изменение владельца

```
int chown(  
    const char *path,  
    uid_t owner,  
    gid_t group  
);  
int fchown(  
    int fildes,  
    uid_t owner,  
    gid_t group  
);
```

Функции возвращают 0 или код ошибки

Маска создания файла

```
mode_t umask(  
    mode_t cmask    /* значение маски */  
);
```

Возвращает предыдущее значение маски

Как получить текущее значение?

Работа с ссылками

```
int link(  
    const char *existing, /* путь к файлу */  
    const char *new       /* путь к ссылке */  
);  
int unlink(const char *path);
```

Функции возвращают 0 или код ошибки

Символьные ссылки

```
int symlink(  
    const char *name1,  
    const char *name2  
);  
  
ssize_t readlink(  
    const char *restrict path, /* ссылка */  
    char *restrict buf,       /* буфер */  
    size_t bufsiz             /* размер буфера */  
);
```

Работа с каталогами

```
int mkdir(  
    const char *path, /* путь к каталогу */  
    mode_t mode      /* режим доступа */  
);  
int rmdir(const char *path);
```

Функции возвращают 0 или код ошибки

Рабочая директория

```
int chdir(const char *path);  
int fchdir(int fildes);
```

getcwd(3) возвращает указатель на буфер
либо -1 и имеет прототип:

```
char *getcwd(char *buf, size_t size);
```

Чтение каталогов

```
DIR *opendir(const char *dirname);  
  
struct dirent *readdir(DIR *dirp);  
  
void rewinddir(DIR *dirp);  
  
int closedir(DIR *dirp);
```

Структура dirent

```
typedef struct dirent {  
    ino_t d_ino;  
        /* номер индексного дескриптора */  
    off_t d_off; /* смещение от начала */  
    unsigned short reclen;  
                                /* длина записи */  
    char d_name[];             /* имя файла */  
} dirent_t;
```


Файлы устройств

```
int mknod(  
    const char *path,    /* путь к файлу */  
    mode_t mode, /* режим доступа и тип */  
    dev_t dev           /* устройство */  
);
```

Функции возвращают 0 или код ошибки

Модель памяти процесса



Выделение памяти

Расширение сегмента данных:

```
int brk(void *endds);  
void *sbrk(intptr_t incr);
```

Выделение новых сегментов из анонимной памяти:

```
void *mmap(  
    void *addr,  
    size_t len,  
    int prot,  
    int flags,  
    int fildes,  
    off_t off  
);
```

Утилита pmap(1)

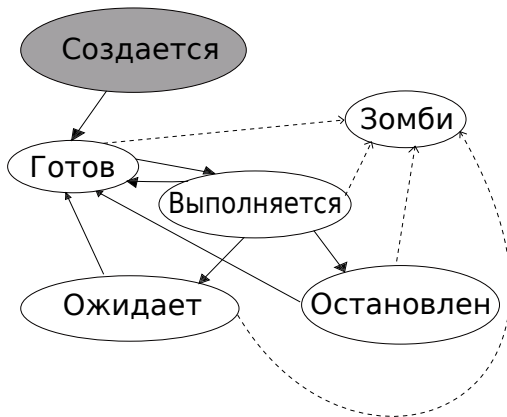
```
helios$ pmap $$
08043000    20K   rw---    [ stack ]
08050000   552K   r-x---    /usr/bin/bash
080E9000    76K   rwx---    /usr/bin/bash
080FC000   300K   rwx---    [ heap ]
FEB20000    64K   rwx---    [ anon ]
FEB40000    56K   r-x---    /lib/module.so
```

Процесс

Процесс – это совокупность программы и метайнформации, описывающей её выполнение ©KorG

Выполняются параллельно и формально независимы друг от друга

Состояния процесса



Благодарности

- ▶ Афанасьев Дмитрий Борисович
- ▶ Горская Александра Андреевна
- ▶ Ховалкина Ксения Николаевна
- ▶ Киреев Валерий Юрьевич
- ▶ и многие другие...

Спасибо за внимание

```
# perl '-es!!),-#(-.?.{<>-8#=#<-*}>;*7-86)!;y!#() -?{}!\x20/'-v; <!;s++$_+ee'
```