

哈爾濱工業大學

实验报告

实 验（五）

题 目 LinkLab

链接

专 业 计算机

学 号 1173000825

班 级 1703008

学 生 李大鑫

指 导 教 师 郑贵滨

实 验 地 点

实 验 日 期

计算机科学与技术学院

目 录

第 1 章 实验基本信息	- 3 -
1.1 实验目的.....	- 3 -
1.2 实验环境与工具.....	- 3 -
1.2.1 硬件环境.....	- 3 -
1.2.2 软件环境.....	- 3 -
1.2.3 开发工具.....	- 3 -
1.3 实验预习.....	- 3 -
第 2 章 实验预习	- 5 -
2.1 请按顺序写出 ELF 格式的可执行目标文件的各类信息（5 分）	- 5 -
2.2 请按照内存地址从低到高的顺序，写出 LINUX 下 X64 内存映像。（5 分）	- 5 -
2.3 请运行“LINKADDRESS -U 学号 姓名”按地址循序写出各符号的地址、空间。 并按照 LINUX 下 X64 内存映像标出其所属各区。	- 6 -
（5 分）	- 6 -
2.4 请按顺序写出 LINKADDRESS 从开始执行到 MAIN 前/后执行的子程序的名字。 (GCC 与 OBJDUMP/GDB/EDB)（5 分）	- 8 -
第 3 章 各阶段的原理与方法	- 10 -
3.1 阶段 1 的分析.....	- 10 -
3.2 阶段 2 的分析	- 11 -
3.3 阶段 3 的分析	- 16 -
3.4 阶段 4 的分析	- 17 -
3.5 阶段 5 的分析	- 22 -
第 4 章 总结	- 30 -
4.1 请总结本次实验的收获.....	- 30 -
4.2 请给出对本次实验内容的建议.....	- 30 -
参考文献	错误!未定义书签。

第 1 章 实验基本信息

1.1 实验目的

- 理解链接的作用与工作步骤
- 掌握 ELF 结构、符号解析与重定位的工作过程
- 熟练使用 Linux 工具完成 ELF 分析与修改

1.2 实验环境与工具

1.2.1 硬件环境

- X64 CPU; 2GHz; 2G RAM; 256GHD Disk 以上

1.2.2 软件环境

- Windows7 64 位以上; VirtualBox/Vmware 11 以上; Ubuntu 16.04 LTS 64 位/优麒麟 64 位;

1.2.3 开发工具

- Visual Studio 2010 64 位以上; GDB/OBJDUMP; DDD/EDB 等

1.3 实验预习

- 上实验课前，必须认真预习实验指导书（PPT 或 PDF）
- 了解实验的目的、实验环境与软硬件工具、实验操作步骤，复习与实验有关的理论知识。
- 请按顺序写出 ELF 格式的可执行目标文件的各类信息。

- 请按照内存地址从低到高的顺序，写出 Linux 下 X64 内存映像。
- 请运行“**LinkAddress -u** 学号 姓名”按地址顺序写出各符号的地址、空间。并按照 Linux 下 X64 内存映像标出其所属各区。
- 请按顺序写出 **LinkAddress** 从开始执行到 **main** 前/后执行的子程序的名字。(gcc 与 objdump/GDB/EDB)

第 2 章 实验预习

2.1 请按顺序写出 ELF 格式的可执行目标文件的各类信息 (5 分)

ELF 头
段头部表
.init
.text
.rodata
.data
.bss
.symtab
.debug
.line
.strtab
节头部表

2.2 请按照内存地址从低到高的顺序, 写出 Linux 下 X64 内存映像。
(5 分)

内核内存
用户栈 (运行时 创建)
(栈-向下)
·
·
·
(映射区域-向上)
共享库的内存映射区域
·
·
·
(堆-向上)
运行时堆 (由 malloc 创建)

读/写段 (.data,.bss)
只读代码段 (.init,.text,.rodata)
.
.
.

2.3 请运行“LinkAddress -u 学号 姓名” 按地址循序写出各符号的地址、空间。并按照 Linux 下 X64 内存映像标出其所属各区。

(5 分)

所属	符号、地址、空间（从小到大）
0 (NULL)	p5 (nil) 0
读/写段 (.data,.bss)	show_pointer 0x55890bd0681a 94047097088026 useless 0x55890bd0684d 94047097088077 main 0x55890bd06858 94047097088088 global 0x55890bf0802c 94047099191340 huge array 0x55890bf08040 94047099191360 big array 0x55894bf08040 94048172933184 p2 0x55894ead4670 94048218859120
运行时堆	p1 0x7f442c23c010 139930775044112 p3 0x7f443c819010 139931049627664 p4 0x7f43ec23b010 139929701298192 ----- exit 0x7f443c280120 139931043758368 printf 0x7f443c2a1e80 139931043896960 malloc 0x7f443c2d4070 139931044102256 free 0x7f443c2d4950 139931044104528
用户栈 (运行时创建)	argc 0x7ffebe3ealac 140732090196396 local 0x7ffebe3ealb0 140732090196400 argv 0x7ffebe3ea2d8 140732090196696 argv[0] 7ffebe3ec231 argv[1] 7ffebe3ec23f argv[2] 7ffebe3ec242 argv[3] 7ffebe3ec24d argv[0] 0x7ffebe3ec231 140732090204721 ./linkaddress argv[1] 0x7ffebe3ec23f 140732090204735 -u argv[2] 0x7ffebe3ec242 140732090204738 1170300825 argv[3] 0x7ffebe3ec24d 140732090204749 李大鑫 ----- env 0x7ffebe3ea300 140732090196736

计算机系统实验报告

env[0]	*env 0x7ffebe3ec257	140732090204759
CLUTTER_IM_MODULE=xim		
env[1]	*env 0x7ffebe3ec26d	140732090204781
LS_COLORS=rs=0:d...		
env[2]	*env 0x7ffebe3ec859	140732090206297
LC_MEASUREMENT=zh_CN.UTF-8		
env[3]	*env 0x7ffebe3ec874	140732090206324
LESSCLOSE=/usr/bin/lesspipe %s %s		
env[4]	*env 0x7ffebe3ec896	140732090206358
LC_PAPER=zh_CN.UTF-8		
env[5]	*env 0x7ffebe3ec8ab	140732090206379
LC_MONETARY=zh_CN.UTF-8		
env[6]	*env 0x7ffebe3ec8c3	140732090206403
XDG_MENU_PREFIX=gnome-		
env[7]	*env 0x7ffebe3ec8da	140732090206426
LANG=en_US.UTF-8		
env[8]	*env 0x7ffebe3ec8eb	140732090206443
MANAGERPID=1211		
env[9]	*env 0x7ffebe3ec8fb	140732090206459
DISPLAY=:0		
env[10]	*env 0x7ffebe3ec906	140732090206470
INVOCATION_ID=62acd4e0ef664dabbcc8a0be8a64da03		
env[11]	*env 0x7ffebe3ec935	140732090206517
GNOME_SHELL_SESSION_MODE=ubuntu		
env[12]	*env 0x7ffebe3ec955	140732090206549
COLORTERM=truecolor		
env[13]	*env 0x7ffebe3ec969	140732090206569
USERNAME=linda		
env[14]	*env 0x7ffebe3ec978	140732090206584
XDG_VTNR=2		
env[15]	*env 0x7ffebe3ec983	140732090206595
SSH_AUTH_SOCK=/run/user/1000/keyring/ssh		
env[16]	*env 0x7ffebe3ec9ac	140732090206636
LC_NAME=zh_CN.UTF-8		
env[17]	*env 0x7ffebe3ec9c0	140732090206656
XDG_SESSION_ID=2		
env[18]	*env 0x7ffebe3ec9d1	140732090206673
USER=linda		
env[19]	*env 0x7ffebe3ec9dc	140732090206684
DESKTOP_SESSION=ubuntu		
env[20]	*env 0x7ffebe3ec9f3	140732090206707
QT4_IM_MODULE=xim		
env[21]	*env 0x7ffebe3eca05	140732090206725
TEXTDOMAINDIR=/usr/share/locale/		
env[22]	*env 0x7ffebe3eca26	140732090206758
GNOME_TERMINAL_SCREEN=/org/gnome/Terminal/screen/4ff065af_522e_4d38_a63f_4b7bf92d7661		
env[23]	*env 0x7ffebe3eca7c	140732090206844
PWD=/home/linda/Desktop/VmShare		
env[24]	*env 0x7ffebe3eca9c	140732090206876
HOME=/home/linda		
env[25]	*env 0x7ffebe3ecaad	140732090206893
JOURNAL_STREAM=9:41219		
env[26]	*env 0x7ffebe3ecac4	140732090206916
TEXTDOMAIN=im-config		
env[27]	*env 0x7ffebe3ecad9	140732090206937
SSH_AGENT_PID=1324		
env[28]	*env 0x7ffebe3ecaec	140732090206956
QT_ACCESSIBILITY=1		
env[29]	*env 0x7ffebe3ecaff	140732090206975
XDG_SESSION_TYPE=x11		
env[30]	*env 0x7ffebe3ecb14	140732090206996
XDG_DATA_DIRS=/usr/share/ubuntu:/usr/local/share:/usr/share:/var/lib/snapd/desktop		
env[31]	*env 0x7ffebe3ecb67	140732090207079
XDG_SESSION_DESKTOP=ubuntu		
env[32]	*env 0x7ffebe3ecb82	140732090207106
LC_ADDRESS=zh_CN.UTF-8		
env[33]	*env 0x7ffebe3ecb99	140732090207129
DBUS_STARTER_ADDRESS=unix:path=/run/user/1000/bus,guid=e141dac1ecb888eea4b95b85bf7478c		
env[34]	*env 0x7ffebe3ecbf1	140732090207217
LC_NUMERIC=zh_CN.UTF-8		
env[35]	*env 0x7ffebe3ecc08	140732090207240
GTK_MODULES=gail:atk-bridge		
env[36]	*env 0x7ffebe3ecc24	140732090207268
PAPERSIZE=a4		
env[37]	*env 0x7ffebe3ecc31	140732090207281
WINDOWPATH=2		
env[38]	*env 0x7ffebe3ecc3e	140732090207294
TERM=xterm-256color		
env[39]	*env 0x7ffebe3ecc52	140732090207314
VTE_VERSION=5202		
env[40]	*env 0x7ffebe3ecc63	140732090207331
SHELL=/bin/bash		
env[41]	*env 0x7ffebe3ecc73	140732090207347
QT_IM_MODULE=ibus		
env[42]	*env 0x7ffebe3ecc85	140732090207365
XMODIFIERS=@im=ibus		
env[43]	*env 0x7ffebe3ecc99	140732090207385
IM_CONFIG_PHASE=2		

	<pre> env[44] *env 0x7ffebe3eccab 140732090207403 DBUS_STARTER_BUS_TYPE=session env[45] *env 0x7ffebe3ecc9 140732090207433 XDG_CURRENT_DESKTOP=ubuntu:GNOME env[46] *env 0x7ffebe3eccea 140732090207466 GPG_AGENT_INFO=/run/user/1000/gnupg/S.gpg-agent:0:1 env[47] *env 0x7ffebe3ecd1e 140732090207518 GNOME_TERMINAL_SERVICE=:1.72 env[48] *env 0x7ffebe3ecd3b 140732090207547 SHLVL=1 env[49] *env 0x7ffebe3ecd43 140732090207555 XDG_SEAT=seat0 env[50] *env 0x7ffebe3ecd52 140732090207570 LANGUAGE=en_US env[51] *env 0x7ffebe3ecd61 140732090207585 LC_TELEPHONE=zh_CN.UTF-8 env[52] *env 0x7ffebe3ecd7a 140732090207610 GDMSESSION=ubuntu env[53] *env 0x7ffebe3ecd8c 140732090207628 GNOME_DESKTOP_SESSION_ID=this-is-deprecated env[54] *env 0x7ffebe3ecdb8 140732090207672 LOGNAME=linda env[55] *env 0x7ffebe3ecdc6 140732090207686 DBUS_SESSION_BUS_ADDRESS=unix:path=/run/user/1000/bus,guid=e141dacblecb888eea4b95b85bf7478c env[56] *env 0x7ffebe3ece22 140732090207778 XDG_RUNTIME_DIR=/run/user/1000 env[57] *env 0x7ffebe3ece41 140732090207809 XAUTHORITY=/run/user/1000/gdm/Xauthority env[58] *env 0x7ffebe3ece6a 140732090207850 XDG_CONFIG_DIRS=/etc/xdg/xdg-ubuntu:/etc/xdg env[59] *env 0x7ffebe3ece97 140732090207895 PATH=/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/usr/games:/usr/local/games:/snap/bin env[60] *env 0x7ffebe3ecf00 140732090207999 LC_IDENTIFICATION=zh_CN.UTF-8 env[61] *env 0x7ffebe3ecf1d 140732090208029 PS1=[\033[0;32m\]\u:\W>[\033[0m\] env[62] *env 0x7ffebe3ecf41 140732090208065 SESSION_MANAGER=local/ubuntu:@/tmp/.ICE-unix/1240,unix/ubuntu:/tmp/.ICE-unix/1240 env[63] *env 0x7ffebe3ecf93 140732090208147 LESSOPEN=| /usr/bin/lesspipe %s env[64] *env 0x7ffebe3ecfb3 140732090208179 GTK_IM_MODULE=ibus env[65] *env 0x7ffebe3ecfc6 140732090208198 LC_TIME=zh_CN.UTF-8 env[66] *env 0x7ffebe3ecfda 140732090208218 _=./linkaddress </pre>
--	---

2. 4 请按顺序写出 LinkAddress 从开始执行到 main 前/后执行的子程序的名字。(gcc 与 objdump/GDB/EDB) (5 分)

时间段	程序
Main 函数执行前	Ld-2.27.so!_dl_start Ld-2.27.so!_dl_init Libc-2.27.so!_cxa_atexit Linkaddress!_init Linkaddress!_register_tm_clones Libc-2.27.so!_setjmp Libc2.27.so!__sigsetjmp Libc2.27.so!__sigjmpsave
Main 函数执行之后	Linkaddress!puts@plt Linkaddress!useless@plt Linkaddress!showpointer@plt

	malloc Linkaddress!.plt Libc-2.27.so!exit
--	---

第 3 章 各阶段的原理与方法

每阶段 40 分，phasex.o 20 分，分析 20 分，总分不超过 80 分

(请先移步阅读)

[* edb 操作基础知识](#)

[* readelf 使用](#)

[* 在 EditHex 中定位节 Section](#)

3.1 阶段 1 的分析

程序运行结果截图：

```
linda:linklab-1170300825>gcc -m32 -o linkbomb main.o phase
l.o
linda:linklab-1170300825>ls
linkbomb      main.o      phase1.o    phase3.o    phase5.o
linkbomb.txt  main.txt   phase2.o    phase4.o
linda:linklab-1170300825>./linkbomb
1170300825
```

分析与设计的过程：

首先

直接将 main.o 编译，得到 linkbomb，运行之后屏幕显示：

```
linda:linklab-1170300825>gcc -m32 -o linkbomb main.o
linda:linklab-1170300825>./linkbomb
Welcome to this small lab of linking. To begin lab, please
link the relevant object module(s) with the main module.
```

通过查看 main 的反汇编可以得出 main 函数的主要逻辑：判断 phase 是否为空，如果为空则打印上述输出字符串，如果不为空则调用 phase 函数。

尝试将 main.o 与 phase1.o 进行链接，运行 linkbomb 后屏幕输出为：

```
linda:linklab-1170300825>./linkbomb
GZxx05hnLEAFo5Pi5dNf5usR2cLZoMCi1WinGvJ 9UnW7tRuAFnqroXx
02nluanC6 axfj86v1K0XkmnXXE75APVs tVDg GiehghRaNI
```

可以看到这是一串没有什么特殊意义字符串。我们的目标就是将该字符串的前部替换为我们的学号，最终使屏幕输出我们的学号。

分析一下

`printf("%s\n",s)`输出函数最终会被优化为 `puts(s)`，`s` 为字符串常数因此被保存在 `.data` 节数据段中。因此我们只需要在 `phase1` 中查找到相应的字符串更改为学号就行了

更改代码

利用 HexEdit 打开 `phase1` (HexEdit 可以直接看到字符串的内容，简化了定位的操作)，将学号“1170300825\0”填入到指定位置，如下截图：

	001	0203	0405	0607	0809	0A0B	0C0D	0E0F	0123456789ABCDEF
0x000	F45	4C46	0101	0100	0000	0000	0000	0000	ELF.....
0x010	0100	0300	0100	0000	0000	0000	0000	0000	.....
0x020	B803	0000	0000	0000	3400	0000	0000	2800	?.....4.....(.
0x030	1000	0F00	0100	0000	0800	0000	5383	EC14	.....S??.
0x040	E8FC	FFFF	FF91	C302	0000	008D	8346	0000	?? ??....??F..
0x050	0050	E8FC	FFFF	FF83	C418	5BC3	0000	0000	.P?? ??.[?....
0x060	3275	5846	314F	094B	356A	6B41	4149	4E30	2uXF10.K5jkAAIN0
0x070	6858	4C66	3175	3356	4443	6343	4F59	4672	hXLf1u3VDCcCOYFr
0x080	484E	5256	3461	5133	6274	6549	6665	3052	HNRV4aQ3bteIfe0R
0x090	4D6B	5A42	5A46	4569	5351	384C	6F34	6B4F	MkZBZFEiSQ8Lo4k0
0x0A0	4376	394A	4433	3131	3730	3330	3038	3235	Cv9JD31170300825
0x0B0	0000	6F35	5069	3564	4E66	3575	7352	3263	.o5Pi5dNf5usR2c
0x0C0	4C5A	6F4D	4369	3157	696E	4776	4A20	3955	LZoMCilWinGvJ 9U
0x0D0	6E57	3774	5275	4146	6E71	726F	5878	3032	nW7tRuAFnqroXx02
0x0E0	6E6C	7561	6E43	3620	6178	666A	3836	7631	nluanC6 axfj86v1
0x0F0	4B30	586B	6D6E	5858	4537	3541	5056	7320	K0XkmnXXE75APVs
0x100	7456	4467	0947	6965	6867	6852	614E	4900	tVDg.GiehghRaNI.
0x110	0000	0000	8B1C	24C3	0047	4343	3A20	2855	....?.G.CC: (U
0x120	6275	6E74	7520	372E	332E	302D	3136	7562	buntu 7.3.0-16ub
0x130	756E	7475	3329	2037	2E33	2E30	0000	0000	untu3) 7.3.0....
0x140	1400	0000	0000	0000	017A	5200	017C	0801	.....zR..|..
0x150	1B0C	0404	8801	0000	2000	0000	1C00	0000?....
0x160	0000	0000	2000	0000	0041	0E08	8302	430E	....A...?..C.
0x170	1C52	0E20	480E	0841	C30E	0400	1000	0000	.R. H..A?.....
0x180	4000	0000	0000	0000	0400	0000	0000	0000	@.....

\0 是全 0 的一个字节。

3.2 阶段 2 的分析

程序运行结果截图：

```
linda:linklab-1170300825>gcc -m32 -o linkbomb2 main.o phase2.o
linda:linklab-1170300825>./linkbomb2
1170300825
```

分析与设计的过程：

分析 ELF 文件结构

如下：

ELF 头
段头部表
.init
.text
.rodata
.data
.bss
.symtab
.debug
.line
.strtab
节头部表

do_phase 函数结构如下：

```
static void OUTPUT_FUNC_NAME( const char *id ) // 该函数名对每名学生均不同
{
    if( strcmp(id,MYID) != 0 ) return;
    printf("%s\n", id);
}
void do_phase() {
    // 在代码节中预留存储位置供学生插入完成功能的必要指令
    asm( "nop\n\tnop\n\tnop\n\tnop\n\tnop\n\tnop\n\tnop\n\tnop\n\t..." );
}
```

代码分析

对 ELF 文件的 Section 部分进行解析

```
objdump -s -d phase2.o > phase2.txt
```

在.text 节中找到指定的输出函数位置（注意，puts，strcmp 等函数是要在链接重定向完成之后才能确定地址，在反汇编代码中显示出来，对应命令：gcc -m32 -o linkbomb2 main.o phase2.o ， objdump -s -d linkbomb2 > linkbomb2.txt）：

```

000005a8 <SBavgzZu>:
5a8: 55          push    %ebp
5a9: 89 e5       mov     %esp,%ebp
5ab: 53          push    %ebx
5ac: 83 ec 04    sub     $0x4,%esp
5af: e8 ac fe ff call    460'<x86.get_pc_thunk.
5b4: 81 c3 20 1a 00 00 add     $0x1a20,%ebx
5ba: 83 ec 08    sub     $0x8,%esp
5bd: 8d 83 40 e7 ff ff lea     -0x18c0(%ebx),%eax
5c3: 50          push    %eax
5c4: ff 75 08    pushl   0x8(%ebp)
5c7: e8 14 fe ff ff call    3e0 <strcmp@plt>
5cc: 83 c4 10    add     $0x10,%esp
5cf: 85 c0       test    %eax,%eax
5d1: 75 10       jne     5e3 <SBavgzZu+0x3b>
5d3: 83 ec 0c    sub     $0xc,%esp
5d6: ff 75 08    pushl   0x8(%ebp)
5d9: e8 12 fe ff ff call    3f0 <puts@plt>
5de: 83 c4 10    add     $0x10,%esp
5e1: eb 01       jmp     5e4 <SBavgzZu+0x3c>
5e3: 90          nop
5e4: 8b 5d fc    mov     -0x4(%ebp),%ebx
5e7: c9          leave
5e8: c3         ret

```

通过 edb 在代码中定位 strcmp 函数的位置，发现此时 eax 指向学号的字符串，在执行 strcmp 之前向栈中压入了两个参数，显然一个是 MYID 一个则是函数传入的参数，因此我们目标就是在 do_phase 的 nop 中写入执行压栈和相对位置跳转 (call) 到输出函数 SBavgzZu 的逻辑，我们需要压栈的值是 MYID 的地址。同时因为这里的 MYID 地址是变化的，我们是无法直接获得压栈的地址值的。

```

5656:25b4 81 c3 20 1a 00 00 addl $0x1a20,%ebx
5656:25ba 83 ec 08    subl $8,%esp
5656:25bd 8d 83 40 e7 ff ff leal -0x18c0(%ebx),%eax
5656:25c0 50          push    %eax
5656:25c4 ff 75 08    pushl   8(%ebp)
5656:25c7 e8 14 fe ff ff call    linkbomb2!strcmp@plt
5656:25cc 83 c4 10    addl $0x10,%esp
5656:25cf 85 c0       test    %eax,%eax
5656:25d1 75 10       jne     0x565625e3
5656:25d3 83 ec 0c    subl $0xc,%esp

```

Registers window shows: EAX: 56562714, ECX: ffb31960, EDI: ffb31984, EBP: ffb319d4, ESP: ffb31920, ESI: ffb31930, EDI: 00000000, EIP: 565625c3 <linkbomb2!SBavgzZu+27>

解决问题

这个实现方案更好一些。[其实吧](#)

- 如何进行相对位置调用: 在汇编指令中 call 指令就是根据 PC 与跳转目标指令的相对差来进行修改 PC 值从而完成跳转的，注意，这里的 PC 值指的是 call 这一条完整指令的下一条指令的地址值。
- 如何获得目标字符串 MYID 的地址: 通过观察 do_phase 函数，我们发现一个名为 x86.get_PC_thunk.ax 的 call 调用，跟进发现其中的执行逻辑是:

```

565c:0619 8b 04 24    movl (%esp),%eax
565c:061c c3         retl

```

询问搜索引擎后得知，from StackOverFlow caf:

This call is used in position-independent code on x86. It loads the position of the code into the %ebx register, which allows global objects (which have a fixed offset from the code) to be accessed as an offset from that register.

也就是说执行完这个函数之后我们就可以通过被写的寄存器来通过偏移量访问 global 类型，这也恰好解决了我们的问题。这是如何实现的呢？call 调用之后此时 PC 指向下一条指令，同时将这条指令的地址压入栈中，进入 x86.get_PC_thunk.ax 之后，将栈顶的值赋值给指定的寄存器（后缀 ax 代表是 %eax），这时候指定寄存器中就放着我们可以用来相对寻址的下一条指令的位置了。

c. 相对寻址：

- a) 首先，我们发现输出函数中调用了 x86.get_PC_thunk.bx 使 ebx 指向了下一条 add 指令的位置，地址为 0x5b4（反汇编得到的文件中，相对于 .text 节的偏移量），随后经过两个计算 $+0x1a20-0x18c0$ 得出 eax，即 MYID 的实际地址。

565d:f5a8 55	pushl %ebp
565d:f5a9 89 e5	movl %esp, %ebp
565d:f5ab 53	pushl %ebx
565d:f5ac 83 ec 04	subl \$4, %esp
565d:f5af e8 ac fe ff ff	calll linkbomb2!_x86.get_pc_thunk.bx
565d:f5b4 81 c3 20 1a 00 00	addl \$0x1a20, %ebx
565d:f5ba 83 ec 08	subl \$8, %esp
565d:f5bd 8d 83 40 e7 ff ff	leal -0x18c0(%ebx), %eax
565d:f5c3 50	pushl %eax
565d:f5c4 ff 75 08	pushl 8(%ebp)
565d:f5c7 e8 14 fe ff ff	calll linkbomb2!strcmp@plt
565d:f5cc 83 c4 10	addl \$0x10, %esp
565d:f5cf 85 c0	testl %eax, %eax
565d:f5d1 75 10	jne 0x565df5e3
565d:f5d3 83 ec 0c	subl \$0xc, %esp
565d:f5d6 ff 75 08	pushl 8(%ebp)
565d:f5d9 e8 12 fe ff ff	calll linkbomb2!puts@plt
565d:f5de 83 c4 10	addl \$0x10, %esp
565d:f5e1 eb 01	jmp 0x565df5e4

在 do_phase 中 eax 指向下一条 add 指令，地址为 0x5f1。

则在 do_phase 中利用 eax 的值计算字符串运行时保存位置的公式：

$$\%eax-(0x5f1-0x5b4)+0x1a20-0x18c0=\%eax+0x123$$

- b) 根据构造出来的 call 指令下一条指令的起始地址来决定 call 指令相对寻址数值的大小，需要注意的是，因为 SbavgzZu 函数在 do_phase 上面，需要将减法转化为补码相加形式。

d. 构造插入代码：

a) 只需注意遵守“恢复现场”原则即可。否则报错。

eax → 5661:65e9 55	pushl %ebp
5661:65ea 89 e5	movl %esp, %ebp
5661:65ec e8 28 00 00 00	calll linkbomb2!_x86.get_pc_thunk.ax
5661:65f1 05 e3 19 00 00	addl \$0x19e3, %eax

Disassembly of section .text:			
00000000	<.text>:		
0:	2d e3 19 00 00	>	sub \$0x19e3,%eax
5:	8d 80 23 01 00 00	>	leal 0x123(%eax),%eax
b:	50	>	push %eax
c:	e8 a1 ff ff ff	>	call 0xffffffffa1
11:	58	>	pop %eax
12:	05 23 01 00 00	>	addl \$0x123,%eax

获得 16 进制代码的方法：

- 1) 编写汇编代码入 getcode.s
- 2) gcc -m32 -c getcode.s 获得 getcode.o
- 3) objdump -d getcode.o > getcode.txt 将反汇编代码放入 getcode.txt 中，就可以得到上图的反汇编代码了，左侧就是相对应的 16 进制代码。

使用 HexEdit 修改 phase2.o:

```
0000 2DE3 1900 008D 8023 0100 0050 E8A1 ..-?...?€#...P??
FFFF FF58 0523 0100 0090 9090 9090 9090 X.#...???????
9090 905D C331 3137 3033 3030 3832 3500 ???]??1170300825.
```

其实吧

565d:f5af e8 ac fe ff ff	calll linkbomb2!_x86.get_pc_thunk.bx
565d:f5b4 81 c3 20 1a 00 00	addl \$0x1a20, %ebx

这两步操作其实是一步，上面的图是链接之后产生的反汇编代码，call 的值和 addl [],%eax 的值是通过重定向计算出来的，也就是说这两句在 phase2.o 中被加入到了重定位节中，链接之后将 ebx 重定位到了 _GLOBAL_OFFSET_TABLE_ 的地址，没有链接之前是这样滴：

44:> e8 fc ff ff ff 00 00 54 01	>	call 45 <do_phase+0x4>
49:> 05 01 00 00 00 00 00 00	>	add \$0x1,%eax

无论在 do_phase 中还是在 SbavgZu 中都进行了重定向到

_GLOBAL_OFFSET_TABLE_的操作，do_phase 中的%eax 和 SbavgzZu 中的%ebx 的值都指向了_GLOBAL_OFFSET_TABLE_。所以我们在 do_phase 中使%eax 与%ebx 进行相同的操作就可以了，%ebx 的操作：

```
5655:a5ca | 8d 83 50 e7 ff ff | leal -0x18b0(%ebx), %eax
```

其实这里也是一个重定向，是链接之后确定的，目的地址是.rodata。

所以我们只需要将%eax 也链接到.rodata 就可以了。

修改汇编代码如下：

565c:d5f6	55	pushl %ebp
565c:d5f7	89 e5	movl %esp, %ebp
565c:d5f9	e8 b3 ff ff ff	calll linkbomb2!__x86.get_pc_thunk.ax
565c:d5fe	05 d6 19 00 00	addl \$0x19d6, %eax
565c:d603	8d 80 50 e7 ff ff	leal -0x18b0(%eax), %eax
565c:d609	50	pushl %eax
565c:d60a	e8 a6 ff ff ff	calll linkbomb2!SbavgzZu
565c:d60f	58	popl %eax

3.3 阶段 3 的分析

程序运行结果截图：

```
linda:linklab-1170300825>gcc -m32 -c -o phase3_patch.o phase3_patch.c
linda:linklab-1170300825>gcc -m32 -o linkbomb3 main.o phase3.o phase3_patch.o
linda:linklab-1170300825>./linkbomb3
1170300825
```

分析与设计的过程：

- 1) 为了方便以后查看链接过程信息，首先将一个定义了任意名称的全局字符串的 phase3_patch.o 与其他两个.o 文件进行链接。
- 2) 分析 do_phase 函数反汇编指令，获知 COOKIE 字符串（保存于栈帧中的局部字符数组中）的组成内容和起始地址。这里直接使用 edb（简化了找到目标变量地址的过程）查找到对应循环输出的位置如下：

565f:4637	0f b6 44 34 01	movzbl 1(%esp, %esi), %eax
565f:463c	8d 93 70 01 00 00	leal 0x170(%ebx), %edx
565f:4642	0f be 04 02	movsbl (%edx, %eax), %eax
565f:4646	83 ec 0c	subl \$0xc, %esp
565f:4649	50	pushl %eax
565f:464a	e8 01 fe ff ff	calll linkbomb3!putchar@plt
565f:464f	83 c6 01	addl \$1, %esi
565f:4652	83 c4 10	addl \$0x10, %esp
565f:4655	83 fe 09	cmpl \$9, %esi
565f:4658	76 dd	jbe 0x565f4637

可以得到的信息有：COOKIE 字符串保存在栈帧中的字符数组是：

ffffb:1fd0	6b786cfc	lxb
ffffb:1fd4	69737068	hpsi
ffffb:1fd8	006e716d	mqn.

题目中的所谓的 PHASE3_CODEBOOK 保存在地址 0x565be140 开头的一段内存区域中。

至此我们已经得到了想要的信息。

3) 查找指定 PHASE3_CODEBOOK 字符串的真实名称，通过 readelf -s 命令结合 ppt 中给定的该数字的大小特征，查得该字符串的真实名称为：

46: 00002140 256 OBJECT GLOBAL DEFAULT 24 OdwnxQFyLh

4) 构造字符串：do_phase 函数构造如 PPT

```
char PHASE3_CODEBOOK[256];
void do_phase(){
    const char char cookie[] = PHASE3_COOKIE;
    for( int i=0; i<sizeof(cookie)-1; i++ )
        printf( "%c", PHASE3_CODEBOOK[ (unsigned char)(cookie[i]) ] );
    printf( "\n" );
}
```

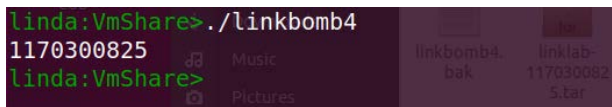
因此我们只需要在字符数组 cookie 的字符所指向的 OdwnxQFyLh 数组的指定位置处 按顺序 填上自己的学号即可。

字符串构造如下：

```
char OdwnxQFyLh[256]=xxx...xxxxxxxxxxxxxxxx00x185x32x0xxxx1xxxxxxxxxxxxxxxxxxx
```

3.4 阶段 4 的分析

程序运行结果截图：



（注：因为这个题个人感觉 PPT 上叙述的做法有点冲突，所以我是直接修改的 `linkbomb4`）

分析与设计的过程：

了解框架：

■ phase4.c程序框架

```
void do_phase()
{
    const char cookie[] = PHASE4_COOKIE;
    char c;
    for (int i = 0; i < sizeof(cookie)-1; i++)
    {
        c = cookie[i];
        switch (c)
        {
            // 每个学生的映射关系和case顺序建议不一样
            case 'A': { c = 48; break; }
            case 'B': { c = 121; break; }
            ...
            case 'Z': { c = 93; break; }
        }
        printf("%c", c);
    }
}
```

实验步骤

- 1) 通过分析 `do_phase` 函数的反汇编程序获知 COOKIE 字符串（保存于栈帧中的局部字符数组中）的组成内容
- 2) 确定 switch 跳转表在 `.rodata` 节中的偏移量
- 3) 定位 COOKIE 中每一字符 'c' 在 switch 跳转表中的对应表项（索引为 '`c'-0x41`'），将其值设为输出目标学号中对应字符的 `case` 首指令的偏移量

分析反汇编代码：

- a) 通过 edb 获得 cookie 的值，可以得到：

```
ffcl:8ce0 | 554b58fc | XKU |
ffcl:8ce4 | 4654594a | JYTF |
ffcl:8ce8 | 00484d57 | WMH. |
```

- b) 定位 switch 主体代码：

565e:9639	8d 55 e9	leal -0x17(%ebp), %edx
565e:963c	8b 45 e4	movl -0x1c(%ebp), %eax
565e:963f	01 d0	addl %edx, %eax
565e:9641	0f b6 00	movzbl (%eax), %eax
565e:9644	88 45 e3	movb %al, -0x1d(%ebp)
565e:9647	0f be 45 e3	movsbl -0x1d(%ebp), %eax
565e:964b	83 e8 41	subl \$0x41, %eax
565e:964e	83 f8 19	cmpl \$0x19, %eax
565e:9651	0f 87 b5 00 00 00	ja 0x565e970c
565e:9657	c1 e0 02	shll \$2, %eax
565e:965a	8b 84 18 94 e8 ff ff	movl -0x176c(%eax, %ebx), %eax
565e:9661	01 d8	addl %ebx, %eax
i. 565e:9663	ff e0	jmp *%eax

c) 分析

- a) 可以看出这里代码块的主要功能就是计算地址值到 `eax`，然后跳转到 `eax` 所指向的地址。`Eax` 的计算公式为 $((\%eax - 0x41) \ll 2 + \%ebx - 0x176c)$ ，外面的一个括号代表寻址，这里是将 `cookie` 值作为索引映射到 `switch` 跳转表，需要注意的是 `switch` 跳转表保存在 `.rodata` 中，同时，当只有 `phase4.o` 的时候 `switch` 的跳转表是不能确定的，只有当将 `main.o` 和 `phase4.o` 链接之后才能确定跳转表的值。当程序运行时，程序先拿到跳转表的值，跳转表中存放着相对偏移位置，通过 `%eax = %ebx + 偏移量` 获得存储在 `.text` 段中共的 `case` 代码段地址，之后跳转执行。
- b) 根据 `.rodata` 段的性质我们可以确定我们的破解策略：将 `main.o` 和 `phase4.o` 进行链接成为 `linkbomb4`，通过 `HexEdit` 程序更改 `linkbomb4` 程序的 `rodata` 段中 `switch` 的跳转表为满足 `cookie` 映射先后顺序。（注意，每次连接过程可能会产生不同的跳转表）。PS:注意到 PPT 中是让修改 `phase4.o` 的 `rodata` 节，但是这里的 `rodata` 是在链接之后才能确定的，如果修改 `phase4.o` 的 `rodata` 链接之后会被覆盖，因此只能修改 `linkbomb4`。

构造答案：

- c) 首先通过 `edb` 查看没有修改过的 `linkbomb4`，发现第一个 `cookie` 值“X”对应的跳转表中的偏移量为 `0xffffe738`，对应到 `case` 代码块执行输出 `0x33`，查看 `phase4` 的反汇编代码：

```

0000006d <.L4>: 3 fc c9      addl %edx, -0x3683a275(%eax)
6d: > c6 45 e3 35      movb $0x35, -0x1d(%ebp)
71: > e9 9e 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:65f1 05 e3 19 00 00      addl $0x19e3, %eax
5661:65f6 2d e3 19 00 00      subl $0x19e3, %eax
00000076 <.L6>: 1 00 00      leal 0x123(%eax), %eax
76: > c6 45 e3 30      movb $0x30, -0x1d(%ebp)
7a: > e9 95 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6600 90      popl %eax
5661:6606 90      popl %eax
5661:660c 90      popl %eax
0000007f <.L7>:
7f: > c6 45 e3 49      movb $0x49, -0x1d(%ebp)
83: > e9 8c 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6614 90      popl %eax
00000088 <.L8>:
88: > c6 45 e3 4d      movb $0x4d, -0x1d(%ebp)
8c: > e9 83 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:661c 90      popl %eax
00000091 <.L9>:
91: > c6 45 e3 38      movb $0x38, -0x1d(%ebp)
95: > eb 7d 01 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:661d 03 00 01 00 00 00 20 04 00 00 34 00 00 00 00 00
5661:6620 4c 18 00 00 00 00 00 34 00 20 09 00 00 28 00 00 00
5661:6624 1c 00 00 00 00 34 00 00 00 34 00 00 00 00 00 00 00
00000097 <.L10>:
97: > c6 45 e3 32      movb $0x32, -0x1d(%ebp)
9b: > eb 77 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6628 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
5661:662c 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0000009d <.L11>:
9d: > c6 45 e3 36      movb $0x36, -0x1d(%ebp)
a1: > eb 71 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6630 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

```

```

000000a3 <.L12>:
a3: > c6 45 e3 4b      movb $0x4b, -0x1d(%ebp)
a7: > eb 6b 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6634 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
000000a9 <.L13>:
a9: > c6 45 e3 46      movb $0x46, -0x1d(%ebp)
ad: > eb 65 01 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6638 50      pushl %eax
5661:663d e8 a1 ff ff ff      call linkbomb2158avgzZu
000000af <.L14>:
af: > c6 45 e3 3e      movb $0x3e, -0x1d(%ebp)
b3: > eb 5f 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6640 90      popl %eax
5661:6646 90      popl %eax
5661:664c 90      popl %eax
000000b5 <.L15>:
b5: > c6 45 e3 31      movb $0x31, -0x1d(%ebp)
b9: > eb 59 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6648 90      popl %eax
5661:664e 90      popl %eax
000000bb <.L16>:
bb: > c6 45 e3 6e      movb $0x6e, -0x1d(%ebp)
bf: > eb 53 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6650 90      popl %eax
5661:6656 90      popl %eax
000000c1 <.L17>:
c1: > c6 45 e3 4a      movb $0x4a, -0x1d(%ebp)
c5: > eb 4d 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6658 04 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
5661:665c 54 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
5661:6660 54 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
000000c7 <.L18>:
c7: > c6 45 e3 6c      movb $0x6c, -0x1d(%ebp)
cb: > eb 47 01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:6664 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
5661:6668 dc 1e 00 00 f8 00 00 00 f8 00 00 00 06 00 00 00
000000cd <.L19>:
cd: > c6 45 e3 67      movb $0x67, -0x1d(%ebp)
d1: > eb 41 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00      jmp 114 <.L30+0x5>
5661:666c 90      popl %eax

```

```

000000d3 <.L20>:
d3: > c6 45 e3 34      > movb $0x34, -0x1d(%ebp)
d7: > eb 3b             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000d9 <.L21>:
d9: > c6 45 e3 75      > movb $0x75, -0x1d(%ebp)
dd: > eb 35             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000df <.L22>:
df: > c6 45 e3 39      > movb $0x39, -0x1d(%ebp)
e3: > eb 2f             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000e5 <.L23>:
e5: > c6 45 e3 68      > movb $0x68, -0x1d(%ebp)
e9: > eb 29             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000eb <.L24>:
eb: > c6 45 e3 50      > movb $0x50, -0x1d(%ebp)
ef: > eb 23             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000f1 <.L25>:
f1: > c6 45 e3 3b      > movb $0x3b, -0x1d(%ebp)
f5: > eb 1d             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000f7 <.L26>:
f7: > c6 45 e3 70      > movb $0x70, -0x1d(%ebp)
fb: > eb 17             > jmp 114 <.L30+0x5>

000000fd <.L27>:
fd: > c6 45 e3 6f      > movb $0x6f, -0x1d(%ebp)
101: > eb 11             > jmp 114 <.L30+0x5>

00000103 <.L28>:
103: > c6 45 e3 33      > movb $0x33, -0x1d(%ebp)
107: > eb 0b             > jmp 114 <.L30+0x5>

00000109 <.L29>:
109: > c6 45 e3 50      > movb $0x50, -0x1d(%ebp)
10d: > eb 05             > jmp 114 <.L30+0x5>

0000010f <.L30>:
10f: > c6 45 e3 37      > movb $0x37, -0x1d(%ebp)
113: > 90               > nop

```

b) 通过 phase4 反汇编代码我们可以确定 case 代码块之间相对位置，通过输出 0x33 的代码块的跳转表偏移量，我们可以得到所有的 case 类在跳转表里面对应的偏移量，我们选择输出指定字母串为学号的 case 块的跳转表偏移量按 cookie 映射顺序与位置 填入到 .rodata 跳转表之中。说起来有点儿绕，我们不妨看一下截图：

0x0870	6C65	2E00	6666	6666	0000	0000	0000	0000
0x0880	0000	0000	0000	0000	ABE6	FFFF	0000	0000
0x0890	A2E6	FFFF	0000	0000	ABE6	FFFF	EAE6	FFFF
0x08A0	0000	0000	CCE6	FFFF	0000	0000	0000	0000
0x08B0	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
0x08C0	ABE6	FFFF	44E7	FFFF	0000	0000	C6E6	FFFF
0x08D0	EAE6	FFFF	38E7	FFFF	44E7	FFFF	011B	033B

截图说明：前面的6只是为了标识开始而已；其中填入0的都是cookie映射不到的；以0xffff738为例，偏移量对应cookie-“X”（填入到了跳转表中‘x’映射到的位置），而0xffff738是我们填入跳转表中的值，凭借跳转表程序跳转到switch的对应case语句，通过反汇编代码我们知道case之间的相对位置，在0xffff738基础上进行加减就可以获得其他case块对应的跳转表值。

3.5 阶段5的分析

程序运行结果截图：

```
linda@linklab-1170300825>gcc -m32 -o linkbomb5 main.o phase5.o
linda@linklab-1170300825>./linkbomb5
QQ\GwGga/m
```

分析与设计的过程：

操作姿势

- a) **EDB** 操作基础知识：首先点击运行，这时程序会运行前面的初始化函数到main，此时可以开始单步调试。
 - i. step into：执行代码，如果是函数则进入。
 - ii. step over：执行代码，如果是函数会执行然后跳过
 - iii. step out：如果没有断点会直接跳到函数的ret指令处。
 - iv. F2 调用右键的 Toggle BreakPoint 设置断点，当然右键也有 Conditionnal BreakPoint 条件断点的选择，对应 Shift+F2。
 - v. Registers 和 Stack 窗口可以分别查看运行处寄存器和栈的值。Data Dump 可以查看内存区域的值，这一块内存区域应该是伴随程序

分配的内存区域。三个窗口呈现的形式都是左边是二进制，右边是字符串，如果真的存储的是字符串类型，那么我们可以通过右边直接看到，比较方便。

- vi. 如果想要查看程序不同段的内存，可以通过 View->Memory Regions 查看。
- vii. 无论是 Registers 还是 Stack 都可以右键直接设定二进制的值，这个特性可以用来进行程序的调试工作。
- viii. Ctrl+F 调用 Plugin 中的 BinarySearcher 可以直接搜索内存区域中的字符串。
- ix. 选定一行，Ctrl+*调用邮件的 set EIP to this instruction，跳过前面的代码直接运行到当前行。

了解以上知识之后，简单使用 edb 运行程序应该不成问题。

- b) **Readelf**: 将所有的 elf 信息输出重定向到 phase5.elf 文件中，操作命令为 readelf -a phase5.o > phase5.elf。在 phase5.elf 文件中，我们可以观察到 Section Headers, rel.text, .rel.rodata 和 .symtab 等各个 Section 信息，.rel.重定向节包括

offset	需要进行重定向的代码在.text 或.data 节中的偏移位置，4 个字节。
Info	包括 symbol 和 type 两部分，其中 symbol 占前 3 个字节，type 占后 1 个字节，symbol 代表重定位到的目标在.symtab 中的偏移量，type 代表重定位的类型
Type	重定位到的目标的类型
Name	重定向到的目标的名称

其中我们需要补充的就是每个重定位目标的 offset 和 info，一共 8 个字节，

这里注意因为小端序的原因在 `hexedit` 中作为数的两者都是反的。

`.symtab` 节包括:

Num	symbol 十进制的偏移量
Name	Symbol 的名字

Section Headers 中我们可以看到所有节偏移量 `off` 和大小 `size`, 这个偏移量是相对于整个 `elf` 文件而言的, 通过这个偏移量和 `hexedit` 我们可以找到对应的节在 `elf` 二进制文件中的位置, 进而进行观察和修改。

c) **HexEdit**: `hexedit` 可以用来修改 `.o` 文件或 `elf` 可执行文件的二进制信息。我们可以查看 `elf` 文件已有的重定位二进制信息。

查看已有的重定位信息

`readelf -a phase5.o > phase5.elf` 获得 `phase5.elf` 文件, 截图如下:

```

Relocation section '.rel.text' at offset 0x6cc contains 20 entries:
Offset      Info     Type           Sym. Value  Sym. Name
00000001    00001802 R_386_PC32     00000000    _x86.get_pc_thunk.dx
00000007    0000190a R_386_GOTPC    00000000    GLOBAL_OFFSET_TABLE
00000012    00001a09 R_386_GOTOFF   000000a0    qJuHGm
0000001e    00000509 R_386_GOTOFF   00000000    .rodata
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
00000005    0000190a R_386_GOTPC    00000000    GLOBAL_OFFSET_TABLE
00000068    00001d09 R_386_GOTOFF   00000000    CODE
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
00000086    00001d09 R_386_GOTOFF   00000000    CODE
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
000000a0    0000190a R_386_GOTPC    00000000    GLOBAL_OFFSET_TABLE
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
000000dd    00001d09 R_386_GOTOFF   00000000    CODE
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
00000000    00000000 R_386_NONE     00000000
00000014    00002209 R_386_GOTOFF   00000004    empty
0000011a    00001e02 R_386_PC32     00000095    encode
00000123    00002304 R_386_PLT32    00000000    puts
  
```



```

Relocation section '.rel.rodata' at offset 0x76c contains 8 entries:
Offset      Info     Type      Sym. Value  Sym. Name
00000000    00000000 R 386 NONE
00000004    00000d09 R 386 GOTOFF 0000002b  .L5
00000008    00000e09 R 386 GOTOFF 0000004d  .L2
0000000c    00000f09 R 386 GOTOFF 00000039  .L6
00000010    00001009 R 386 GOTOFF 00000040  .L7
00000014    00001109 R 386 GOTOFF 00000048  .L8
00000018    00000e09 R 386 GOTOFF 0000004d  .L2
0000001c    00001209 R 386 GOTOFF 00000053  .L1

```

通过 hexedit 查看重定位部分对应的二进制信息（通过 phase5.elf 中 Section Headers 节给出的信息定位各个节的位置）：

.rel.text

```

0x6C0 6500 4255 4600 7075 7473 0000 0100 0000 e.BUF.puts.....
0x6D0 0218 0000 0700 0000 0A19 0000 1200 0000 .....
0x6E0 091A 0000 1E00 0000 0905 0000 0000 0000 .....
0x6F0 0000 0000 5E00 0000 0A19 0000 6800 0000 .....^.....h...
0x700 091D 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
0x710 0000 0000 8600 0000 091D 0000 0000 0000 .....?.....
0x720 0000 0000 A000 0000 0A19 0000 0000 0000 .....?.....
0x730 0000 0000 DD00 0000 091D 0000 0000 0000 .....?.....
0x740 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
0x750 0000 0000 1401 0000 0922 0000 1A01 0000 .....".
0x760 021E 0000 2301 0000 0423 0000 0000 0000 .....#.....#.....

```

.rel.rodata

```

0x760 021E 0000 2301 0000 0423 0000 0000 0000 .....#.....#.....
0x770 0000 0000 0400 0000 090D 0000 0800 0000 .....
0x780 090E 0000 0C00 0000 090F 0000 1000 0000 .....
0x790 0910 0000 1400 0000 0911 0000 1800 0000 .....
0x7A0 090E 0000 1C00 0000 0912 0000 0000 0000 .....

```

仔细查看两种显示下重定位信息的对应关系，我们发现一个重定位信息占 8 个字节，前 4 个字节代表 offset，后四个字节代表 info，其中 info 的高 3 个字节代表 symbol 是该 symbol 在 .symtab 中的 Num，info 的低 1 个字节代表 type 对应上面 phase5.elf 截图的 Type，不同的值代表不同的 type。

将 .rel.text 的已有重定位信息整理如下，

info.type	含义	已知重定位目标
02	R_386_PC32	__X86.get_pc_thunk.dx ,encode
0a	R_386_GOTPC	_GLOBAL_OFFSET_TABLE_
09	R_386_GOTOFF	qJuHGm , .rodata , CODE,BUF

04	R_386_PLT32	puts
----	-------------	------

其中.rel.rodata 没有的重定位信息是.L3。

我们需要加上的就是没有的重定位信息。

补充重定位信息

代码框架：

■ phase5.c程序框架

```
const int TRAN_ARRAY[] = { ... };
const char FDICT[] = FDICTDAT;
char BUF[] = MYID;
char CODE = PHASE5_COOKIE;

int transform_code(int code, int mode) {
    switch(TRAN_ARRAY[mode] & 0x00000007) {
        case 0:
            code = code & (~TRAN_ARRAY[mode]);
            break;
        case 1:
            code = code ^ TRAN_ARRAY[mode];
            break;
        ... ..
    }
    return code;
}

void generate_code(int cookie) {
    int i;
    CODE = cookie;
    for(i=0; i<sizeof(TRAN_ARRAY)/sizeof(int); i++)
        CODE = transform_code(CODE, i);
}
```

```
int encode(char* str) {
    int i, n = strlen(str);
    for(i=0; i<n; i++) {
        str[i] = (FDICT[str[i]] ^ CODE) & 0x7F;
        if(str[i]<0x20 || str[i]>0x7E) str[i] = ' ';
    }
    return n;
}

void do_phase() {
    generate_code(PHASE5_COOKIE);
    encode(BUF);
    printf("%s\n", BUF);
}
```

- 上列绿色标出 (以及如switch的跳转表等) 的符号引用的对应重定位记录中随机选择若干个被置为零。
- 涉及的重定位记录可能位于 .text, .rodata 等不同重定位节中

21

通过 phase5.elf 我们可以得到已经重定位的代码 offset (相对于 .text 节), 就可以推断出重定位代码的大致位置。通过给出的代码框架和 phase5.o 的反汇编代码, 我们可以推出在哪里插入, 以及插入什么重定位信息。这里不再详述, 将我的反汇编代码中作出的重定位信息补充列在下面 (绿的是已有的, 红的是补充的):

Disassembly of section .text:

00000000 <transform_code>:

```
0: e8 fc ff ff ff call 1 <transform_code+0x1> //0218 0000
//映射_x86.get_pc_thunk.dx
5: 81 c2 02 00 00 00 add $0x2,%edx //0A19 0000
//映射_GLOBAL_OFFSET_TABLE_
b: 8b 44 24 08 mov 0x8(%esp),%eax
f: 8b 84 82 00 00 00 00 mov 0x0(%edx,%eax,4),%eax //091A 0000
//映射qJuHGm TRAN_ARRAY
16: 89 c1 mov %eax,%ecx
18: 83 e1 07 and $0x7,%ecx
1b: 03 94 8a 00 00 00 00 add 0x0(%edx,%ecx,4),%edx //0905 0000
//映射Num 8
22: ff e2 jmp *%edx
```

```

00000055 <generate_code>:
55: 56          push    %esi
56: 53          push    %ebx
57: e8 fc ff ff call    58 <generate_code+0x3> 158000000 021e0000
    //缺少_x86.get_pc_thunk.si
5c: 81 c6 02 00 00 00 add     $0x2,%esi //0A19 0000
    //映射 GLOBAL_OFFSET_TABLE
62: 8b 44 24 0c mov     0xc(%esp),%eax
66: 88 86 00 00 00 00 mov     %al,0x0(%esi) //091D 0000
    //映射CODE
6c: bb 00 00 00 00 mov     $0x0,%ebx
71: eb 1a       jmp     8d <generate_code+0x38>
73: 53          push    %ebx
74: 0f be 86 00 00 00 00 movsbl  0x0(%esi),%eax 177000000 091D0000
    //缺少CODE
7b: 50          push    %eax
7c: e8 fc ff ff call    7d <generate_code+0x28> 17d000000 02170000
    //缺少transform_code
81: 83 c4 08    add     $0x8,%esp
84: 88 86 00 00 00 00 mov     %al,0x0(%esi) //091D 0000
    //映射CODE
8a: 83 c3 01    add     $0x1,%ebx
8d: 83 fb 0d    cmp     $0xd,%ebx
90: 76 e1       jbe     73 <generate_code+0x1e>
92: 5b          pop     %ebx
93: 5e          pop     %esi
94: c3          ret

```

```

00000095 <encode>:
95: 55          push    %ebp
96: 57          push    %edi
97: 56          push    %esi
98: 53          push    %ebx
99: e8 fc ff ff call    9a <encode+0x5> 9a000000 021f0000
    //缺少 __x86.get_pc_thunk.bx
9e: 81 c3 02 00 00 00 add     $0x2,%ebx          //0A19 0000
    //映射 GLOBAL_OFFSET_TABLE
a4: 8b 74 24 14 mov     0x14(%esp),%esi
a8: b9 ff ff ff ff mov     $0xffffffff,%ecx
ad: b8 00 00 00 00 mov     $0x0,%eax
b2: 89 f7       mov     %esi,%edi
b4: f2 ae       repnz  scas %es:(%edi),%al
b6: 89 c8       mov     %ecx,%eax
b8: f7 d0       not     %eax

ba: 83 e8 01     sub     $0x1,%eax
bd: 89 c5       mov     %eax,%ebp
bf: b9 00 00 00 00 mov     $0x0,%ecx
c4: eb 03       jmp     c9 <encode+0x34>
c6: 83 c1 01     add     $0x1,%ecx
c9: 39 e9       cmp     %ebp,%ecx
cb: 7d 26       jge     f3 <encode+0x5e>
cd: 8d 3c 0e     lea     (%esi,%ecx,1),%edi
d0: 0f be 17     movsbl  (%edi),%edx
d3: 0f b6 94 13 00 00 00 movzbl  0x0(%ebx,%edx,1),%edx d7000000 09200000
    //缺少 FDICT
da: 00          //映射CODE
db: 32 93 00 00 00 00 xor     0x0(%ebx),%dl      //091D 0000
e1: 83 e2 7f     and     $0x7f,%edx
e4: 88 17       mov     %dl,(%edi)
e6: 83 ea 20     sub     $0x20,%edx
e9: 80 fa 5e     cmp     $0x5e,%dl
ec: 76 d8       jbe     c6 <encode+0x31>

```

```

000000f8 <do_phase>:
f8: 56          push    %esi
f9: 53          push    %ebx
fa: 83 ec 04    sub     $0x4,%esp
fd: e8 fc ff ff call    fe <do_phase+0x6> |fe000000 021f0000
    //缺少__x86.get_pc_thunk.bx
102: 81 c3 02 00 00 00 add     $0x2,%ebx /04010000 0A190000
    //缺少_GLOBAL_OFFSET_TABLE_

108: 68 c0 00 00 00 push    $0xc0
10d: e8 fc ff ff call    10e <do_phase+0x16> |0e010000 021b0000
    //缺少generate_code
112: 8d b3 00 00 00 00 lea     0x0(%ebx),%esi //0922 0000
    //映射BUF
118: 56          push    %esi
119: e8 fc ff ff call    11a <do_phase+0x22> //021E 0000
    //映射encode
11e: 83 ec 04    sub     $0x4,%esp
121: 56          push    %esi
122: e8 fc ff ff call    123 <do_phase+0x2b> //0423 0000
    //映射puts

127: 83 c4 14    add     $0x14,%esp
12a: 5b          pop     %ebx
12b: 5e          pop     %esi
12c: c3          ret

```

通过 hexedit 修改之后的 elf 文件的重定位信息部分为:

6500 4255 4600 7075 7473 0000 0100 0000	e.BUF.puts..
0218 0000 0700 0000 0A19 0000 1200 0000	.....
091A 0000 1E00 0000 0905 0000 5800 0000	.....X..
021C 0000 5E00 0000 0A19 0000 6800 0000	....^.....h..
091D 0000 7700 0000 091D 0000 7D00 0000	....w.....}..
0217 0000 8600 0000 091D 0000 9A00 0000?.....?..
021F 0000 A000 0000 0A19 0000 D700 0000?.....?..
021F 0000 DD00 0000 091D 0000 FE00 0000?.....?..
021F 0000 0401 0000 0A19 0000 0E01 0000	.....
021B 0000 1401 0000 0922 0000 1A01 0000"
021E 0000 2301 0000 0423 0000 0000 0000#.....
090C 0000 0400 0000 090D 0000 0800 0000	.....

第 5 章 总结

4.1 请总结本次实验的收获

- * ELF 文件结构
- * 更加深入理解链接的原理细节
- * 利用 edb 的可视化可以更快更直接的完成 gdb 的工作。

4.2 请给出对本次实验内容的建议

注：本章为酌情加分项。

[1] 16 进制计算网站 <http://www.99cankao.com/digital-computation/hex-calculator.php>