Лекция 17
Исполняемые файлы, динамическая загрузка

Кодирование инструкций

- Каждая инструкция однозначно представляется в бинарном виде
- На x86/x64 инструкция кодируется последовательностью от 1 до 16 байт
- Требования к кодированию:
  - Однозначность декодирования
  - Компактность

Кодирование относительно IP

- Инструкция jmp:
  8048098:eb 17 jmp 80480b1
- Занимает 2 байта, адрес после нее: 804809A
- В инструкции кодируется смещение относительно EIP: 17
- 804809a + 17 = 80480b1
- На x86 так кодируются инструкции call, jmp, jCC
- На x64 существует специальный режим адресации: RIP-relative:
  mov L1(%rip), %rax

Абсолютное кодирование

- Загрузка адреса в памяти на регистр:

```
80480a2:  b9 b5 80 04 08    mov $0x80480b5,%ecx
80480b5:  48 65 6c 6c 00    .asciz “Hell”
```

- Загрузка значения глобальной переменной в регистр
- В закодированной инструкции записывается абсолютный адрес в памяти

Загрузка программы в память

- Программа – единое целое, взаимное расположение кода внутри секций и секций друг относительно друга не изменяется
  - Смещения в относительных переходах и работе с памятью настраиваются компоновщиком и при загрузке в память не изменяются
- При компоновке фиксируется адрес, по которому программа должна размещаться в памяти, абсолютные адреса в программе настраиваются относительно него
  - ELF Linux x86 по умолчанию: 0x804800
  - Можно изменить с помощью -Wl,-Ttext-segment=ADDR

Позиционная зависимость

- Если программа неработоспособна при загрузке по адресу, отличному от прописанного в исполняемом файле – программа **позиционно зависима**
- **Позиционно-независимый код** (PIC – position independent code) – сохраняет работоспособность при загрузке с любого адреса в памяти
- Полезен:
  - В динамических библиотеках
  - Динамическая кодогенерация

Исполняемый файл (executable)

- Файл, основное содержимое (payload) которого – программа для процессора
- После загрузки в память и первоначальной настройки исполняется непосредственно процессором, не требует программы-”интерпретатора”
- Тексты программ на python, bash; .jar-файлы (байт-код java); .net MSIL – не будем считать исполняемыми файлами

Native executable files

- У каждой операционной системы свой формат исполняемых файлов:
  - Windows: PE (portable executable)
  - MacOS, iOS: Mach-O (Mach Object)
  - Unix-like (Linux, *BSD, Solaris): ELF (executable and linkable format)
- Один и тот же формат может использоваться для разных процессоров
- Исполняемый файл специфичен для пары процессор-ОС (платформа)

Portability

- Операционные системы могут поддерживать “чужие” исполняемые файлы, если хост-система работает на том же процессоре.
  - FreeBSD поддерживает возможность запуска ELF-файлов для Linux той же процессорной архитектуры
  - Wine – поддержка запуска Windows-приложений на Unix-like системах

Инструменты работы

- Binutils – набор утилит для работы с исполняемыми файлами:
  - Objdump – отобразить содержимое:
    - objdump -d FILE – дизассемблировать
    - objdump -x FILE – вывести всю служебную инфу
    - objdump -j SECTION -s FILE – вывести содержимое секции SECTION в файле FILE
  - Readelf – анализ ELF-файла
  - Nm - список “символов” (symbols, т.е. именованных сущностей) в файле
- GDB, IDA PRO, OllyDBG - отладчики

ELF

- ELF – Executable and Linkable Format
- Применяется на многих Unix-like OS (Linux, *BSD, Solaris, …)
- Для всех процессоров, на которых эти ОС работают
- Формат: объектных файлов (.o), статических библиотек (.a), динамических библиотек (.so), исполняемых файлов, дампов памяти, модулей ядра ОС (.ko)...

Структура ELF-файла

- Заголовок ELF-файла (magic bytes и структура Elf32_Ehdr)
- Таблица заголовков программы (program headers) – структура Elf32_Phdr
- Payload – содержимое файла
- Таблица заголовков секций (section headers) – структура Elf32_Shdr

(почти) минимальный ELF

- Заголовок файла – 52 байта
- 1 запись program header по 32 байта - 32
- Исполняемый код – 7
- Таблица имен секций – 17
- 3 записи секций по 40 байт – 120 байт
- Итог: 228 байт.
- Задание – получить такой ELF-файл

Program Headers

- Информация о том, как исполняемый файл должен грузиться в память
- LOAD – заданная область файла должна быть загружена в память
- LOAD требует выравнивания (align) в 0x1000 (4096 байт) – это размер страницы x86/x64 (рассмотрим далее)
- LOAD с флагами 'R E' – это сегмент кода
- LOAD с флагами 'RW' – это сегмент данных
- Записи Program Headers могут описывать накладывающиеся адреса

Section Headers

- Секция – это структурная единица в исполняемом файле
- Секции группируются в сегменты
- Типичные секции:
  - .text, .data, .bss, .rodata
  - .plt – procedure linkage table
  - .got – global offset table
  - .got.plt – global offset table for PLT

Динамическая компоновка

- Как правило (по умолчанию) программа, загружаемая на выполнение, не содержит в своем файле кода используемых библиотек
- Перед запуском программы требуется подгрузить динамические библиотеки
- Программа-загрузчик (интерпретатор) прописывается в секции .interp файла (для x86 - /lib/ld-linux.so.2)
- Операционная система загружает исполняемый файл, загружает требуемый загрузчик и запускает его
- Загрузчик выполняет подгрузку библиотек и передает управление программе

Динамические символы

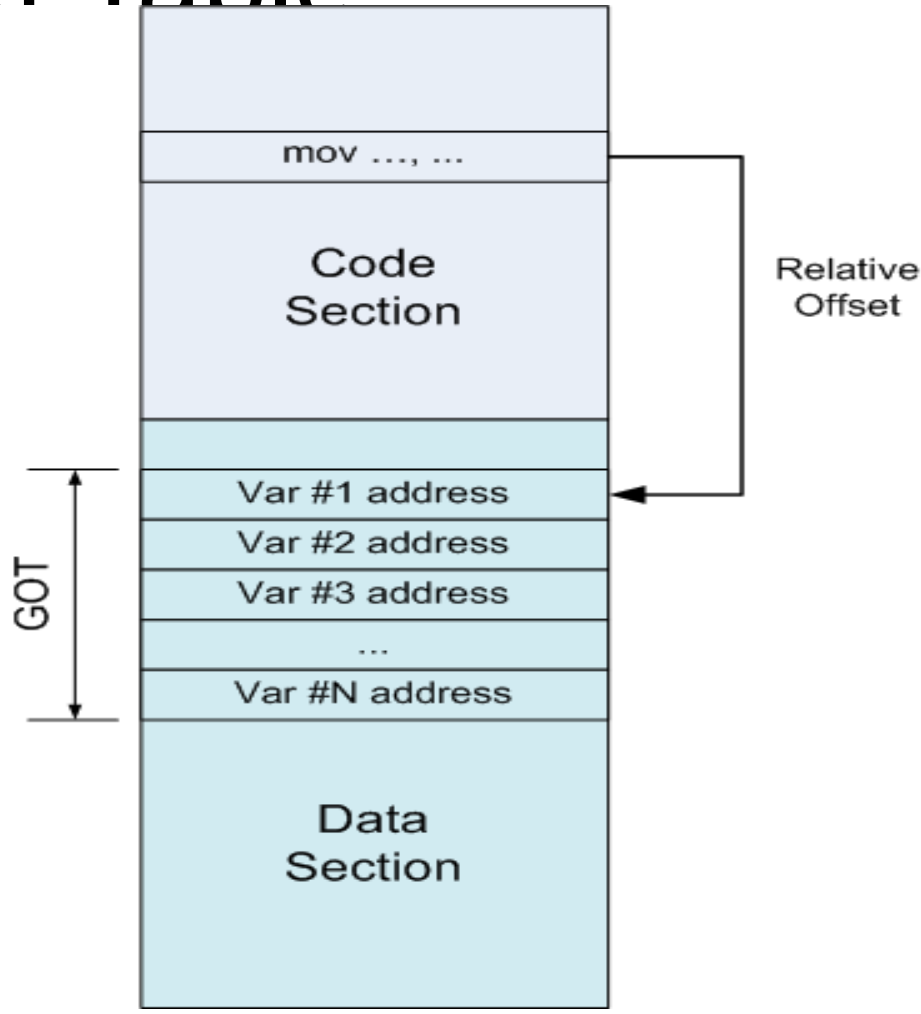
- Секция .dynsym содержит таблицу динамических символов, то есть имен, требуемых из данного файла или предоставляемых данным файлом
- Секция .rel.dyn содержит таблицу перемещений для переменных, т. е. адреса ячеек памяти, которые должны быть изменены
- Секция .rel.plt содержит таблицу перемещений для внешних функций

Global Offset Table

- Чтобы не модифицировать код программы, все перемещения находятся в специальных секциях
  - .got – для переменных
  - .got.plt – для функций
- После работы загрузчика таблица .got содержит абсолютные адреса переменных

Global Offset Table

- _GLOBAL_OFFSET_TABL
- L@GOT



Использование GOT

- _GLOBAL_OFFSET_TABLE_ - это смещение относительно **адреса текущей инструкции** до адреса GOT
- LABEL@GOT - это смещение относительно GOT до ячейки памяти, в которой хранится правильный адрес, по которому размещается LABEL

Procedure Linkage Table (PLT)

- В динамически скомпонованных программах часть GOT отводится под хранение адресов функций из динамических библиотек
- Если printf – функция из динамической библиотеки, то call printf
  заменяется на
  call printf@plt
- printf@plt - специальная функция (трамплин) для передачи управления в библиотеку

Procedure linkage table (PLT)

```
080483f0 <dynlink>:
 80483f0:       ff 35 04 a0 04 08       pushl  0x804a004
 80483f6:       ff 25 08 a0 04 08       jmp    *0x804a008
 80483fc:       00 00                   add    %al,(%eax)

08048410 <printf@plt>:
 8048410:       ff 25 10 a0 04 08  jmp   *0x804a010
 8048416:       68 08 00 00 00     push  $0x8
 804841b:       e9 d0 ff ff ff     jmp   80483f0 <dynlink>

0804a000 <_GLOBAL_OFFSET_TABLE_>:
 804a000:       14 9f 04 08        .int  0x8049f14 <_DYNAMIC>
 804a004:       00 00 00 00        .int  0
 804a008:       00 00 00 00        .int  0
 804a00c:       06 84 04 08        .int  0x8048406
 804a010:       16 84 04 08        .int  0x8048416
```

Lazy binding

- При первом вызове <printf@plt> управление попадет в динамический загрузчик. В стеке будет передано смещение на дескриптор загружаемой функции
- Динамический загрузчик запишет в GOT адрес функции printf в загруженной динамической библиотеке
- Все последующие вызовы будут передавать управление сразу на printf в динамической библиотеке

Зачем нужны трамплины

- Компилятор и ассемблер не имеют информацию, в каком режиме будет компоноваться программа
  - они всегда генерируют инструкцию CALL FUNC для вызова функции FUNC
  - Компоновщик (linker) при необходимости заменит CALL FUNC на CALL FUNC@PLT и сгенерирует трамплин FUNC@PLT
- Если в Си-коде берется адрес функции, например, &printf, то компоновщик заменяет на &printf@plt без модификации машинного кода
- Позволяют реализовывать ленивое связывание (lazy binding)

Ссылки

- http://eli.thegreenplace.net/2011/11/03/position-independent-code-pic-in-shared-libraries
- https://www.cs.stevens.edu/~jschauma/810/elf.html
- https://ejudge.ru/study/3sem/elf.html
-