目 录

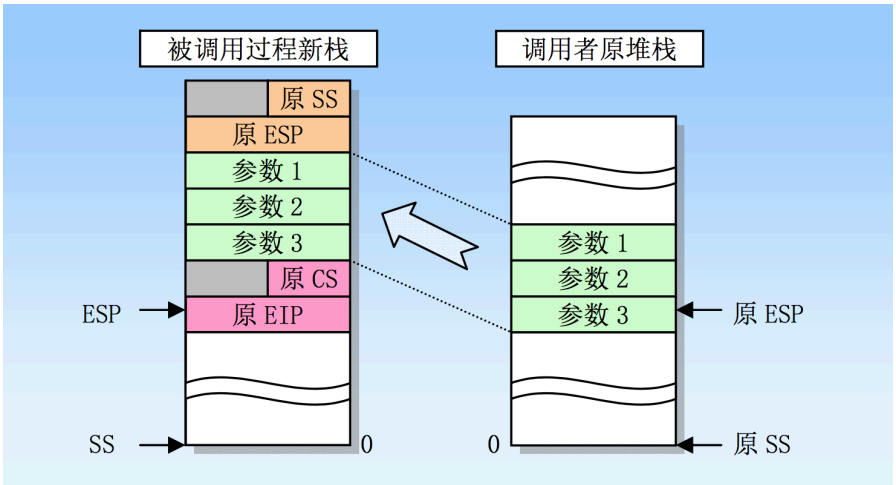
1 实现特权级转移

1.1 理论知识

特权级转移需要借助堆栈切换。当调用门用于把程序控制转移到一个更高级别的非一致性代码段时，处理器会自动切换到目的代码段特权级的堆栈。此时处理器会按照以下步骤切换堆栈：

- 当前任务的 TSS 段存放着特权级 0、1 和 2 的堆栈的初始指针值。处理器会将目的代码段的 DPL 作为新任务的 CPL，并从 TSS 中选择新栈的 SS 和 ESP。
- 将 SS 和 ESP 寄存器的当前值压入新栈，并将新栈的段选择符和栈指针加载到 SS 和 ESP。
- 将调用门描述符中指定的参数从当前栈压入新栈。参数数目由调用门描述符中的 PARAM COUNT 字段决定。
- 将 CS 和 EIP 寄存器的当前值压入新栈，并将目的代码段选择符加载到 CS，将调用门选择符中的偏移值加载到 EIP 中。

调用过程如下图所示：



当调用过程结束后，处理器使用 RET 执行远返回到一个调用过程。此时 CPU 会执行以下步骤：

- 检查保存的 CS 寄存器中的 RPL 字段值，以确定返回时特权级是否需要改变。
- 弹出新栈中的 CS 和 EIP 值，并且检查代码段描述符的 DPL 和代码段选择符的 RPL。

- 如果返回过程会改变特权级，而且此时 RET 指令包含一个参数个数操作数，那么就需要在弹出 CS 和 EIP 之后，将参数个数值加载到 ESP 寄存器中，用于丢弃新栈中的参数。
- 弹出 SS 和 ESP，从而切换回调用者的堆栈。
- 检查 DS、ES、FS 和 GS，如果其中的段选择符指向的段描述符的 DPL 小于新 CPL(仅适用于一致代码段)，处理器将用空选择符来加载这个段寄存器。

综上，使用调用门实现不同特权级之间的调用可以分为两个过程，一个是通过调用门和 call 指令实现从低特权级转移到高特权级，另一个是通过 ret 指令实现从高特权级到低特权级。

1.2 代码实现

1.2.1 高特权级到低特权级

根据上一节可知，处理器通过 ret 指令实现从高特权级到低特权级。在 ret 指令执行之前，堆栈中应该已经有了 ss、esp、cs 和 eip。如下图所示：

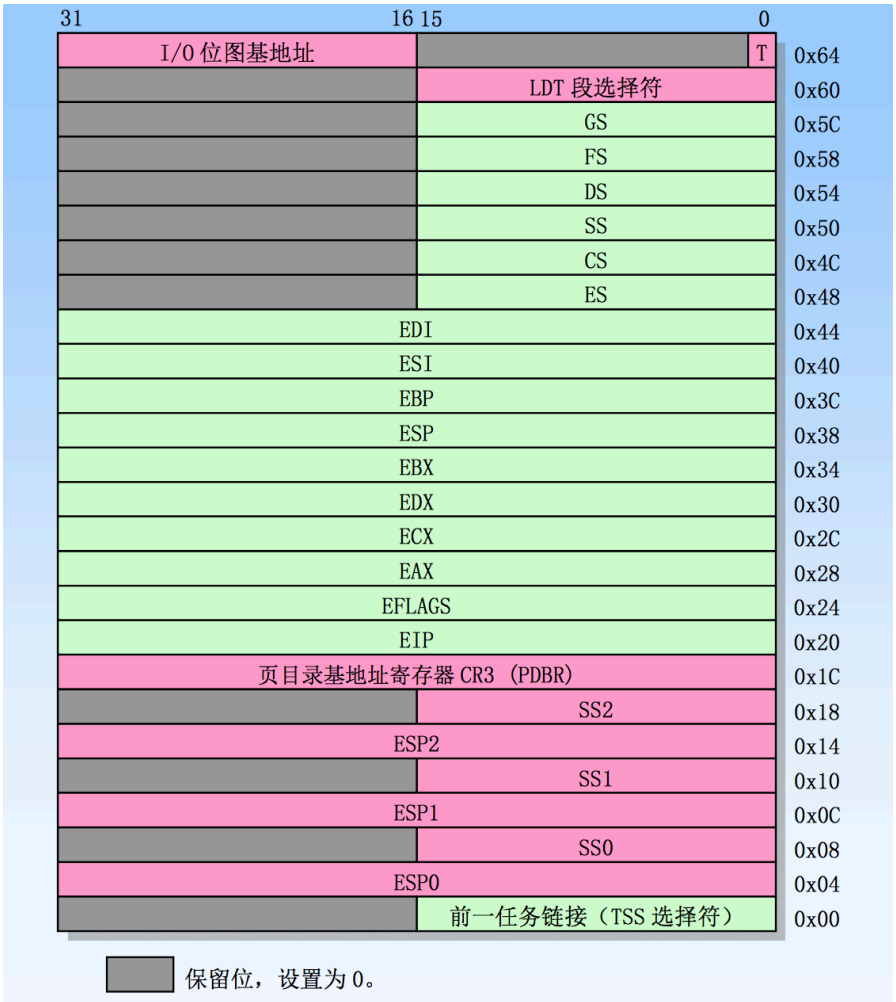
首先添加一个特权级为 3 的代码段，为了实现代码段转移，我们需要添加一个代码段和相应的堆栈段。先是在 GDT 表中添加该代码段和堆栈段的描述符，然后定义堆栈段 ring3 和代码段 ring3。随后，我们在 32 位代码段中通过执行 retf 指令跳转到 ring3 代码段中。

```
1    ; 在GDT中添加相应的代码段和堆栈段
2    [SECTION .gdt]
3    ; ...
4    ; 特权级为3
```

```
5     LABEL_DESC_CODE_RING3: Descriptor 0, SegCodeRing3Len-1, DA_C+DA_32+DA_DPL3
6     LABEL_DESC_STACK3: Descriptor 0, TopOfStack3, DA_DRWA+DA_32+DA_DPL3
7     ; ...
8     ; 请求特权级为3
9     SelectorCodeRing3 equ LABEL_DESC_CODE_RING3-LABEL_GDT+SA_RPL3
10    SelectorStack3 equ LABEL_DESC_STACK3-LABEL_GDT+SA_RPL3
11    ; ...
12    ; 定义堆栈段ring3
13    [SECTION .s3]
14    ALIGN 32
15    [BITS 32]
16    LABEL_STACK3:
17        ; 该堆栈段有512个字节大小
18        times 512 db 0
19    TopOfStack3 equ $-LABEL_STACK3-1
20    ; ...
21    ; 定义代码段ring3
22    [SECTION .ring3]
23    ALIGN 32
24    [BITS 32]
25    LABEL_CODE_RING3:
26        mov ax, SelectorVideo
27        mov gs, ax
28        mov edi, (80*14 + 0) * 2
29        mov ah, 0Ch
30        mov al, '3'
31        mov [gs:edi], ax
32        jmp $
33    SegCodeRing3Len equ $-LABEL_CODE_RING3
34    ; ...
35    [SECTION .s32]
36    [BITS 32]
37    LABEL_SEG_CODE32:
38        ; ...
39        ; 压入ss
40        push SelectorStack3
41        ; 压入esp
42        push TopOfStack3
43        ; 压入cs
44        push SelectorCodeRing3
45        ; 压入eip
46        push 0
47        ; 执行ret指令
48        retf
```

1.2.2 低特权级到高特权级

从低特权级到高特权级转移的时候，需要用到 TSS，所以要添加 TSS 段。需要根据 TSS 的结构定义 TSS，TSS 的结构如下图:




```
1   [SECTION .gdt]
2   LABEL_DESC_TSS: Descriptor 0, TSSLen-1, DA_386TSS
3   ; ...
4   SelectorTSS equ LABEL_DESC_TSS-LABEL_GDT
5   ; ...
6   [SECTION .tss]
7   ALIGN
8   [BITS 32]
9   LABEL_TSS:
10      DD 0 ; 前一任务链接
11      DD TopOfStack    ; 0级堆栈段基址
12      DD SelectorStack ; 0级堆栈选择符
13      DD 0 ; 1级堆栈段基址
14      DD 0 ; 1级堆栈选择符
15      DD 0 ; 2级堆栈段基址
16      DD 0 ; 2级堆栈选择符
17      DD 0 ; CR3
18      DD 0 ; EIP
```

```
        DD 0 ; EFLAGS
        DD 0 ; EIP
        DD 0 ; EAX
        DD 0 ; ECX
        DD 0 ; EDX
        DD 0 ; EBX
        DD 0 ; ESP
        DD 0 ; EBP
        DD 0 ; ESI
        DD 0 ; EDI
        DD 0 ; ES
        DD 0 ; CS
        DD 0 ; SS
        DD 0 ; DS
        DD 0 ; FS
        DD 0 ; GS
        DD 0 ; LDT段选择符
        DW 0 ; 调试陷阱T标志位
        DW $-LABEL_TSS+2 ; I/O位图基址
        DB 0ffh ; I/O位图结束标志
    TSSLen equ $-LABEL_TSS
```

接着添加调用门，用于不同特权级的转移。调用门的添加步骤在第四次中已经讲到了，在这里就不再详细论述。添加调用门成功后，就可以在 ring3 代码段中通过调用门转移到特权级为 0 的代码段中。

```
[SECTION .gdt]
; ...
; 定义一个特权级为0的代码段
LABEL_DESC_CODE_TEST: Descriptor 0, SegCodeDestLen-1, DA_C+DA_32
; 定义一个能够跳转到0特权级代码段的门描述符
LABEL_CALL_GATE_TEST: Gate SelectorCodeDest, 0, 0, DA_386Gate+DA_DPL3
; ...
SelectorCallGateTest equ LABEL_CALL_GATE_TEST - LABEL_GDT

; 在32位代码段中加载TSS描述符
; 需要在特权级变换之前加载TSS描述符
[SECTION .s32]
; ...
mov ax, SelectorTSS
ltr ax
; ...

; 在ring3代码段中通过调用门跳转到特权级为0的代码段中
[SECTION .ring3]
ALIGN 32
[BITS 32]
LABEL_CODE_RING3:
    mov ax, SelectorVideo
    mov gs, ax
    mov edi, (80 * 14 + 0) * 2
    mov ah, 0Ch
    mov al, '3'
    mov [gs:edi], ax
    call SelectorCallGateTest:0
```

```
30          jmp $
31      SegCodeRing3Len equ $-LABEL_CODE_RING3
```