Execution

Angelboy @ bamboofox

Who am I

- Angelboy
  - 中央大學碩士班 ADLab
  - Bamboofox / HITCON 成員

- 擅長領域 : PWN

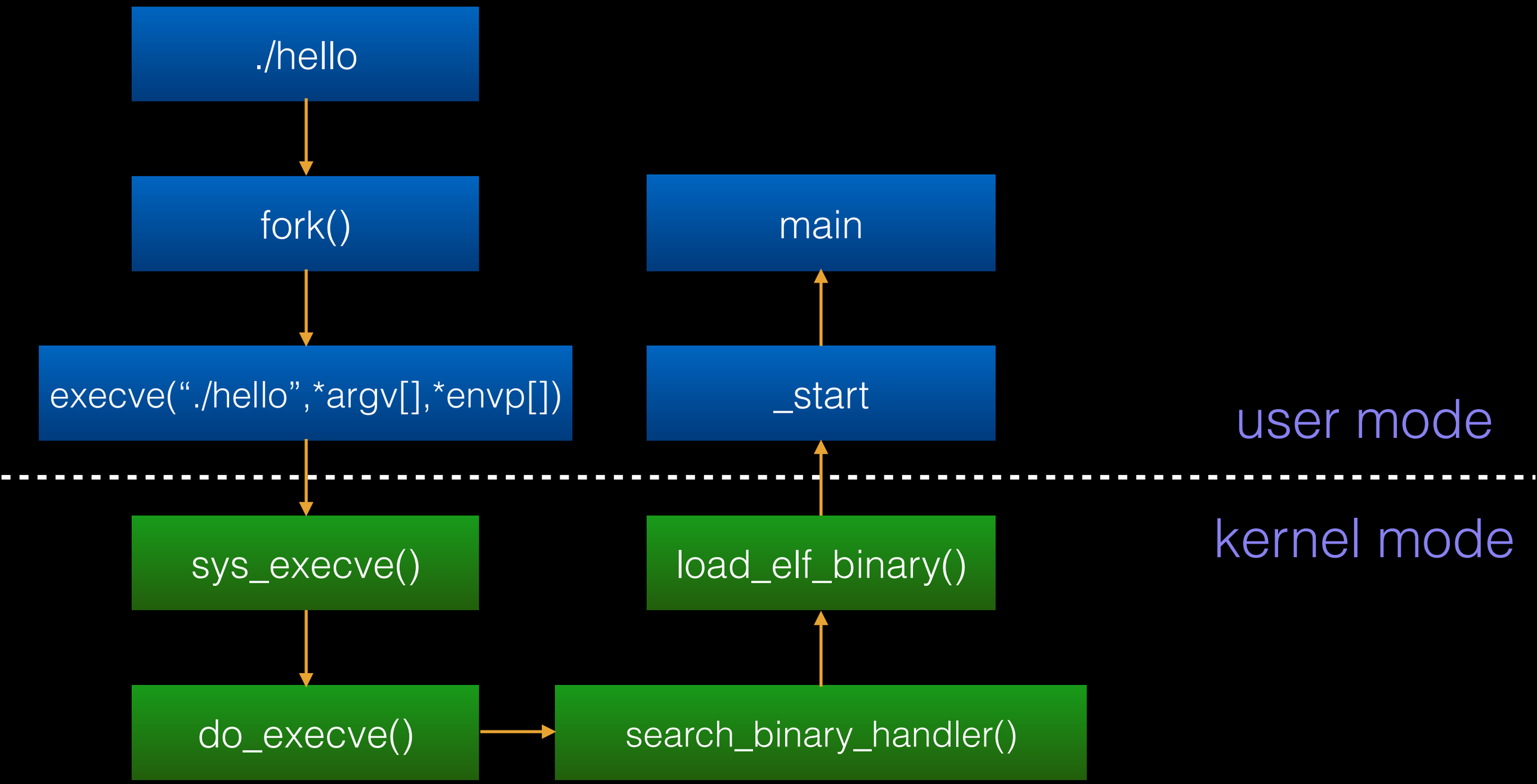
Outline

- How programs get run
- Lazy binding
  - Global Offset Table
- GOT Hijacking

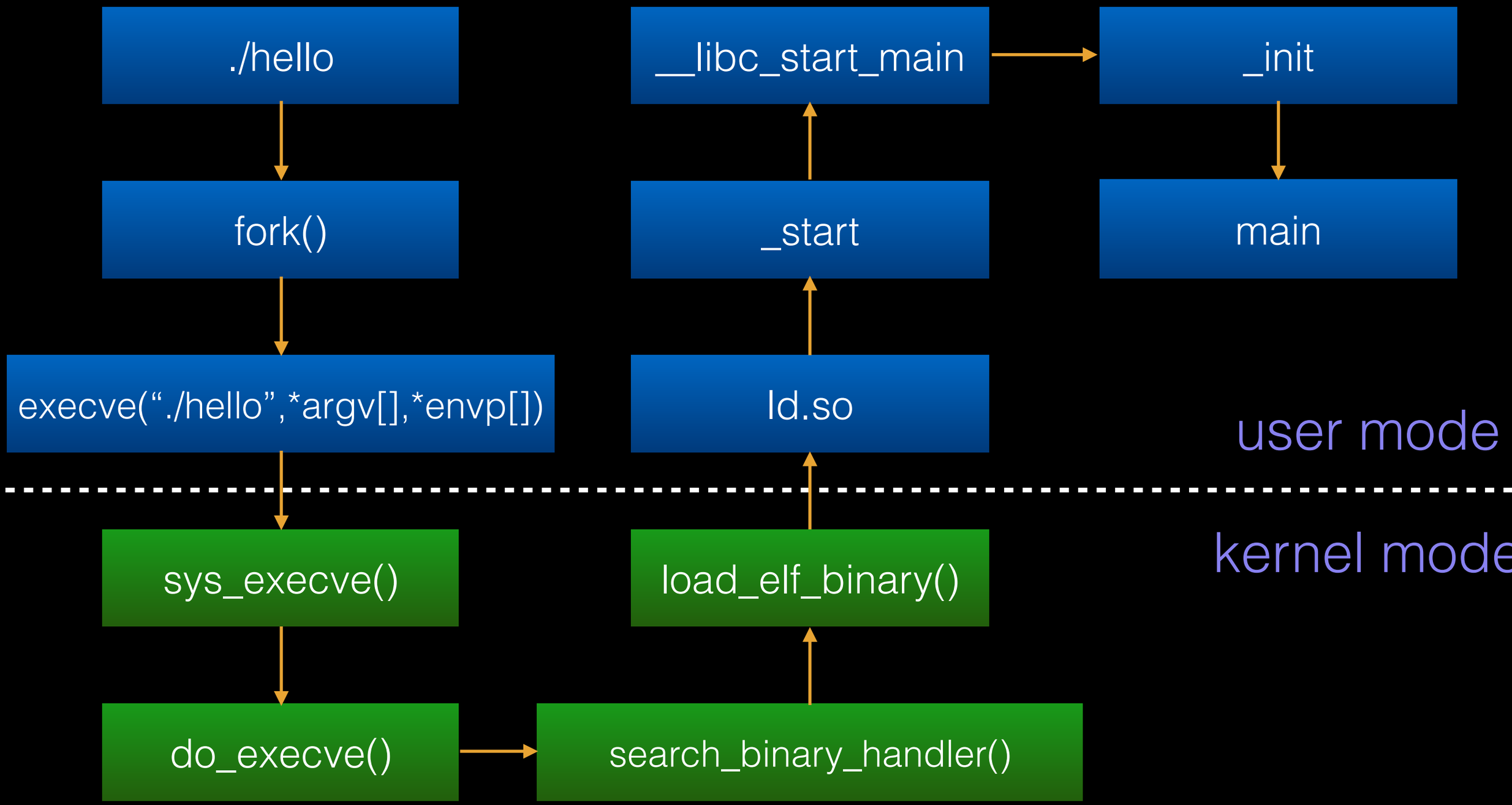
How programs get run

- We focus on ELF (Executable and Linking Format)
- What's happened when we execute an elf file.
  - ex : ./hello

Overview of the workflow (static linking)



Overview of the workflow (dynamic linking)



How programs get run

- sys_execve()
  - 檢查參數 ex: argv , envp
- do_execve()
  - 搜尋執行檔位置
  - 讀取執行檔前 128 byte 獲取執行檔的資訊
    - ex: magic number

How programs get run

- search_binary_handler()
  - 利用前面所獲取的資訊來呼叫相對應的 handler
    - ex : load_script() 、 load_elf_binary()

How programs get run

- load_elf_binary()
  - 檢查及獲取 program header 資訊
  - 如果是 dynamic linking 則利用 .interp 這個 section 來確定 loader 路徑
  - 將 program header 紀錄的位置 mapping 到 memory 中，ex : code segment 位置
  - 將 sys_execve 的 return address 改為 loader (ld.so) 的entry point
    - static linking 下則會是 elf 的 entry point

How programs get run

- How program maps to virtual memory.
  - 在 program header 中
    - 記錄著哪些 segment 應該 mapping 到什麼位置，以及該 segment 的讀寫執行權限
    - 記錄哪些 section 屬於哪些 segment
      - 當 program mapping 記憶體時會根據權限的不同來分成好幾個 segment

How programs get run

- How program maps to virtual memory.

```
angelboy@angelboy-adl:~$ readelf -l hello

Elf file type is EXEC (Executable file)
Entry point 0x8048350
There are 9 program headers, starting at offset 52

Program Headers:
  Type           Offset   VirtAddr   PhysAddr   FileSiz MemSiz  Flg Align
  PHDR           0x000034 0x08048034 0x08048034 0x00120 0x00120 R E 0x4
  INTERP         0x000154 0x08048154 0x08048154 0x00013 0x00013 R   0x1
      [Requesting program interpreter: /lib/ld-linux.so.2]
  LOAD           0x000000 0x08048000 0x08048000 0x005f8 0x005f8 R E 0x1000
  LOAD           0x000f08 0x08049f08 0x08049f08 0x0011c 0x00120 RW  0x1000
  DYNAMIC        0x000f14 0x08049f14 0x08049f14 0x000e8 0x000e8 RW  0x4
  NOTE           0x000168 0x08048168 0x08048168 0x00044 0x00044 R   0x4
  GNU_EH_FRAME   0x00051c 0x0804851c 0x0804851c 0x0002c 0x0002c R   0x4
  GNU_STACK      0x000000 0x00000000 0x00000000 0x00000 0x00000 RW  0x10
  GNU_RELRO      0x000f08 0x08049f08 0x08049f08 0x000f8 0x000f8 R   0x1

 Section to Segment mapping:
  Segment Sections...
   00
   01     .interp
   02     .interp .note.ABI-tag .note.gnu.build-id .gnu.hash .dynsym .dynstr .gn
u.version .gnu.version_r .rel.dyn .rel.plt .init .plt .text .fini .rodata .eh_fr
ame_hdr .eh_frame
   03     .init_array .fini_array .jcr .dynamic .got .got.plt .data .bss
   04     .dynamic
   05     .note.ABI-tag .note.gnu.build-id
   06     .eh_frame_hdr
   07
   08     .init_array .fini_array .jcr .dynamic .got
```

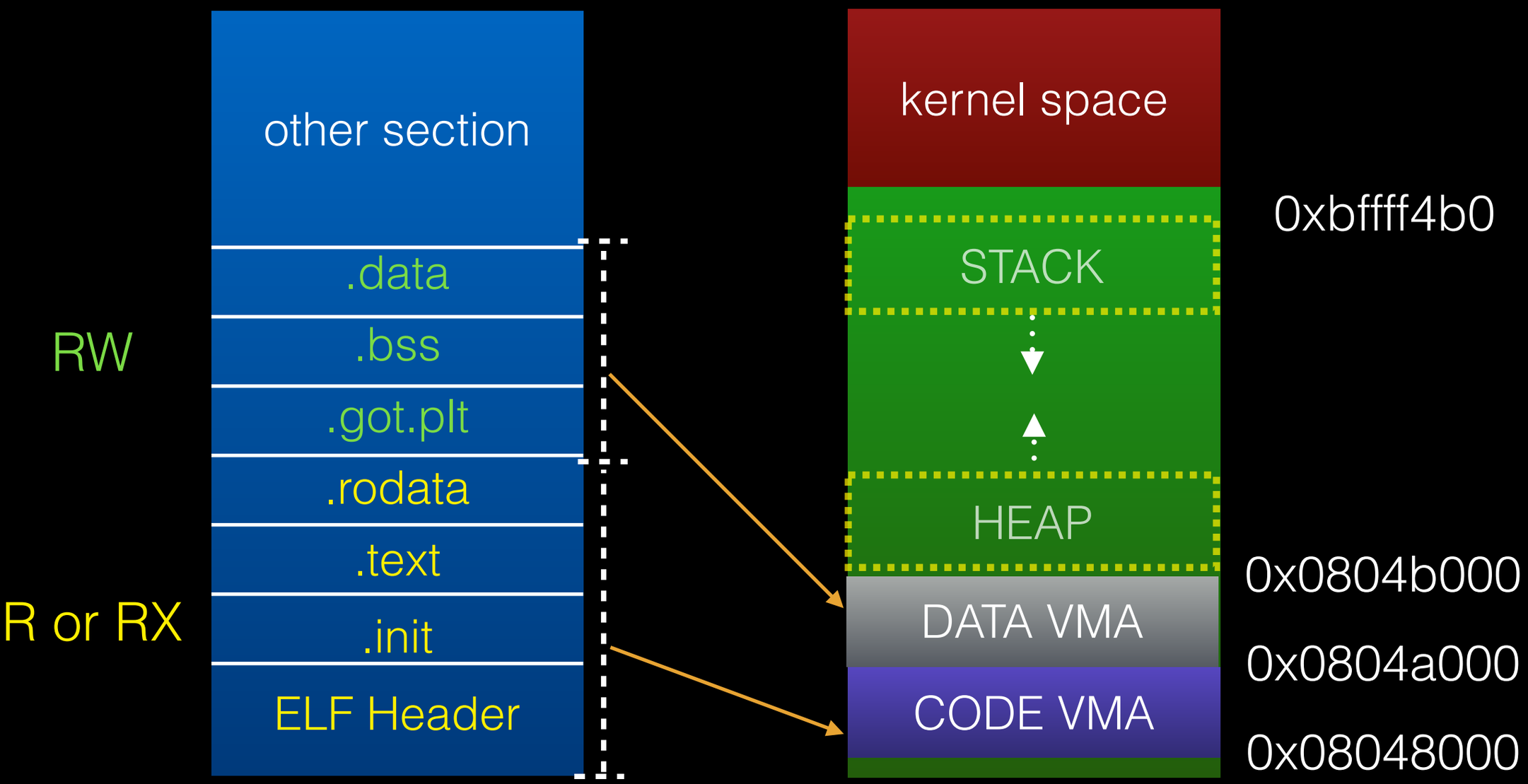
mapping 位置

權限

segment 中有哪些 section

How programs get run

- How program maps to virtual memory.



How programs get run

- ld.so
  - 載入 elf 所需的 shared library
    - 這部分會記錄在 elf 中的 DT_NEED 中
- 初始化 GOT
- 其他相關初始化的動作
  - ex : 將 symbol table 合併到 global symbol table 等等

How programs get run

- ld.so 其實是個很複雜的程式，要認真全部講完，一兩天的時間絕對不夠用
  - 有興趣可參考 elf/rtld.c
- 這邊最重要的是在執行程式時，要知道不是從 main 開始的

How programs get run

- _start
  - 將下列項目傳給 libc_start_main
    - 環境變數起始位置
  - .init
    - 呼叫 main 之前的初始化工作
  - .fini
    - 程式結束前的收尾工作

How programs get run

- _libc_start_main
  - 執行 .init
  - 執行 main
  - 執行 .fini
  - 執行 exit

Lazy binding

- Dynamic linking 的程式在執行過程中，有些 library 的函式可能到結束都不會執行到
- 所以 ELF 採取 Lazy binding 的機制，在第一次 call library 函式時，才會去尋找函式真正的位置進行 binding

Global Offset Table

- library 的位置再載入後才決定，因此無法在 compile 後，就知道 library 中的 function 在哪，該跳去哪
- GOT 為一個函式指標陣列，儲存其他 library 中，function 的位置，但因 Lazy binding 的機制，並不會一開始就把正確的位置填上，而是填上一段 plt 位置的 code

Global Offset Table

- 當執行到 library 的 function 時才會真正去尋找 function ，最後再把 GOT 中的位置填上真正 function 的位置

```
80484e8:       c7 04 24 b0 85 04 08    mov    DWORD PTR [esp],0x80485b0
80484ef:       e8 7c fe ff ff          call   8048370 <puts@plt>
80484f4:       b8 ff ff ff ff          mov    eax,0xffffffff
```

Global Offset Table

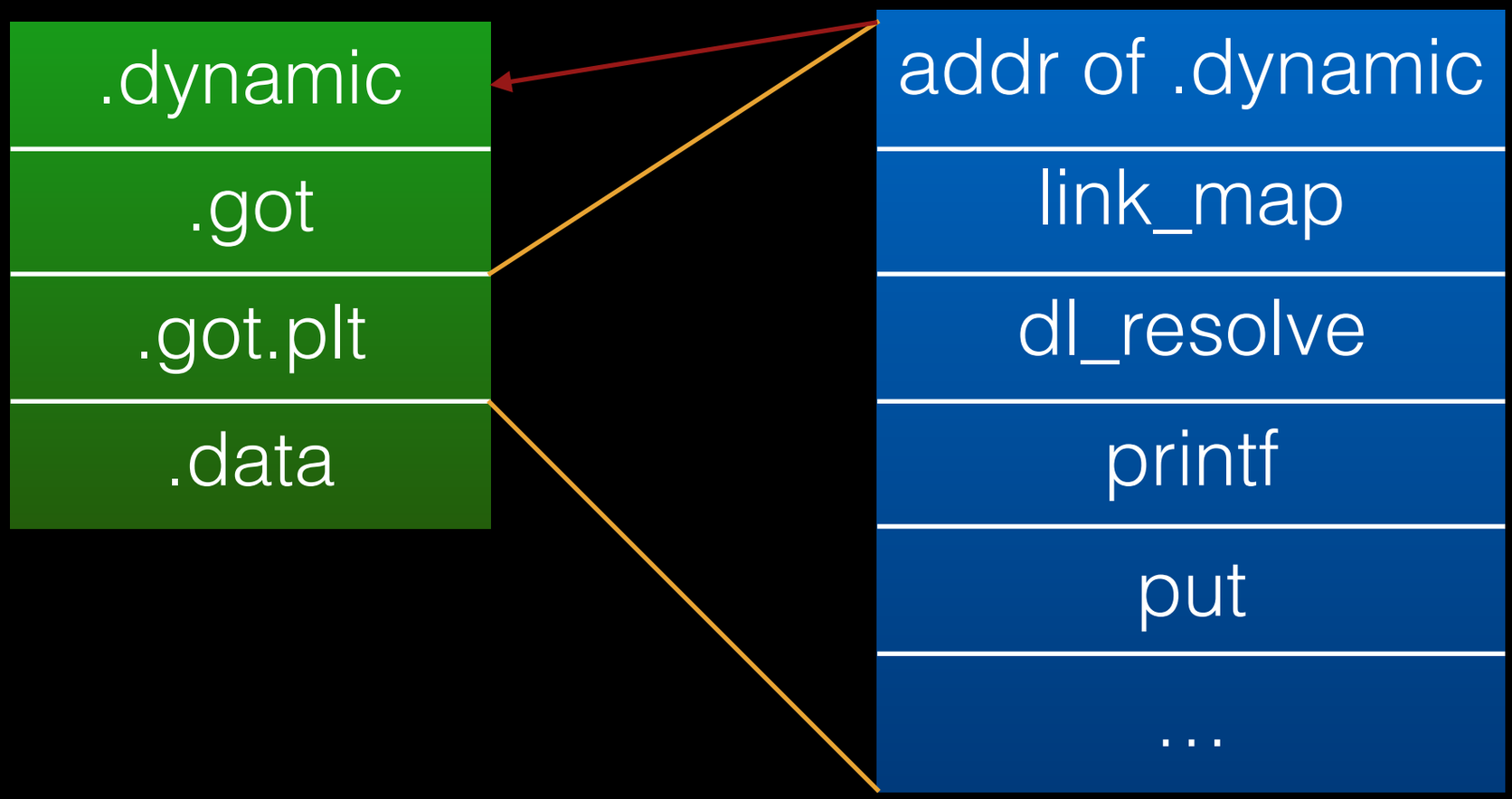
- 分成兩部分
  - .got
    - 保存全域變數引用位置
  - .got.plt
    - 保存函式引用位置

Global Offset Table

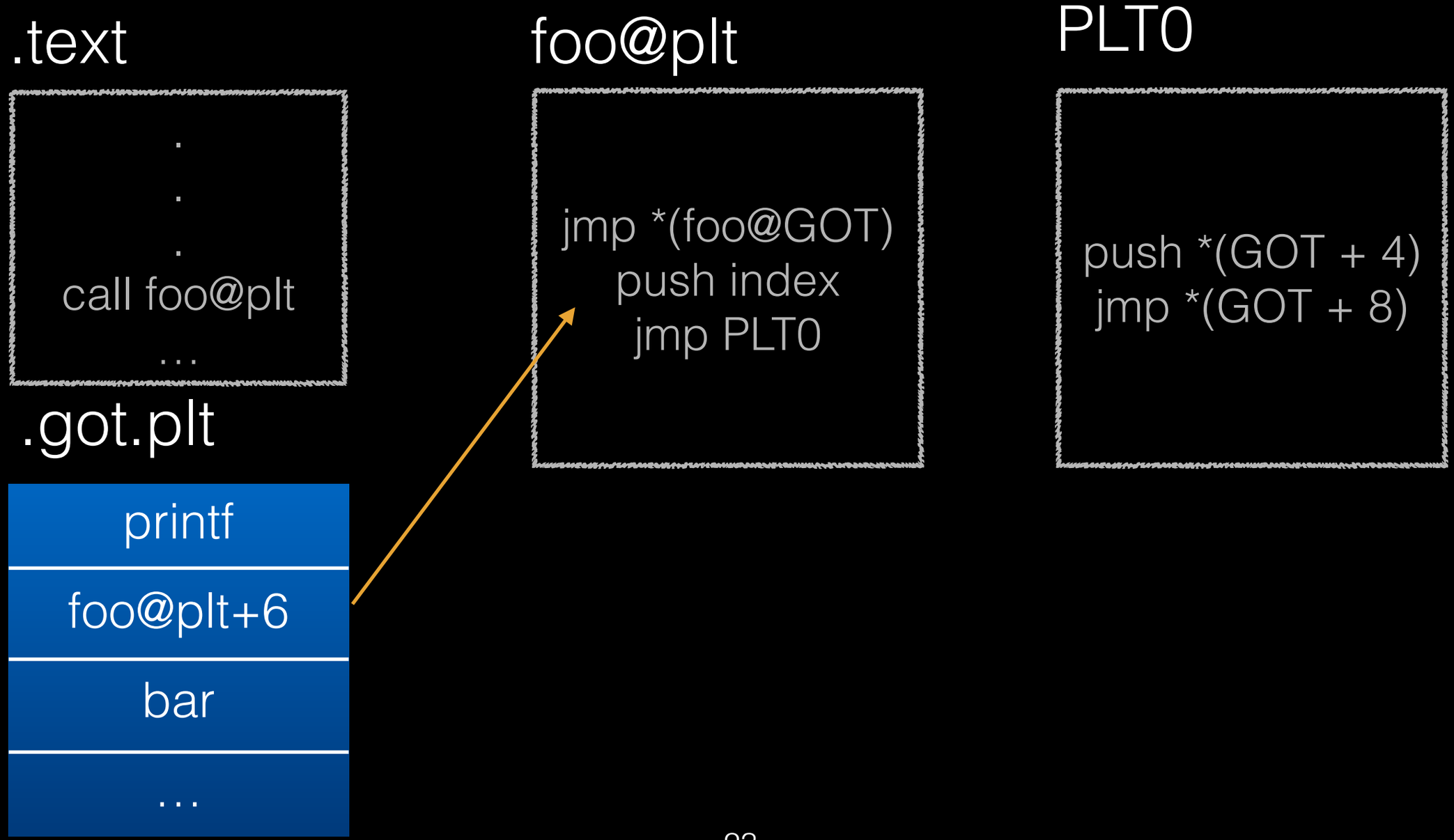
- .got.plt
  - 前三項有特別用途
    - address of .dynamic
    - link_map
      - 一個將有引用到的 library 所串成的 linked list
    - dl_runtime_resolve
      - 用來找出函式位置的函式
- 後面則是程式中 .so 函式引用位置

Global Offset Table

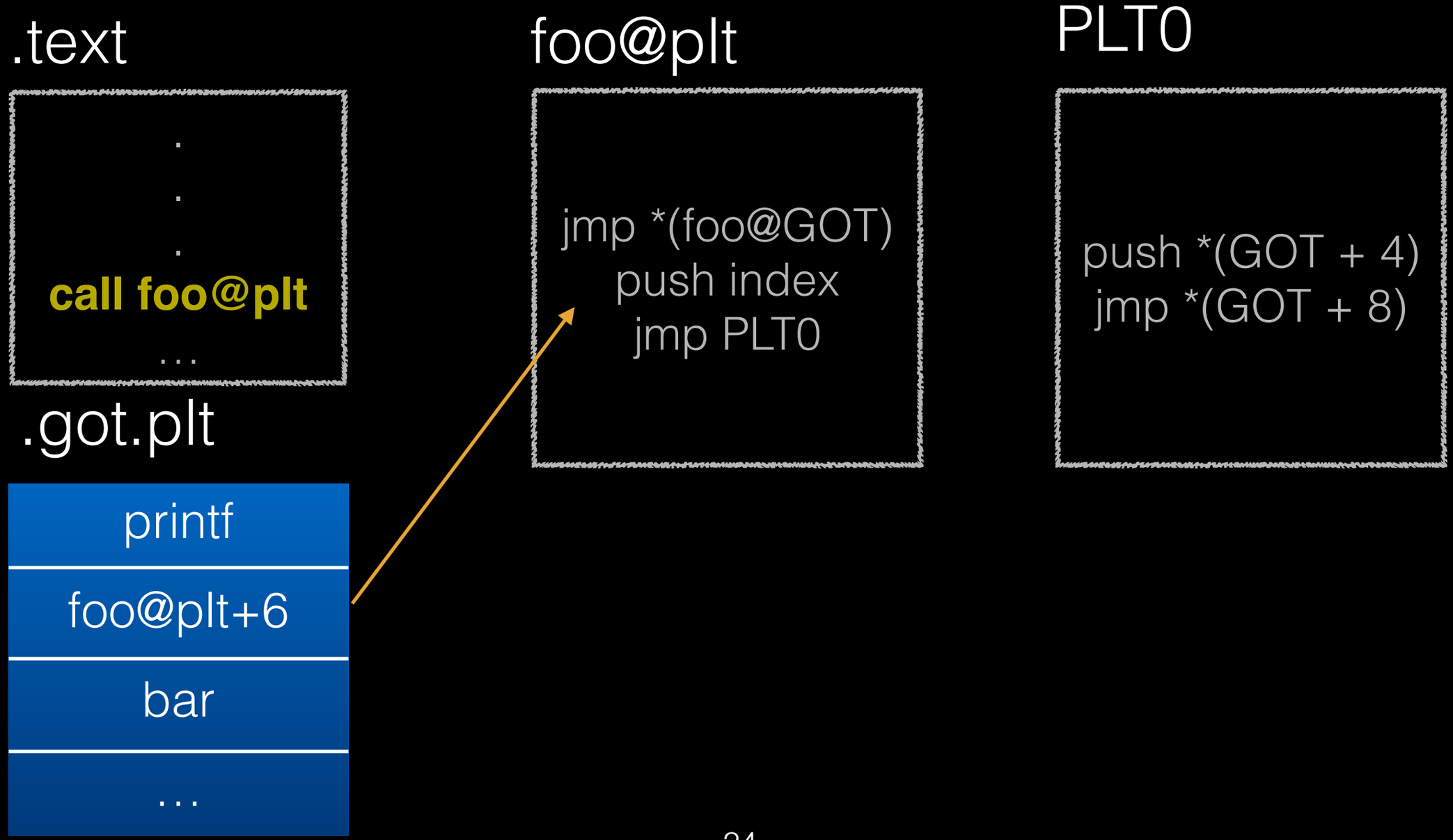
- layout



Lazy binding



Lazy binding



Lazy binding

.text

.
.
call foo@plt
…

.got.plt

printf
foo@plt+6
bar
…

foo@plt

jmp *(foo@GOT)
push index
jmp PLT0

PLT0

push *(GOT + 4)
jmp *(GOT + 8)

因 foo 還沒 call 過
所以 foo 在 .got.plt 中所存的值
會是.plt中的下一行指令位置
所以看起來會像沒有 jmp 過

Lazy binding

.text

.
.
call foo@plt
…

.got.plt

printf
foo@plt+6
bar
…

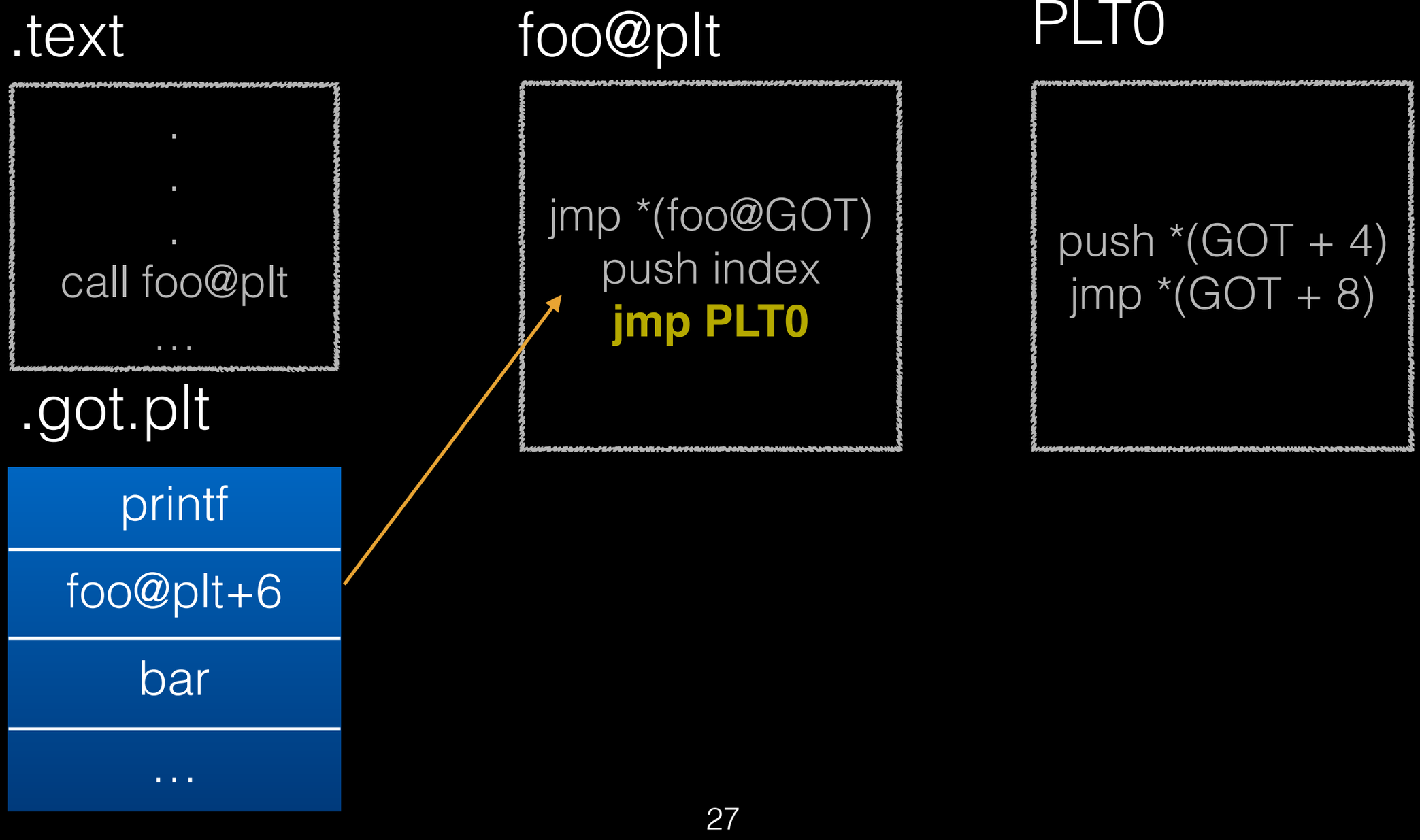
foo@plt

jmp *(foo@GOT)
push index
jmp PLT0

PLT0

push *(GOT + 4)
jmp *(GOT + 8)

Lazy binding



Lazy binding

.text

.
.
call foo@plt
…

.got.plt

printf
foo@plt+6
bar
…

foo@plt

jmp *(foo@GOT)
push index
jmp PLT0

PLT0

push *(GOT + 4)
jmp *(GOT + 8)

push link_map

Lazy binding

.text

.
.
call foo@plt
…

.got.plt

printf
foo@plt+6
bar
…

foo@plt

jmp *(foo@GOT)
push index
jmp PLT0

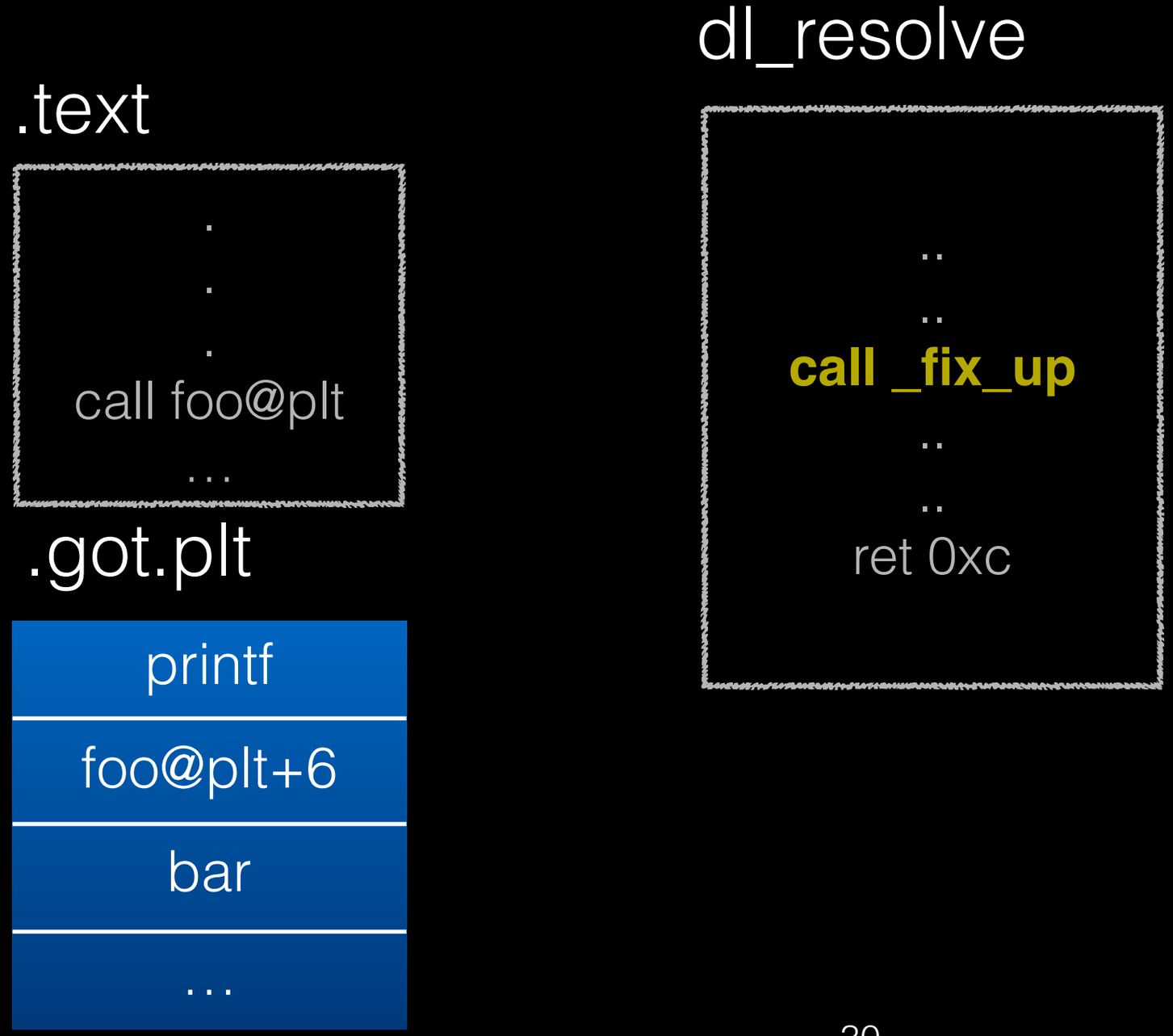
PLT0

push *(GOT + 4)
jmp *(GOT + 8)

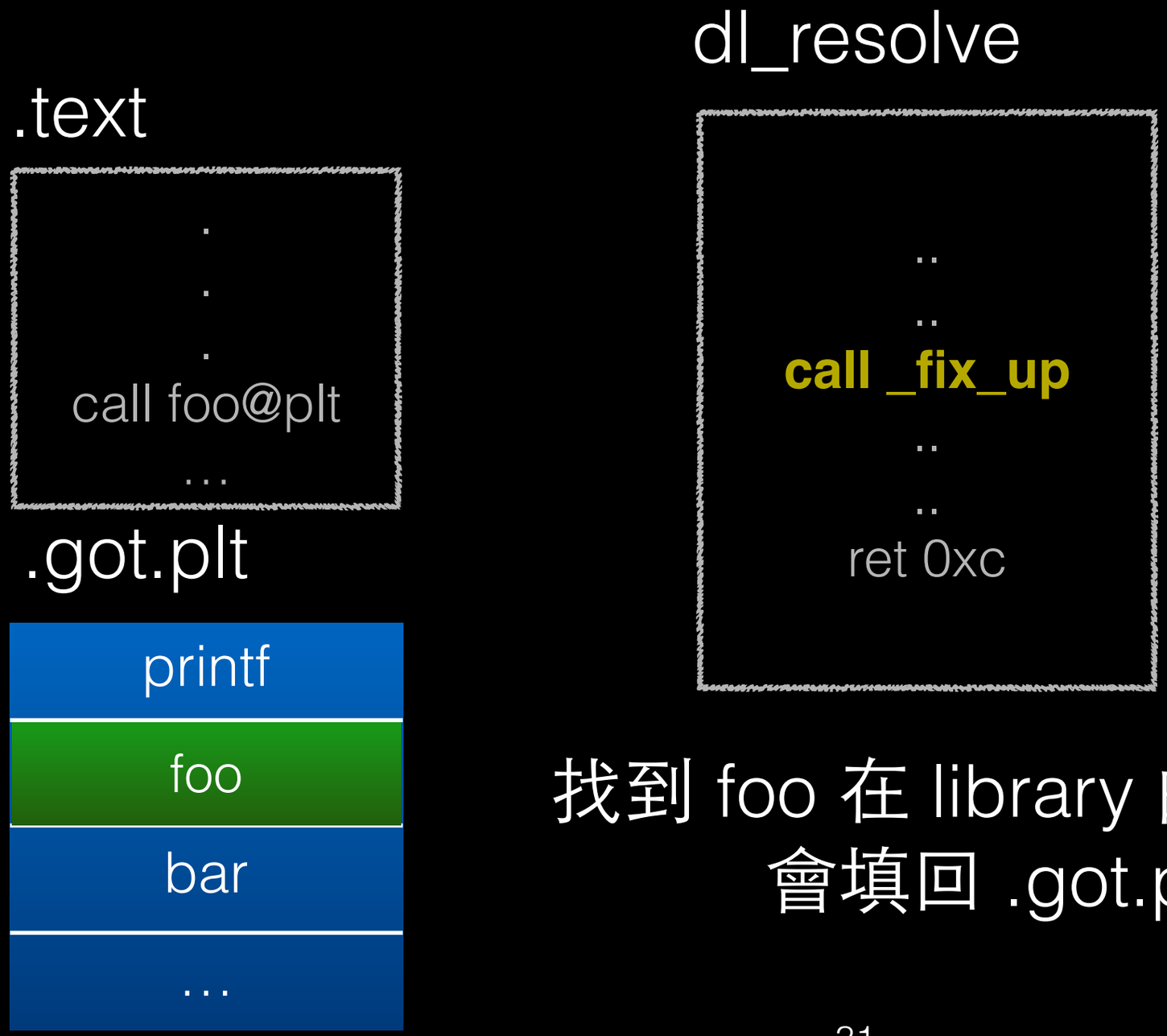
jmp dl_runtime_resolve

dl_runtime_resolve (link_map,index)

Lazy binding

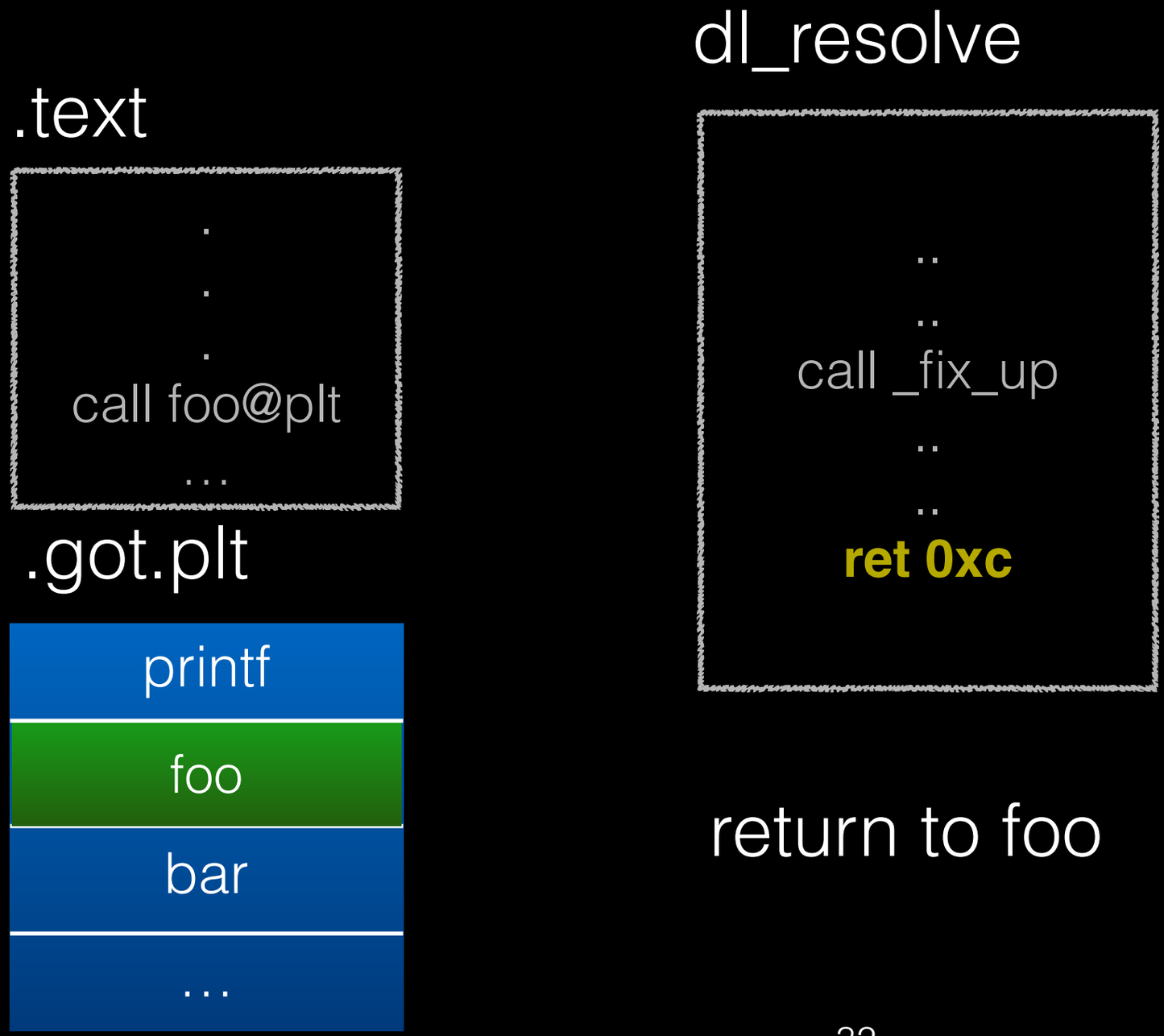


Lazy binding



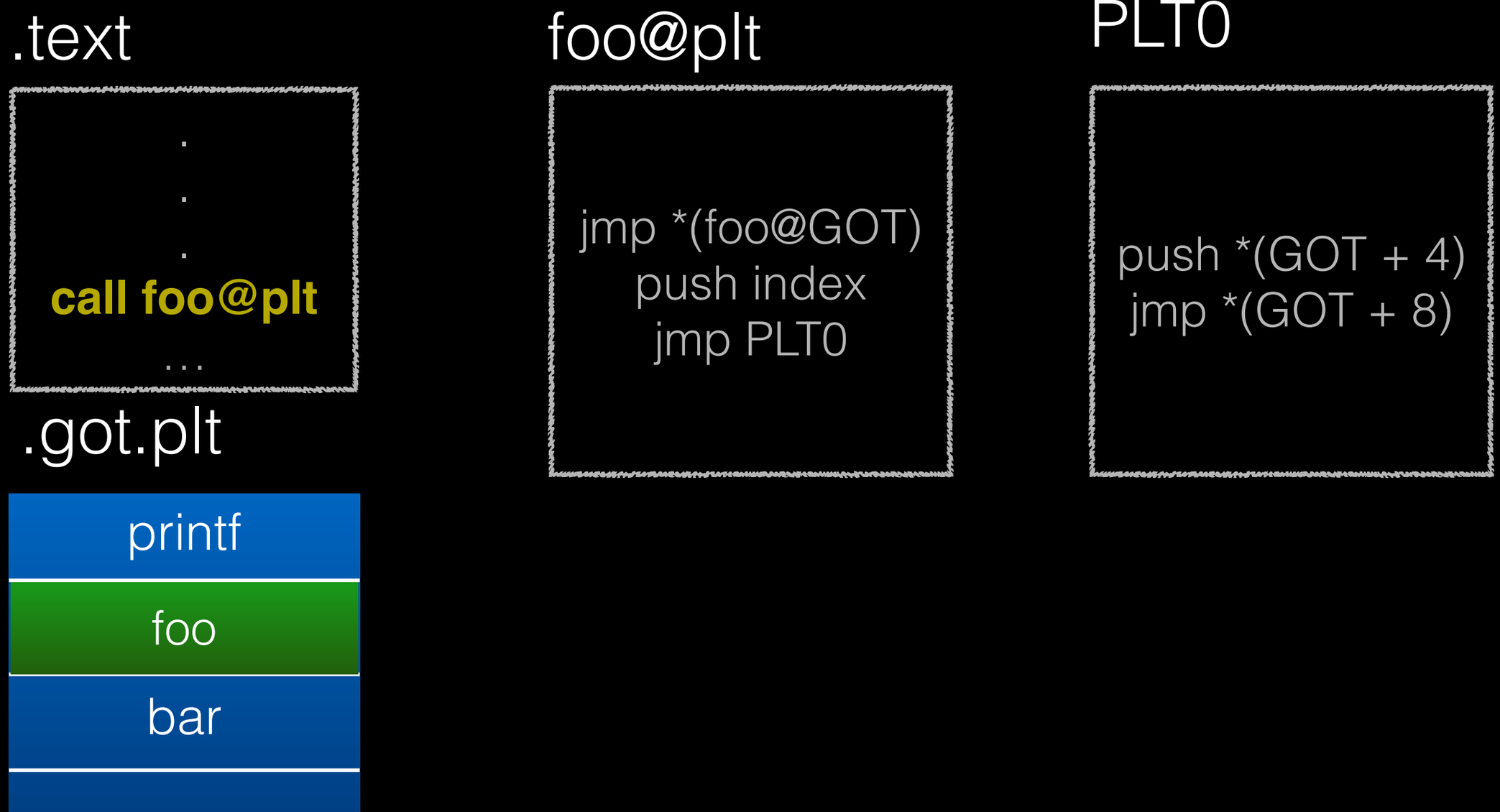
找到 foo 在 library 的位置後
會填回 .got.plt

Lazy binding



Lazy binding

- 第二次 call foo 時



Lazy binding

- 第二次 call foo 時

.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
…

Jmp to foo function

How to find the GOT

- objdump -R elf or readelf -r elf

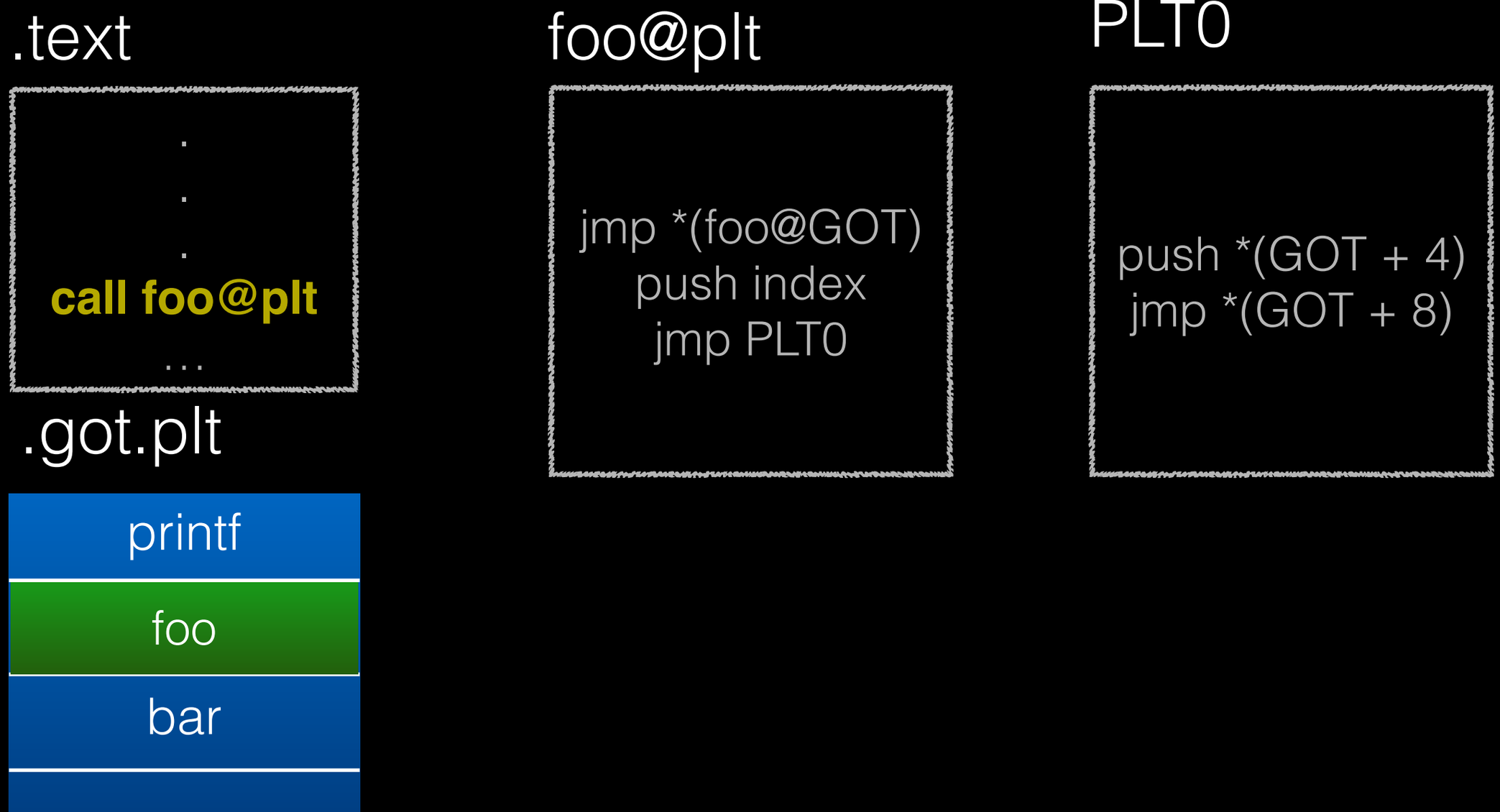
```
angelboy@angelboy-adl:~$ objdump -R hello

hello:     file format elf32-i386

DYNAMIC RELOCATION RECORDS
OFFSET   TYPE              VALUE
08049ffc R_386_GLOB_DAT    __gmon_start__
0804a00c R_386_JUMP_SLOT   __stack_chk_fail@GLIBC_2.4
0804a010 R_386_JUMP_SLOT   strcpy@GLIBC_2.0
0804a014 R_386_JUMP_SLOT   puts@GLIBC_2.0
0804a018 R_386_JUMP_SLOT   __gmon_start__
0804a01c R_386_JUMP_SLOT   __libc_start_main@GLIBC_2.0
```

GOT Hijacking

- 為了實作 Lazy binding 的機制 GOT 位置必須是可寫入的
- 但如果程式有存在任意更改位置的漏洞，便可改寫 GOT ，造成程式流程的改變
- 也就是控制 eip

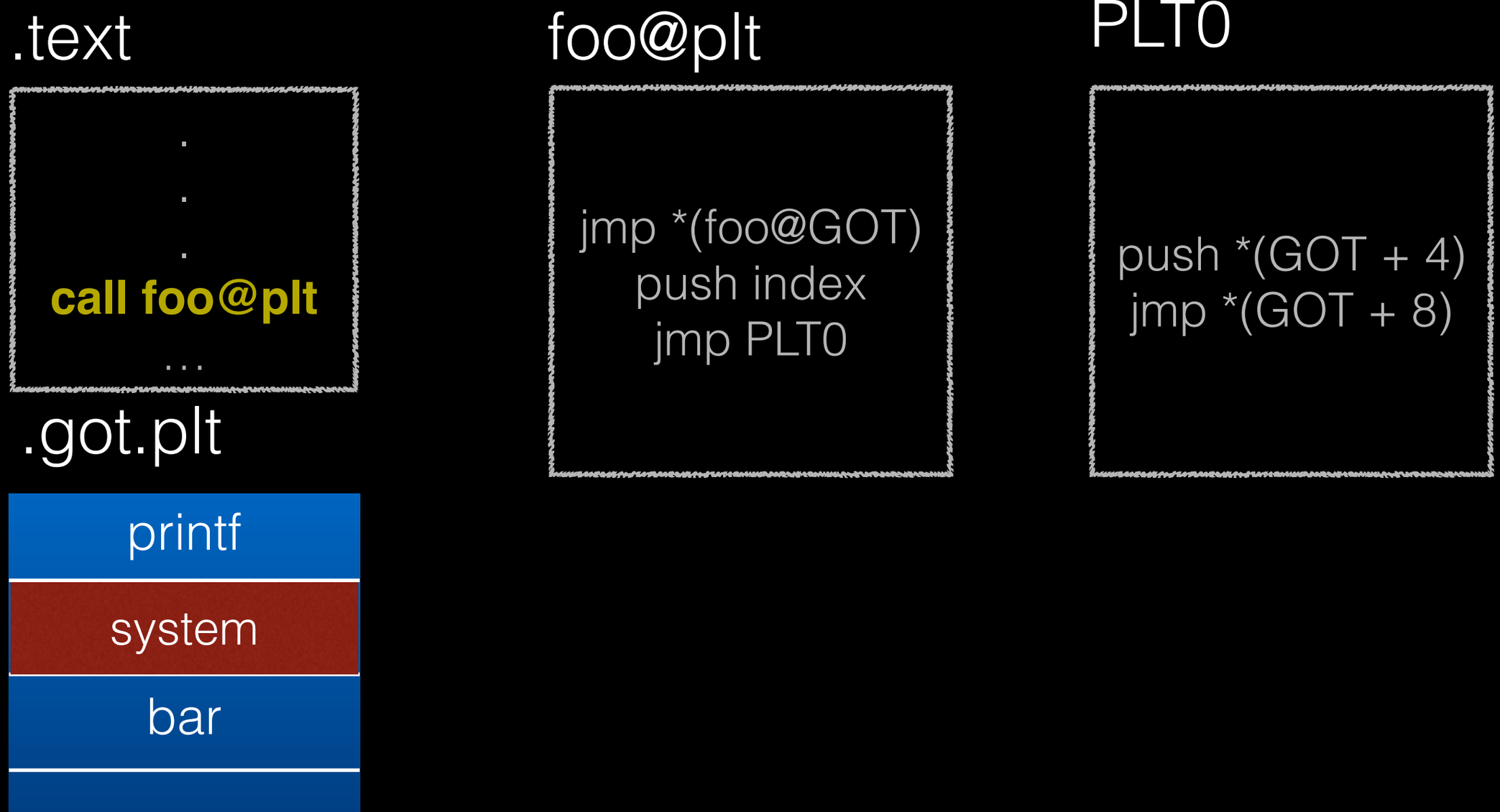
GOT Hijacking

- 第二次 call foo 時



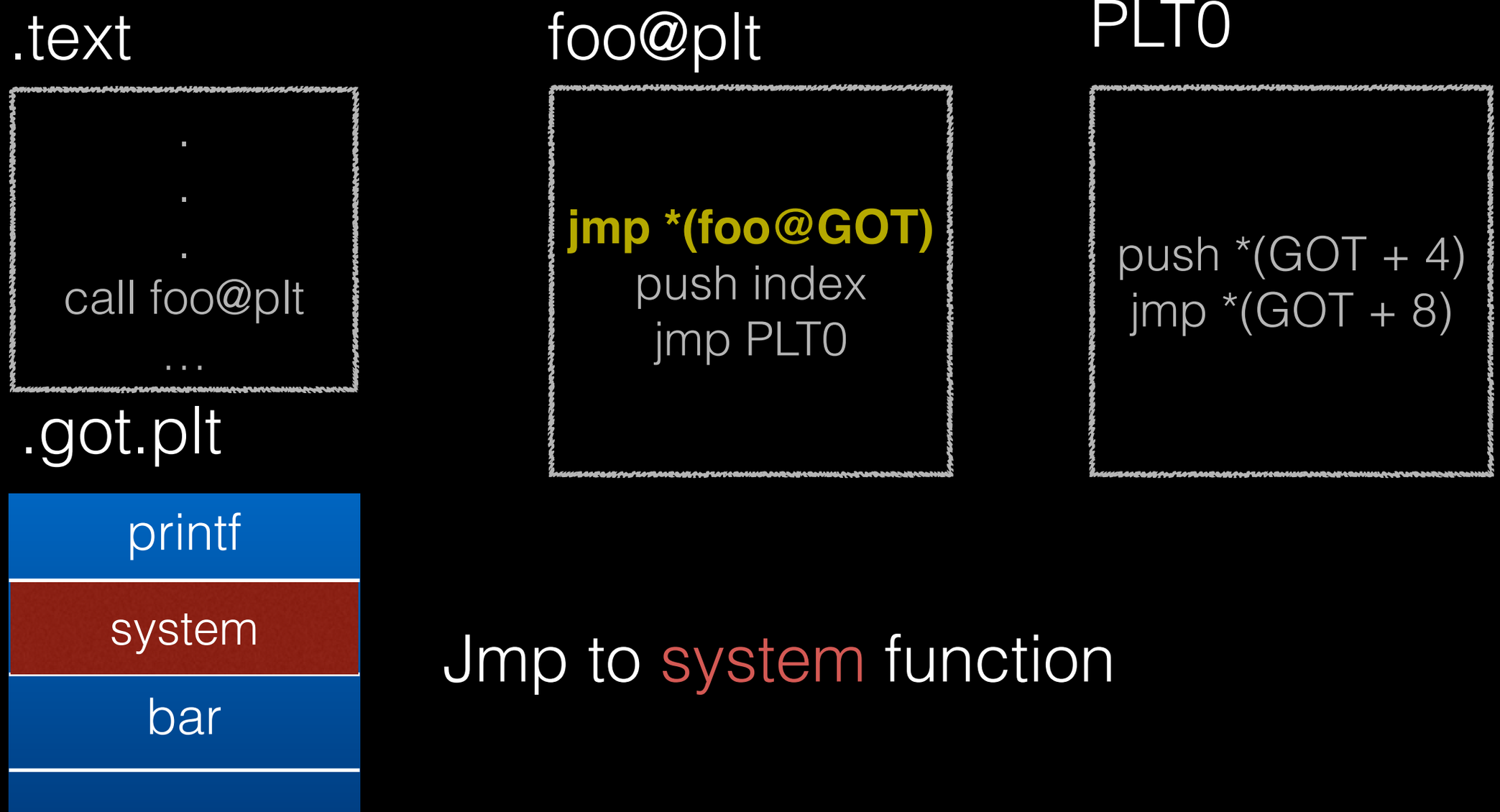
GOT Hijacking

- 第二次 call foo 時



GOT Hijacking

- 第二次 call foo 時



Jmp to system function

Reference

- Glibc cross reference
- Linux Cross Reference
- 程式設計師的自我修養

Q & A