Семинар 13: немного о линкерах

10 марта, 2020

Основные понятия

- **Symbol** — именованная сущность (обычно функция или глобальная переменная), за которой должен быть закреплён адрес
- **Content** — описание того, как ОС должна загрузить символ в память
- **Relocation** — указание вычисления адреса по определённому правилу
- **Object file** — файл-контейнер для символов и их содержимого
- Релокации обычно состоят из **offset** и **addend**

Что происходит во время статической линковки?

1. Чтение и парсинг объектных файлов
2. Построение таблицы символов
3. Размещение всех известных секций в памяти
4. Применение релокаций

Спецификация ELF

Спецификация ELF для x86-64

Описание релокации в ELF

```
typedef struct {
    Elf32_Addr r_offset;
    Elf32_Addr r_info;
    Elf32_Addr r_addend;
} Elf32_Rela;
```

Релокации в x86-64

- На данный момент для x86-64 существует **38** возможных релокаций
- Самые распространённые: **R_X86_64_PC32**, **R_X86_64_GOT32**, **R_X86_64_PLT32**
- Полный список можно найти в ABI для x86-64

Динамическая линковка

- Исторически идея была придумана для экономии памяти
- Давайте вынесем часто используемые функции в разделяемые библиотеки или **shared objects**
- Эти объекты будем подклеивать в различные виртуальные адресные пространства, но физически их будем хранить в единственном экземпляре
- Как устроить процесс линковки для таких библиотек?

Динамическая линковка

- Position independent code
- Global offset table
- Procedure linkage table

Position independent code

- Код, начало которого может располагаться как угодно в памяти
- Значит, что нельзя использовать абсолютные адреса, только относительные
- RIP-relative addressing
- Кроме разделяемых объектов используется для *address space layout randomization* (ASLR)

Global offset table

- Специальная секция (`.got` и `.got.plt`) в ELF
- Хранит в себе отображение из названий символов в адреса
- При динамической линковке эти адреса заполняются специальным *интерпретатором* (`ld-linux.so`)
- Релокации применяются на стадии линковки, но ссылаются на секцию, которая будет заполнена во время исполнения
- Однако, это всё равно называются релокациями, но они уже находятся в других секциях (`.rel.dyn`, `.rel.plt`)

Procedure linkage table

- Секция, которая содержит специальным образом сформированные заглушки для вызова процедур
- Все вызовы сторонних функций в реальности делают `call` на символы, объявленные в этой секции
- Первый вызов будет триггерить динамический линковщик, остальные вызовы будут напрямую вызывать функцию (*lazy binding*)
- Можно отключить с помощью опции линкера: `-z now`

Устройство заглушки в PLT-секции: до резолва

```
FUNC@plt:
    jmpq   *FUNC_GOT_OFFSET(%rip)   # Прыжок по адресу в GOT
    pushq  index   # Индекс символа в .rel.dyn
    jmpq   FIRST_PLT_ENTRY   # relative jump

FUNC@got.plt: # адрес pushq
```

Процесс резолва

1. Вызов `FUNC@plt`
2. Прыжок по адресу в GOT
3. Возврат обратно в PLT
4. Подготовка аргументов для линкера
5. Переход в FIRST_PLT_ENTRY
6. Вызов линкера
7. Поиск .so-файла и его подгрузка через mmap + mprotect
8. Запись адреса FUNC в FUNC@got.plt
9. Вызов FUNC

Устройство заглушки в PLT-секции: после резолва

```
FUNC@plt:
    jmpq   *FUNC_GOT_OFFSET(%rip)   # Прыжок по адресу в GOT
    # инструкции ниже никогда больше не выполнятся
    pushq  index
    jmpq   FIRST_PLT_ENTRY

FUNC@got.plt: # абсолютный адрес FUNC
```

Оставшиеся вопросы

- Как линкер узнает, какие shared objects нужно подгрузить?

- Как получить текущий EIP под x86?
- Зачем разделять GOT и PLT?

Оставшиеся вопросы

- Как линкер узнает, какие shared objects нужно подгрузить? Из секции dynamic, которую он парсит на старте
- Как получить текущий EIP под x86?
- Зачем разделять GOT и PLT?

Как получить текущий EIP под x86?

__x86.get_pc_thunk.bx

```
__x86.get_pc_thunk.bx:
    mov (%esp), %ebx
    ret

    ...

    call __x86.get_pc_thunk.bx
    # теперь ebx содержит текущий EIP
```

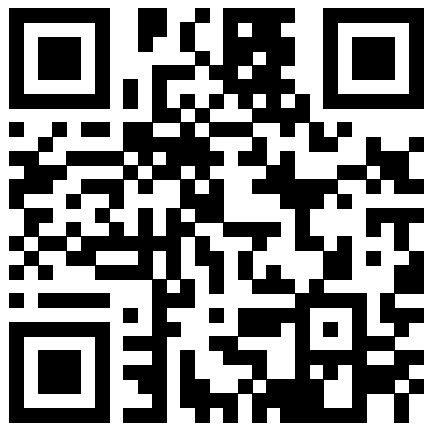
Зачем разделять GOT и PLT?

- Indirect call — 6 байт, direct call — 5 байт
- Поэтому компилятор должен был бы различать для чего он компилирует код: для динамической линковки или статической
- На x86-64 Можно использовать RIP-relative addressing и `-fno-plt`

Статическая vs динамическая линковка

- Динамическая линковка вызывает *dependency hell*
- Простота эксплуатации > экономия памяти
- Молодые языки (например, Rust и Go), поэтому используют статическую линковку
- Но из-за этого растёт размер исполняемых файлов и время компиляции

Ian Lance Taylor about linkers



vDSO

- Virtual dynamic shared object
- Полноценный ELF-объект внутри каждого процесса
- Ускоряет вызов сисколлов, которые не требуют доступа к «тяжёлым» данным ядра
- На данный момент содержит в себе: `gettimeofday`, `clock_gettime`, `getcpu`.
- Идея состоит в том, чтобы реализацию сисколла унести в userspace, а необходимые данные периодически подкладывать в адресное пространство процесса

Gratias ago!