# lab1 实验手册

网络与系统安全综合实验

实验截止: 2020.09.01 星期二 23:59

**概要**

欢迎来到网络与系统安全综合实验，在本课程中，我们将使用工业界主流的逆向工具 IDA 对 Linux 下的二进制程序（ELF 格式）进行逆向分析。同时根据逆向的结果找出程序中的漏洞，并且利用漏洞让程序到达非预期的运行结果。在本门课中，所有程序都基于 x86 架构在 Linux 下运行。我们强烈推荐使用虚拟机完成实验内容。

本指南为曲海鹏老师的《网络与系统安全综合实验》课程实验手册，有很多助教参与了实验的设计，编写等工作：

- 房建（2020）
- 吕文杰（2020）
- 张政（2020）
- 宋晓琪（2020）
- 李晓慧（2020）

# 1 实验介绍

## 1.1 实验概述

本次课程一共有三个 lab：

- lab1：逆向实验
- lab2：shellcode& 栈溢出实验
- lab3：格式化字符串 &ROP 实验

每周布置一个 lab，每次都会有 4-5 个题目需要完成，每个 lab 实验时间为一周。实验以个人为单位。每次 lab 都会在截至日期后的下一节课检查。

## 1.2 提交内容

每次 lab 实验需要提交 pdf 格式实验报告，实验报告需要完整反映题目解答过程和最后的答案。如果编写了对应的解题脚本，连同脚本和实验报告一同压缩为.zip 格式上交。

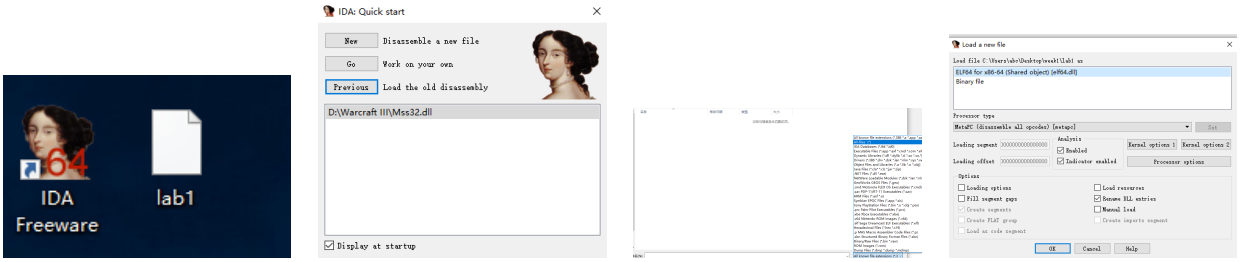
# 2 IDA 使用方法

IDA 是一个在 Windows，Linux，MacOS 上的交互式，可编程，可拓展，多处理器的反汇编程序，用于将机器码转换成可读的汇编语言。本实验将使用 IDA 进行逆向分析，你可以从 `https://www.hex-rays.com/products/ida/support/download_freeware/` 获取免费版本的 IDA。

软件安装成功后，桌面上可以看到 IDA 的图标，如图 1（a）所示，双击点击 IDA 图标（也可直接将文件拖动到图标上）。

点击 new，选择文件如图 1（b）所示。

点击左下角选择 All Files，如图 1（c）所示。之后便可以看见所要逆向的文件




(a) IDA 图标与待逆向文件　(b) IDA Quick start　(c) 文件选择　(d) 选择指令集

图 1: IDA 打开文件过程

之后选择要逆向的文件点击打开。

选择文件的指令集如图 1（d）所示，一般情况下 IDA 已默认选择好对应的架构，选择好后点击 OK 后即可进入 IDA 的主界面，如图 2 所示。

在 IDA 中，右侧为 IDA 反汇编二进制文件产生的汇编代码。左侧为 IDA 扫描文件后识别出的函数，点击不同的函数名，右侧可显示出不同函数对应的汇编代码。左下角为当前函数对应的控制流图（CFG）。关于 IDA 其他更详细的操作，可查询 IDA 文档（`https://www.hex-rays.com/products/ida/support/`）

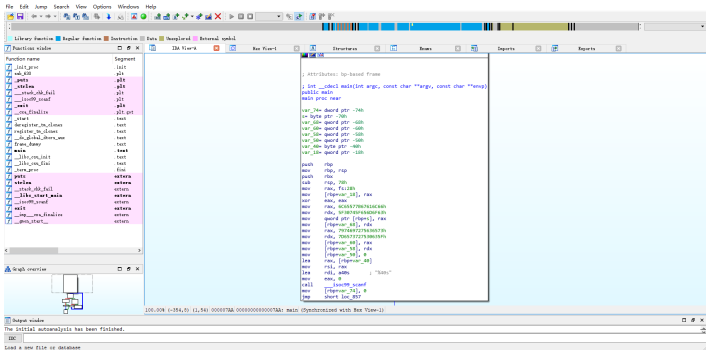


图 2: IDA 界面

# 3　gdb 使用方法

GNU 调试器（英语：GNU Debugger，缩写：GDB），是 GNU 软件系统中的标准调试器，此外 GDB 也是个具有移携性的调试器，经过移携需求的调修与重新编译，如今许多的类 UNIX 操作系统上都可以使用 GDB。

## 3.1　gdb 常用命令

在本门课中，我们将使用 gdb（建议使用 7.12.1 及其以上版本）来动态调试二进制程序。一些 gdb 的插件会让这个过程更加方便，如 peda（`https://github.com/longld/peda`）等插件。常用的 gdb 命令如表 1 所示。其他 gdb 命令可查询 gdb 文档（`https://sourceware.org/gdb/onlinedocs/gdb/`）

表 1: gdb 常用命令

| 命令 | 参数 | 含义 |
|---|---|---|
| run | | 运行当前程序 |
| break | 地址 | 在参数所表示的地址处添加断点 |
| continue | | 从当前位置继续执行，直到遇到断点停止 |
| quit | | 退出 gdb |
| attach | 进程的 pid | 使用 gdb 调试当前运行的程序 |
| n | | set over，遇到函数不进入函数内部 |
| s | | set into，遇到函数进入函数内部 |
| finish | | step out, 执行完并且退出当前函数 |
| info | registers | 显示所有寄存器 |
| info | b | 当前设置的断点 |
| del | 断点的序号 | 删除某个断点 |
| x/nfu | 地址 | 以 f 格式打印从地址处开始的 n 个长度单元为 u 的内存值。<br>f：是输出格式。x:16 进制，o:8 进制。u：标明一个单元的长度。<br>b: 一个 byte，h: 两个 byte（halfword）<br>w: 四个 byte（word），g: 八个 byte（giant word） |
| vmmap(需要 peda 插件) | | 打印调试程序的虚拟地址映射 |

### 3.2 gdb 原理技术

gdb 主要功能的实现依赖于一个系统函数 ptrace，ptrace 主要用于执行断点的设置和跟踪子进程，查看内存，单步执行等。Ptrace 调试需要两个进程，父进程可通过调用 fork 方法创建子进程，要实现对子进程的跟踪，指定要调试程序的 PTRACE_TRACEME 行为，最后初始化对一个进程进行跟踪操作。

父进程在跟踪子进程时，子进程在每次接收到信号后都会停止，等待父进程的响应。同时父进程会调用 wait 方法接受到消息。函数原型:

#include <sys/ptrace.h> long ptrace(enum ___ptrace_request request, pid_t pid, void *addr, void *data)

request：被调试程序执行的行为

pid：被调试程序的标识。

addr：被调试程序执行操作的目标地址。

data：存放待写入的数据或者要读的地址

request 的参数不同，ptrace 会执行不同的操作。如 ptrace (PTRACE_TRACEME, 0 ,0 ,0) 执行父进程跟踪子进程，ptrace(PTRACE_CONT, pid, 0, signal) 继续执行程序直到遇到断点等。通过 ptrace 系统调用，gdb 可以实现不同的调试功能。

### 3.3 实例

现在通过演示一个实验的例子来展示调试二进制程序的大体流程。

代码 1：使用 gdb 打开要调试的文件

```
$ gdb ./lab1
GNU gdb (GDB) 7.12.1
Copyright (C) 2017 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.  Type "show␣copying"
and "show␣warranty" for details.
```

```
This GDB was configured as "x86_64-pc-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...

warning: ~/Pwngdb/pwngdb.py: No such file or directory
Reading symbols from ./lab1...(no debugging symbols found)...done.
gdb-peda$
```

在打开二进制程序之后，在 main 函数处下断点，之后运行文件

代码 2: gdb 下断点

```
gdb-peda$ b * main
Breakpoint 1 at 0x400657
gdb-peda$ r
Starting program: /mnt/hgfs/learn/security_course/week1/lab1
[----------------------------------registers-----------------------------------]
RAX: 0x400657 (<main>:  push   rbp)
RBX: 0x0
RCX: 0x400750 (<__libc_csu_init>:       push   r15)
RDX: 0x7fffffffe378 --> 0x7fffffffe62d ("LC_TERMINAL_VERSION=3.3.6")
RSI: 0x7fffffffe368 --> 0x7fffffffe602 ("/mnt/hgfs/learn/security_course/week1/lab1")
RDI: 0x1
RBP: 0x400750 (<__libc_csu_init>:       push   r15)
RSP: 0x7fffffffe288 --> 0x7ffff7a05b97 (<__libc_start_main+231>:        mov    edi,
    eax)
RIP: 0x400657 (<main>:  push   rbp)
R8 : 0x7ffff7dd0d80 --> 0x0
R9 : 0x7ffff7dd0d80 --> 0x0
R10: 0x0
R11: 0x0
R12: 0x400570 (<_start>:        xor    ebp,ebp)
R13: 0x7fffffffe360 --> 0x1
R14: 0x0
R15: 0x0
EFLAGS: 0x246 (carry PARITY adjust ZERO sign trap INTERRUPT direction overflow)
[-------------------------------------code-------------------------------------]
   0x400651 <frame_dummy+1>:    mov    rbp,rsp
   0x400654 <frame_dummy+4>:    pop    rbp
   0x400655 <frame_dummy+5>:    jmp    0x4005e0 <register_tm_clones>
=> 0x400657 <main>:     push   rbp
   0x400658 <main+1>:   mov    rbp,rsp
   0x40065b <main+4>:   push   rbx
```

```
   0x40065c <main+5>:    sub     rsp,0x78
   0x400660 <main+9>:    mov     rax,QWORD PTR fs:0x28
[-------------------------------------stack-------------------------------------]
0000| 0x7fffffffe288 --> 0x7ffff7a05b97 (<__libc_start_main+231>:        mov     edi,
   eax)
0008| 0x7fffffffe290 --> 0x1
0016| 0x7fffffffe298 --> 0x7fffffffe368 --> 0x7fffffffe602 ("/mnt/hgfs/learn/
   security_course/week1/lab1")
0024| 0x7fffffffe2a0 --> 0x100008000
0032| 0x7fffffffe2a8 --> 0x400657 (<main>:       push    rbp)
0040| 0x7fffffffe2b0 --> 0x0
0048| 0x7fffffffe2b8 --> 0x50d55bbaf0a02160
0056| 0x7fffffffe2c0 --> 0x400570 (<_start>:     xor     ebp,ebp)
[-----------------------------------------------------------------------------]
Legend: code, data, rodata, value

Breakpoint 1, 0x0000000000400657 in main ()
gdb-peda$
```

使用 n 命令运行每一条汇编指令，可以看见每一条指令运行后寄存器和栈的变化。可以通过内存打印指令打印出不同内存的内容。这里使用 x/30xg 打印出内存中对应地址中的值。

代码 3: gdb 打印内存

```
gdb-peda$ x/30xg 0x7fffffffe210
0x7fffffffe210: 0x6c65577b67616c66      0x5f30745f656d6f63
0x7fffffffe220: 0x7974697275636573      0x7d6573727530635f
0x7fffffffe230: 0x0000000000000000      0x0000000000f0b5ff
0x7fffffffe240: 0x0000000000666473      0x000000000040079d
0x7fffffffe250: 0x00007ffff7de59a0      0x0000000000000000
0x7fffffffe260: 0x0000000000400750      0x488a3f7dd9bd1f00
0x7fffffffe270: 0x00007fffffffe360      0x0000000000000000
0x7fffffffe280: 0x0000000000400750      0x00007ffff7a05b97
0x7fffffffe290: 0x0000000000000001      0x00007fffffffe368
0x7fffffffe2a0: 0x0000000100008000      0x0000000000400657
0x7fffffffe2b0: 0x0000000000000000      0x50d55bbaf0a02160
0x7fffffffe2c0: 0x0000000000400570      0x00007fffffffe360
0x7fffffffe2d0: 0x0000000000000000      0x0000000000000000
0x7fffffffe2e0: 0xaf2aa4c53b202160      0xaf2ab47a489e2160
0x7fffffffe2f0: 0x00007fff00000000      0x0000000000000000
```

使用 continue 命令，由于后续没有断点，程序将会一直运行直到结束。

代码 4: 运行结束

```
gdb-peda$ c
Continuing.
error flag
[Inferior 1 (process 14182) exited normally]
Warning: not running
```

```
gdb-peda$
```

### 3.4 远程调试与交叉编译

本地调试是指在 Linux 系统中写代码，在 Linux 中编译，然后在 Linux 中调试运行。而远程调试则是在 Windows 或其他系统编写代码，然后将代码上传 Linux 服务器编译链接和运行。调试运行在 Linux，而调试的动作发生在 Windows 或其他系统中。Linux 系统里的调试需要一个调试工具来将调试信息传递出来，也就是 gdb-gdbserver，而客户端将调试动作和结果显示在本机，就好像是在本机调试一样。

在一种计算机环境中运行的编译程序，能编译出在另外一种环境下运行的代码，我们就称这种编译器支持交叉编译。这个编译过程就叫交叉编译。

当我们使用 gdb 的远程调试模式时，在目标板上通过 gdbserver 运行待调试的程序，在宿主机上运行 gdb 并通过'target remote [ip]:[port]' 来连接到目标板上的 gdbserver，从而启动远程调试。各种调试命令在宿主机上输入，程序执行效果 (包括打印) 在目标板上展示

### 3.5 符号表

在整个编译过程中，编译器把 c 语言的源文件（.c）编译成汇编语言文件（.s），汇编器把汇编文件翻译成目标文件（.o），最后链接器将所有目标文件和有关的库连接成一个可执行文件（.out）。

调试信息存储的是程序在运行时方方面面的信息，如我们设置的断点信息，调试信息就会判断当进程运行到断点处暂停。我们可以通过 gcc -g 命令来获得调试信息，在编译的时候，变量名、函数名、函数参数、函数地址等信息作为调试信息会被加载到调试信息里面，经过汇编和链接，最终得到可执行文件。调试信息通常用 “.stab” 表示，这种调试信息格式叫 “stab”，及符号表（symbol table）。stabs 调试信息在汇编代码级主要表现为四种伪指令格式.stabs、.stabn、.stabd 和.stabx。.stabs 格式主要包括源文件的文件名、函数变量等信息，还包括所使用的编程语言等，.stabn 则反映程序有关结构的信息，如程序块的结构信息等等。如.stabs 格式.stabs ” string”，type，other，desc，value，type 字段的值是一个整数值，这个值表示该指令是否为一个 stab 信息。

### 3.6 peda

PEDA 是为 GDB 设计的一个强大的插件，全称是 Python Exploit Development Assistance for GDB。它提供了很多人性化的功能，比如高亮显示反汇编代码、寄存器、内存信息，提高了 debug 的效率。同时，PEDA 还为 GDB 添加了一些实用新的命令，如表 2 所示。

表 2: peda 常用命令

| 命令 | 含义 |
|---|---|
| aslr | 显示/设置 GDB 的 ASLR 设置 |
| checksec | 检查二进制文件的各种安全选项 |
| dumpargs | 在呼叫指令处停止时显示传递给函数的参数 |
| dumprop | 将特定内存范围内的所有 ROP 小工具转储 |
| elfheader | 从被调试的 ELF 文件中获取标题信息 |
| elfsymbol | 从 ELF 文件获取非调试符号信息 |
| readelf | 获取 elf 头信息 |
| shellcode | 生成 shellcode |
| vmmap | 可以用来查看栈、bss 段是否可以执行 |

### 3.7 gdbinit

当我们在使用 gdb 进行调试时，会有一些重复的指令需要进行，每次都重复输入这些指令比较繁琐，我们可以将这些操作写成一个脚本，这个脚本就是我们要说的 gdbinit。

gdb 在启动的时候，会在当前目录下查找".gdbinit" 这个文件，并把它的内容作为 gdb 命令进行解释，所以如果我们把脚本命名为".gdbinit"，这样在启动的时候就会处理这些命令。如我们要写一个脚本来设置一些断点：

代码 5：gdbinit 脚本编写

```
#filename: .gdbinit
#gdb will read it when starting
b main
b func1
r
```

# 4 VIM 使用

Vim 是从 vi 发展出来的一个文本编辑器，具有代码补完、编译、错误跳转等方面编程的功能。新用户可以通过阅读帮助文档熟悉 vim：终端输入 vim，回车，然后:help 进入文档。

Vim 具有多种模式，基本上可分为：普通模式/插入模式/命令行模式/可视模式

普通模式：Vim 启动后的默认模式。该状态下键盘输入会被识别为命令，普通模式命令往往需要一个操作符结尾。

表 3: 普通模式下常见命令

| 命令 | 含义 |
|---|---|
| h,j,k,l | 分别用于光标左移、下移、上移、右移一个字符 |
| Ctrl+b | 向前翻页 |
| Ctrl+f | 向后翻页 |
| H | 将光标移到当前屏幕首行的行首（即左上角） |
| nH | 将光标移到当前屏幕第 n 行的行首 |
| O | 移动至光标所在行的行首 |
| $ | 移动至光标所在行的行尾 |
| rc | 用字符 c 替换光标所指向的第一个字符（非空格） |
| nrc | 用字符 c 替换光标所指向的前 n 个字符（非空格） |
| x | 删除光标处的字符 |
| nx | 删除光标位置开始向右的 n 个字符 |
| dw | 删除一个 word |
| dnw | 删除 n 个 word |
| dfa | 删除当前光标处到下一个字符 a 处（fa 定位光标到 a 位置） |
| dd | 删除光标所在行 |
| ndd | 删除光标所在行及其后的 n-1 行 |
| yy | 复制当前行到缓冲区 |
| nyy | 复制当前行开始的 n 行到缓冲区 |
| yw | 复制一个 word，还有 ynw |
| yfa | 复制光标处到下一个 a 的字符处, 还有 ynfa |
| p | 将缓冲区内容写入到光标处 |
| U | 撤销操作 |
| CTRL+r | 恢复撤销操作 |
| ZZ | 保存退出 |
| ZQ | 不保存退出 |

由普通模式进入插入模式可以按 “a” (append) 或 “i” (insert) 键。插入模式：该模式下，键盘按键用于向缓冲区插

入文本。由插入模式返回普通模式可以按 ESC 键。命令行模式：在命令行模式中可以输入会被解释成并执行的文本。如执行命令（":" 键），搜索（"/" 和"?" 键）或者过滤命令（"!" 键）。在命令执行之后，Vim 返回到命令行模式之前的模式，通常是普通模式。

表 4: 命令行模式下常见命令

| 命令 | 含义 |
|---|---|
| :q | quit |
| :wq | 保存退出 |
| :q! | 不保存退出 |
| :w | 保存当前更改 |
| :w! | 强制保存 |
| :w file | 将当前内容写入 file 文件 |
| :n1 n2wfile | 将自 n1 至 n2 行的内容写入 file 文件 |
| :r file | 打开另一个文件 file |
| :e file | 新建 file 文件 |
| :f file | 把当前文件命名为 file |
| :set nu | 显示行号 |
| :set nonu | 隐藏行号 |
| :n | 定位到第 n 行 |
| :n1,n2d | 删除多行文本 |
| /string | 关键字查找 |
| :s/aaaa/bbbb/g | 把当前行的 aaaa 替换为 bbbb |
| :%s/aaaa/bbbb/g | 把全文的 aaaa 替换为 bbbb |
| :n1,n2s/aaaa/bbbb/g | 把 n1 到 n2 行的 aaaa 替换为 bbbb |

可视模式这个模式与普通模式比较相似。但是移动命令会扩大高亮的文本区域。高亮区域可以是字符、行或者是一块文本。当执行一个非移动命令 (d 删除/y 复制/p 粘贴……) 时，命令会被执行到选中区域上。v 字符可视化：按下键盘上的 v 以后，屏幕底部有 VISUAl 的提示，操作 h,j,k,l 就选中文本，继续按 v 退出可视化模式。V 行可视化：按下键盘上的 V 以后，屏幕底部有 VISUAL LINE 的提示，操作 j,k 可以向上或者向下以行为单位选中文本，继续按下 V 退出可视化模式。Ctrl+v 块状可视化：按下键盘上的 Ctrl+v 以后，屏幕底部有提示 VISUALBLOCK ，可以通过 h,j,k,l 块状的操作选择区域，继续按下 Ctrl+v 会退出可视化模式。vim 打开文件举例：

打开文件（一个/多个）

```
vim file0 :打开文件file0
Vim file1 file2 :打开文件file1 file2
:ls 列出当前打开的所有文件
:bn 显示第n个文件
当然也可以分屏显示多个文件:
vim –On file1 file2 ... filen
这里的 n（n 是要打开的具体文件的数目：1,2,3 ...）是代表有几个文件需要分屏，从左至右依次显示
Ctrl + w c :关闭当前的分屏
Ctrl + w q :关闭当前的分屏，如果是最后一个分屏将会退出 VIM 。
```

# 5 实验环境搭建

本门课程配备基础 Linux 虚拟机(需要按照以下方式进行环境搭建)https://pan.baidu.com/s/1eu5PFNjvWlhUFy_a41BknQ 提取码：ndnj

下载后解压.zip 文件后，在虚拟机软件中点击左上方文件–> 打开–> 选择解压后的文件即可。在打开虚拟机后，会提示“我已复制/移动该虚拟机”的选项狂，选择“我已移动该虚拟机”即可。

本实验中会有 32 位和 64 位的程序，如果你使用的虚拟机是 64 位需要额外配置 32 位运行环境

代码 6：32 位环境搭建

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install libc6:i386
```

pwntools 安装（python3 版本）

代码 7：pwntools 安装

```
sudo apt-get install python3 python3-pip python3-dev git libssl-dev libffi-dev build-
    essential
sudo pip3 install pwntools
```

peda 插件安装

代码 8：peda 插件安装

```
git clone https://github.com/longld/peda.git ~/peda
echo "source␣~/peda/peda.py" >> ~/.gdbinit
```

# 6 实验内容

lab1 包含 4 个题目，需要对 4 个程序进行逆向。逆向结果为一个 flag 开头的可见字符串，正则形式为：flag{[0-9a-zA-Z]+}。

其中 lab1-1 是简单的逆向入门用于熟悉软件和环境，lab1-2 和 lab1-3 涉及到数学计算，需要通过基本的数学运算性质进行逆计算得出 flag，lab1-4 需要对原有的二进制进行一些修改，之后才能进行正常的输入输出。

每个程序在输入正确的 flag 后会显示 good，如果 flag 不正确将会输出 error flag。

代码 9：验证逆向结果

```
$ ./lab1-1
123
error flag
$ ./lab1-1
flag{XXXXXXXXXXXXX}
good!
$
```