Операционные Системы

Исполняемые файлы

Первый процесс

- Ядро ОС настроило прерывания, аллокаторы, планировщик. Что дальше?
  - мы должны запустить первый процесс и первое приложение!
  - например, Linux проверяет файлы: /sbin/init, /etc/init, /bin/init и /bin/sh.

Исполняемые файлы

- Существует множество форматов исполняемых файлов:
  - ELF, a.out, PE, COM, Mach-O;
  - скрипты, начинающиеся с #! (sha-bang).

Заголовок исполняемого файла

- Заголовок:
  - magic number/string - позволяет быстро определить формат файла;
  - различного рода флаги и параметры:
    - версия формата исполняемого файла;
    - архитектура;
    - ссылки на другие части файла.

Заголовок ELF файла

```
1       struct elf64_hdr {
2           uint8_t e_ident[16];
3           uint16_t e_type;
4           uint16_t e_machine;
5           uint32_t e_version;
6           uint64_t e_entry;
7           uint64_t e_phoff;
8           uint64_t e_shoff;
9           uint32_t e_flags;
10          uint16_t e_ehsize;
11          uint16_t e_phentsize;
12          uint16_t e_phnum;
13          uint16_t e_shentsize;
14          uint16_t e_shnum;
15          uint16_t e_shstrndx;
16      } __attribute__((packed));
```

Точка входа

- У любой программы есть первая инструкция - точка входа:
  - формат исполняемого файла явно или не явно указывает адрес первой инструкции;
  - ОС после загрузки исполняемого файла передает управление первой инструкции;
  - обычно передача управления сопровождается понижением уровня привилегий кода (переходом в userspace).

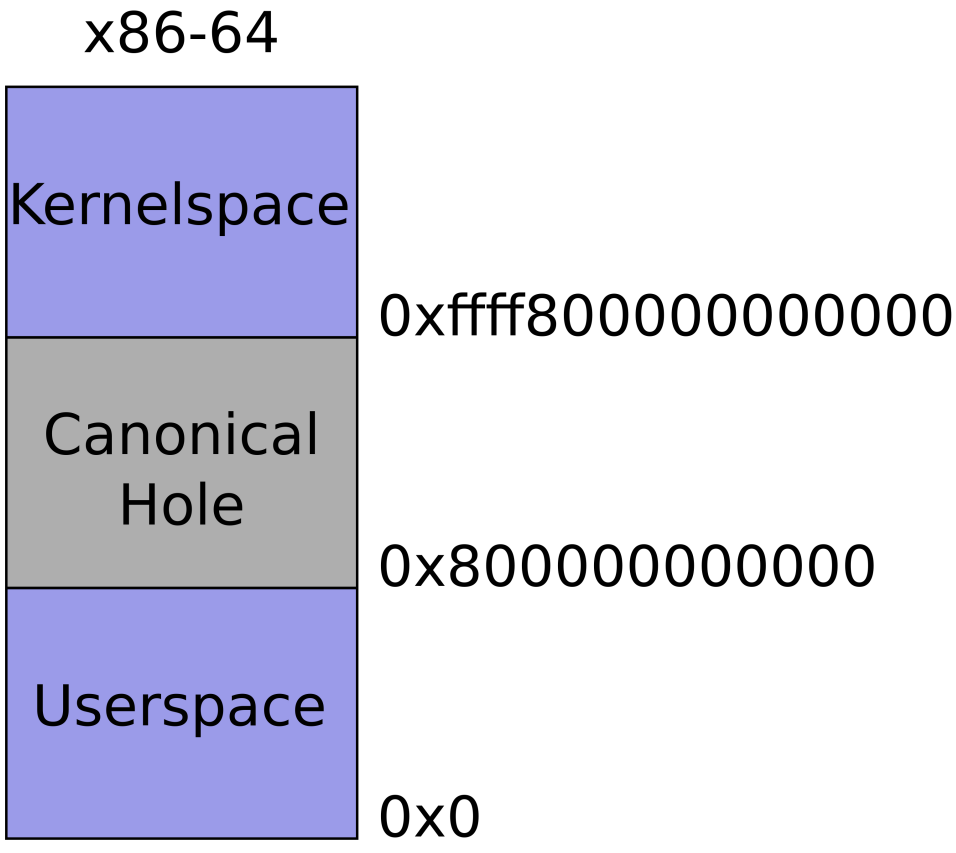
Заголовок ELF файла

```
1       struct elf64_hdr {
2           uint8_t e_ident[16];
3           uint16_t e_type;
4           uint16_t e_machine;
5           uint32_t e_version;
6
7           /* Logical address of the first instruction */
8           uint64_t e_entry;
9
10          uint64_t e_phoff;
11          uint64_t e_shoff;
12          uint32_t e_flags;
13          uint16_t e_ehsize;
14          uint16_t e_phentsize;
15          uint16_t e_phnum;
16          uint16_t e_shentsize;
17          uint16_t e_shnum;
18          uint16_t e_shstrndx;
19      } __attribute__((packed));
```

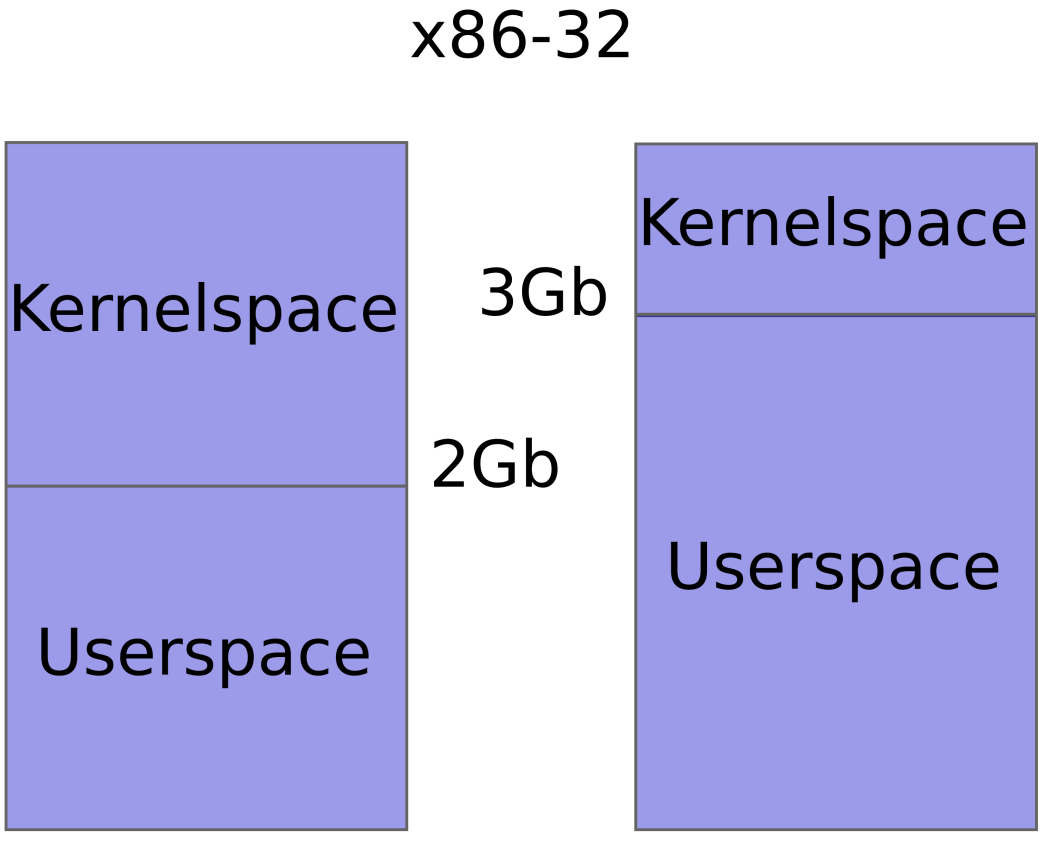
Описание адресного пространства

- Формат исполняемого файла описывает логическое адресное пространство:
  - какие участки логического адресного пространства нужны и для чего;
  - где в памяти процесса должны располагаться код и данные;
  - где в исполняемом файле хранятся код и данные.

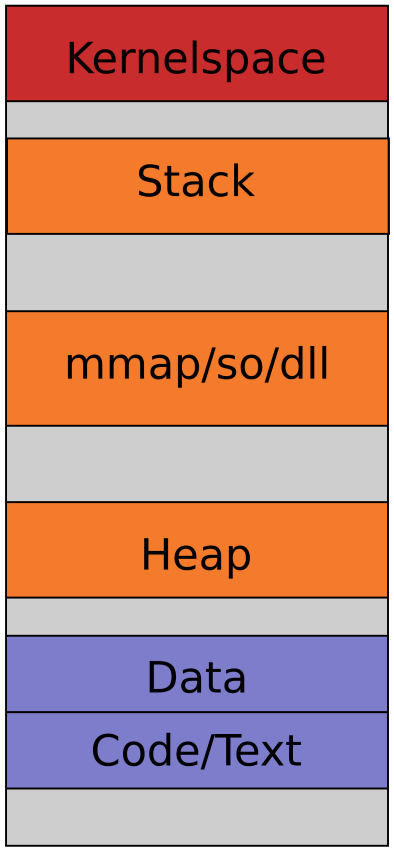
Типичное адресное пространство



Типичное адресное пространство



Типичное адресное пространство



Elf Program Headers

```
1       struct elf64_hdr {
2           uint8_t e_ident[16];
3           uint16_t e_type;
4           uint16_t e_machine;
5           uint32_t e_version;
6           uint64_t e_entry;
7
8           /* Offset of the program header table */
9           uint64_t e_phoff;
10
11          uint64_t e_shoff;
12          uint32_t e_flags;
13          uint16_t e_ehsize;
14
15          /* The size of a program header table entry */
16          uint16_t e_phentsize;
17          /* The number of entries in the program
18             header table */
19          uint16_t e_phnum;
20
21          uint16_t e_shentsize;
22          uint16_t e_shnum;
23          uint16_t e_shstrndx;
24      } __attribute__((packed));
```

Elf Program Headers

```
1       struct elf64_phdr {
2           /* There are different types of segments,
3              we need PT_LOAD == 1 */
4           uint32_t p_type;
5
6           /* Read/Write/Execute */
7           uint32_t p_flags;
8
9           /* Offset of the segment in the file */
10          uint64_t p_off;
11
12          /* The logical address of the segment in memory */
13          uint64_t p_vaddr;
14          uint64_t p_paddr;
15
16          /* The size of the file image of the segment */
17          uint64_t p_filesz;
18
19          /* The size of the memory image of the segment */
20          uint64_t p_memsz;
21
22          uint64_t p_align;
23      } __attribute__((packed));
```

Загрузка исполняемого файла

- Подготовить адресное пространство согласно описанию в файле
  - аллоцировать память и настроить таблицы страниц;
  - скопировать код и данные из файла в память;
  - возможно создать стек отдельно.
- "Прыгнуть" в userspace
  - передать управление точке входа, указанной в файле;
  - возможно, понизить уровень привилегий.

Библиотеки

- Виды библиотек:
  - статические - становятся частью исполняемого файла;
  - динамические - хранятся отдельно от исполняемого файла
    - загружаются при запуске приложения или по требованию.

Динамические библиотеки

- Особенность динамических библиотек - могут быть загружены по разным адресам
  - как код библиотеки обращается к своим коду и данным?
  - как код приложения обращается к библиотеке?
  - как код библиотек обращается к коду и данным других библиотек?

Компоновщик

- Компоновщик (linker, link editor) - программа, которая "связывает" бинарные файлы вместе и генерирует исполняемый файл
  - в момент компиляции адреса функций/переменных могут быть не известны;
  - компилятор просто оставляет "пустое место", а компоновщик записывает в него адрес.

Динамический компоновщик

- Адреса функций/переменных из динамических библиотек не известны
  - компилятор/статический компоновщик оставляют "пустые места";
  - динамический компоновщик должен записать в них адреса, после того как библиотека была загружена.

Загрузка ELF файла с динамическими библиотеками

- ELF файл загружается как обычно
  - ищем Program Header-ы с типом PT_LOAD и загружаем их в память.
- Смотрим в Program Header с типом PT_INTERP
  - там хранится имя файла динамического компоновщика;
  - загружаем его в память в дополнение к программе.
- Передаем управление *динамическому компоновщику*.

Поиск динамических библиотек

- Исполняемый файл должен хранить информацию о динамических библиотеках
  - например, ELF Program Header с типом PT_DYNAMIC указывает, где в файле хранится эта информация;
  - динамический компоновщик загружает *все* требуемые зависимости в память.

Редактирование связей

- Исполняемый файл и динамические библиотеки хранят список обращений к внешним сущностям
  - вызовы функций из других (и не только) библиотек;
  - обращения к переменным (и не только) из других библиотек;
  - динамический компоновщик находит адреса и записывает их в определенные места в памяти.

GOT

- ELF формат использует Global Offset Table (GOT)
  - код, обращающийся к переменной, знает относительный адрес GOT и номер записи в ней, соответствующей этой переменной;
  - компилятор генерирует код, который берет адрес из GOT;
  - динамический компоновщик записывает в GOT правильные адреса при загрузке.

PLT

- ELF формат также использует Procedure Linkage Table (PLT)
  - код обращающийся к функции знает относительный адрес PLT и номер "заглушки" в ней, соответствующей этой переменной;
  - компилятор генерирует код, который вызывает "заглушку" из PLT вместо реальной функции;
  - динамический компоновщик может изменять PLT, а может изменять GOT, к которой "заглушка" из PLT обращается.