实验课程: 操作系统

实验名称: 从实模式到保护模式

专业名称: 计算机科学与技术

学生姓名: 吴臻

学生学号: 21307371

实验地点: 实验中心大楼D栋501

实验成绩：

报告时间: 2023/3/26

1. 实验要求

学习到如何从16位的实模式跳转到32位的保护模式，然后在平坦模式下运行32位程序。同时将学习到如何使用I/O端口和硬件交互

2. 预备知识与实验环境

读写I/O端口

每一个端口在I/O电路中都会被统一编址。例如，主硬盘分配的端口地址是0x1f00x1f7，从硬盘分配的端口地址是0x1700x177，因为端口是独立编址的，因此我们无法使用mov指令来对端口赋值，我们使用的是in,out指令。读端口使用in指令，写端口使用out指令

```
; in指令
in al, 0x21 ; 表示从0x21端口读取一字节数据到al
in ax, 0x21 ; 表示从端口地址0x21读取1字节数据到al，从端口地址0x22读取1字节到ah

mov dx,0x379
in al, dx  ; 从端口0x379读取1字节到al

; out指令
out 0x21, al ; 将al的值写入0x21端口
out 0x21, ax ; 将ax的值写入端口地址0x21开始的连续两个字节
mov dx, 0x378
out dx, ax  ; 将ah和al分别写入端口0x379和0x378
```

> in指令的源操作数只能是立即数或dx，目的操作数只能是ax和al；out指令的源操作数只能是al或ax，目的操作数只能是立即数或dx。

读写硬盘

1. **设置起始的逻辑扇区号** 逻辑扇区号是被分成4段写入端口的。其中，逻辑扇区的07位被写入0x1F3端口，815位被写入0x1F4端口，16~23位被写入0x1F5端口，最后4位被写入0x1F6端口的低4位

2. 将要读取的扇区数量写入**0x1F2**端口
3. 向**0x1F7**端口写入**0x20**，请求硬盘读。
4. 等待其他读写操作完成
5. 若在第**4**步中检测到其他操作已经完成，那么我们就可以正式从硬盘中读取数据

3. 实验任务

1. 加载bootloader，总结bootloader的作用是什么
2. 将LBA28读取硬盘的方式换成CHS读取，同时给出逻辑扇区号向CHS的转换公式
3. 进入保护模式”一节，使用gdb或其他debug工具在进入保护模式的4个重要步骤上设置断点，并结合代码、寄存器的内容等来分析这4个步骤
4. 在进入保护模式后，按照如下要求，编写并执行一个自己定义的32位汇编程序，要求简单说一说你的实现思路，并提供结果截图。 使用两种不同的自定义颜色和一个自定义的起始位置(x,y)，使得bootloader加载后，在显示屏坐标(x,y)处开始输出自己的学号+姓名拼音首字母缩写，要求相邻字符前景色和背景色必须是相互对调的。公告图片中提供了学号为21307233，姓名为宋小宝，自定义位置(12,12)的输出样式，仅供参考

4. 实验步骤/关键代码/实验结果

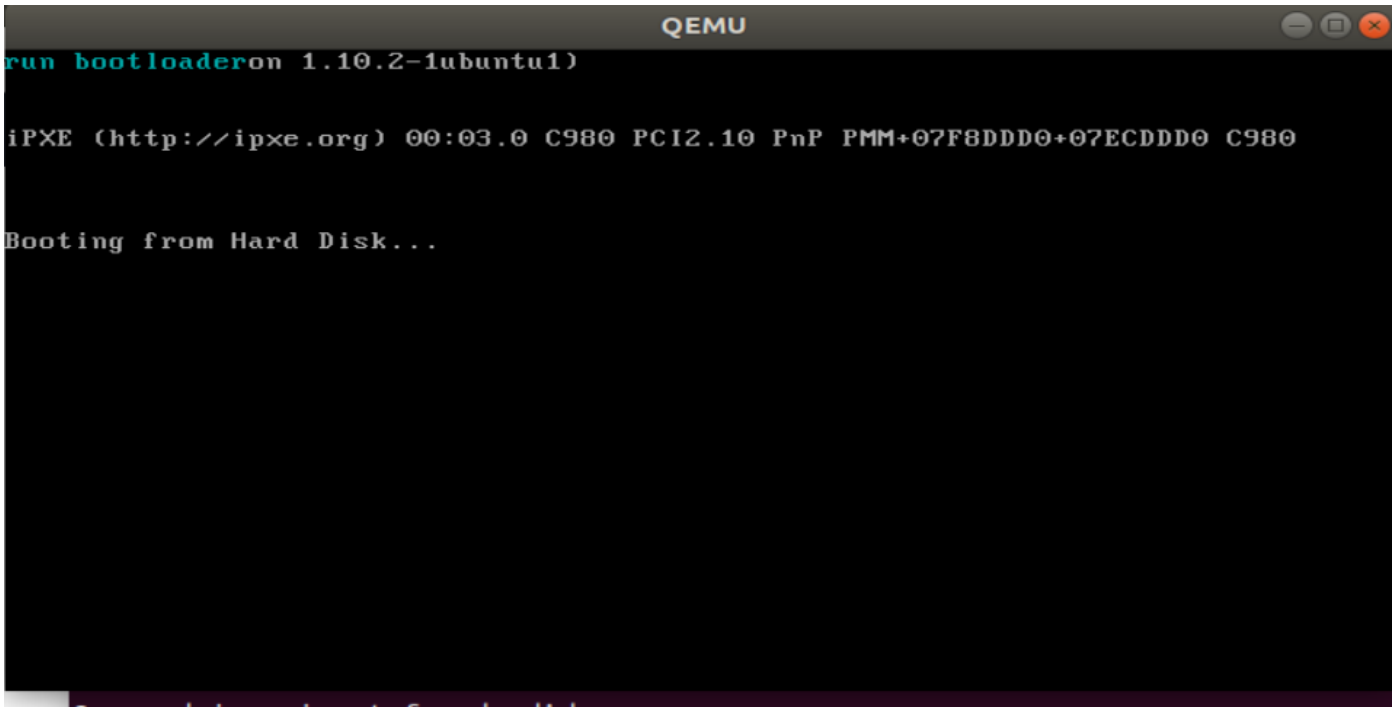
实验任务一

要求：加载**bootloader**，总结**bootloader**的作用是什么

> 步骤：根据预备知识中的读写I/O端口和读写硬盘，将参数读入0x1f0~0x1f7，然后将硬盘内容放入ds:bx

```
    mov dx, 0x1f3
    out dx, al    ; LBA地址7~0

    inc dx        ; 0x1f4
    mov al, ah
    out dx, al    ; LBA地址15~8

    mov ax, cx

    inc dx        ; 0x1f5
    out dx, al    ; LBA地址23~16

    inc dx        ; 0x1f6
```

```
    mov al, ah
    and al, 0x0f
    or al, 0xe0    ; LBA地址27~24
    out dx, al

    mov dx, 0x1f2
    mov al, 1
    out dx, al    ; 读取1个扇区

    mov dx, 0x1f7     ; 0x1f7
    mov al, 0x20      ;读命令
    out dx,al

    ; 等待处理其他操作
    .waits:
    in al, dx         ; dx = 0x1f7
    and al,0x88
    cmp al,0x08
    jnz .waits


    ; 读取512字节到地址ds:bx
    mov cx, 256    ; 每次读取一个字，2个字节，因此读取256次即可
    mov dx, 0x1f0
    .readw:
    in ax, dx
    mov [bx], ax
    add bx, 2
    loop .readw
```



> MBR加载bootloader bootloader的作用：输出“run bootloader”

实验任务二

要求：将**LBA28**读取硬盘的方式换成**CHS**读取，同时给出逻辑扇区号向**CHS**的转换公式

步骤:将**LBA**转换为**CHS**,然后将相关参数放入寄存器,然后调用**INT 13h**中断

> 柱面、磁头从0开始，扇区从1开始,LBA编号从0开始

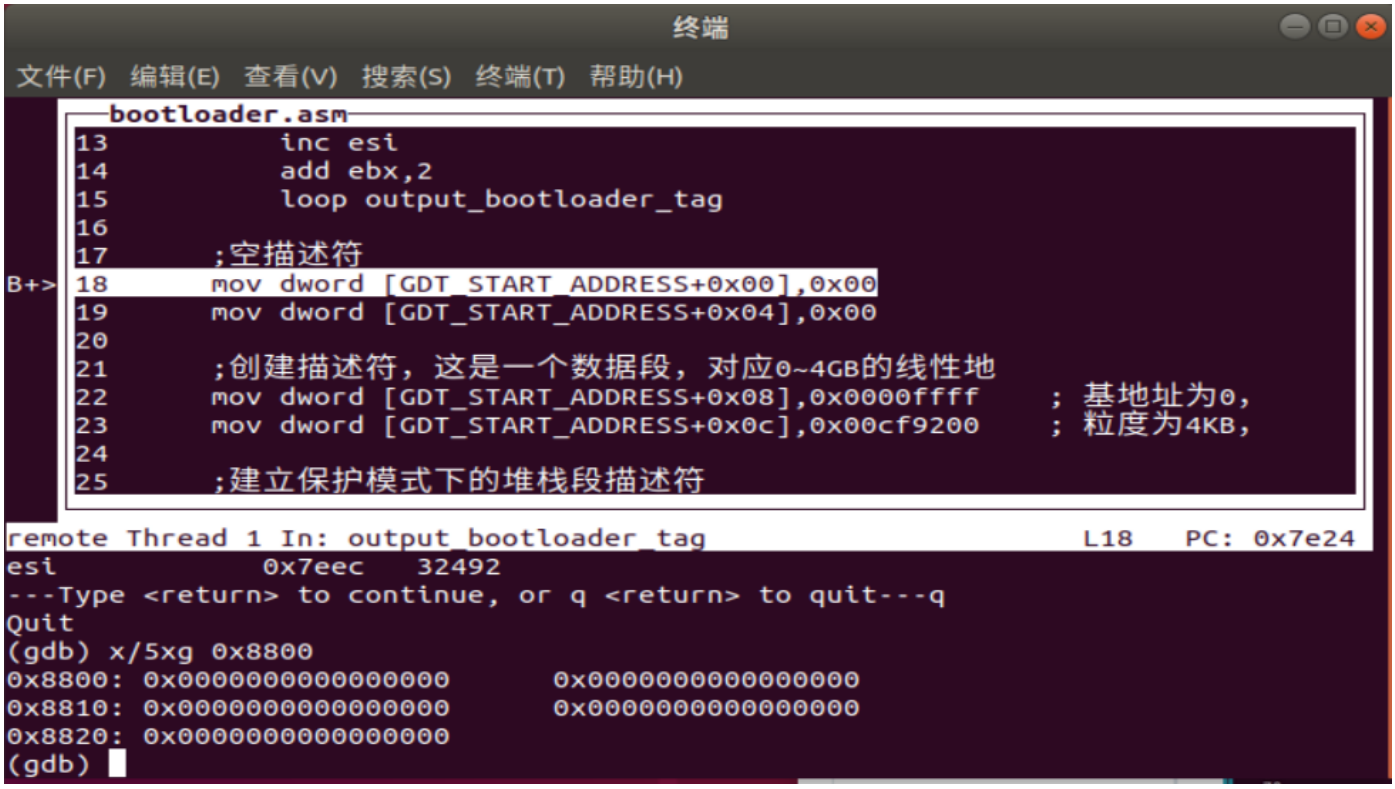
> 以C、H、S分别表示当前硬盘的柱面号、磁头号、扇区号，CS、HS、SS分别表示起始柱面号、磁头号、扇区号，PS表示每磁道扇区数，PH表示每柱面总的磁道数。 一般情况下，CS=0，HS=0，SS=1，PS=63，PH=18 C=LBA DIV（PH×PS）+CS H=（LBA DIV PS）MOD PH+HS S=LBA MOD PS+SS

```
    push ax             ;保证逻辑扇区号不会被改变
    push cx
;LBA ->  CHS
    xor dx, dx
    div word[SectorsPerTrack]       ;得到 (LBA DIV PS) 和  (LBA MOD PS)
    inc dl
    mov byte[sector],dl                 ;扇区编号从1开始
    xor dx, dx
    div  word [HeadsPerCylinder]        ;得到 (LBA DIV PS) MOD PH 和 LBA DIV
 (PH×PS)
    mov  byte [head], dl
    mov  byte [cylinder], al

;
    mov ah, 02h      ; AH = 02h, 读取扇区
    mov al, 01h      ; AL = 01h, 读取一个扇区
    mov ch, [cylinder] ; cylinder是逻辑扇区号转换后的柱面号
    mov dh, [head]     ; head是逻辑扇区号转换后的磁头号
    mov cl, [sector]   ; sector是逻辑扇区号转换后的扇区号
    mov dl, 80h      ; DL = 80h, 读取80h号硬盘
    int 0x13          ; 调用INT 13h中断读取硬盘数据
    add bx,512
    pop cx
    pop ax
    ret

cylinder db 0
head db 0
sector db 0
SectorsPerTrack dw  63
HeadsPerCylinder dw 18
```

实验任务三

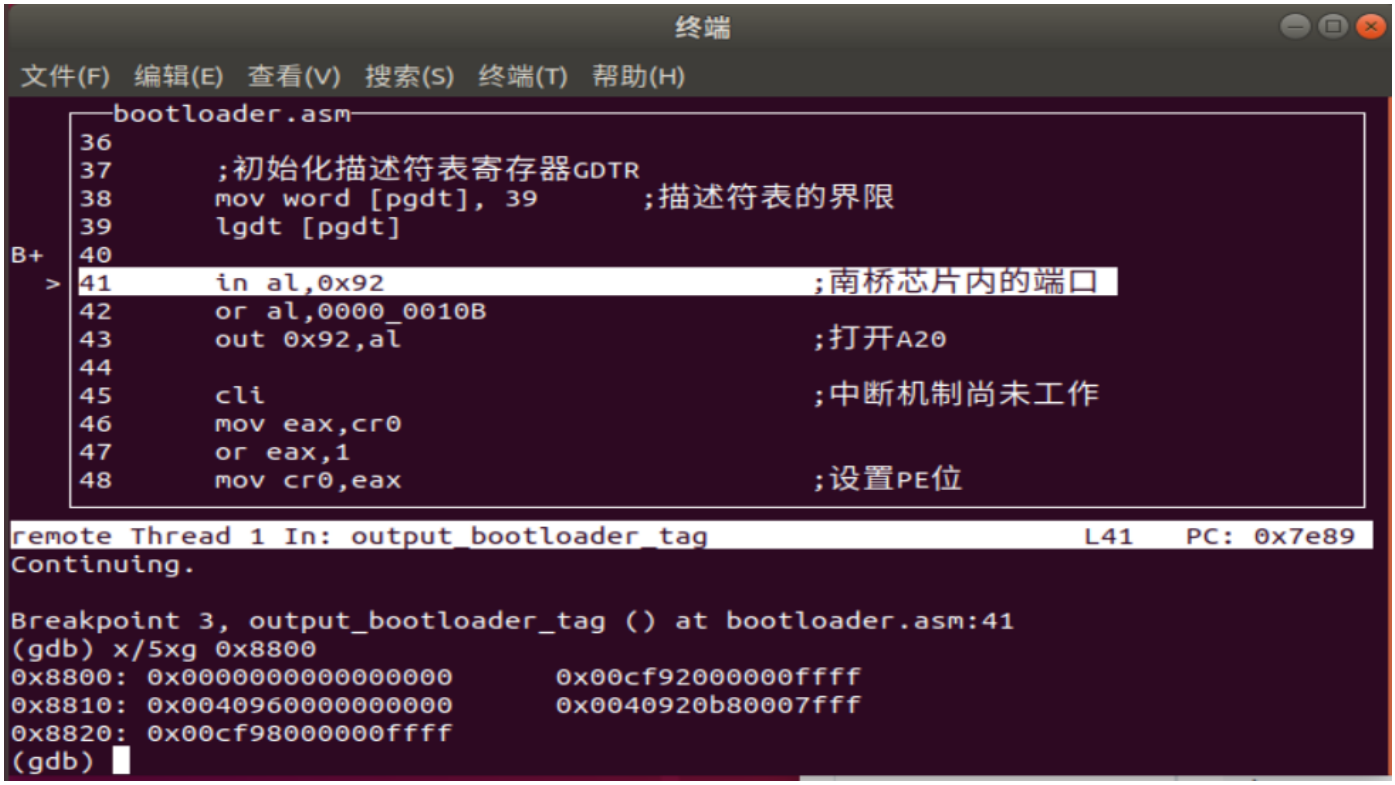
要求：进入保护模式”一节，使用**gdb**或其他**debug**工具在进入保护模式的**4**个重要步骤上设置断点，并结合代码、寄存器的内容等来分析这**4**个步骤

初始状态



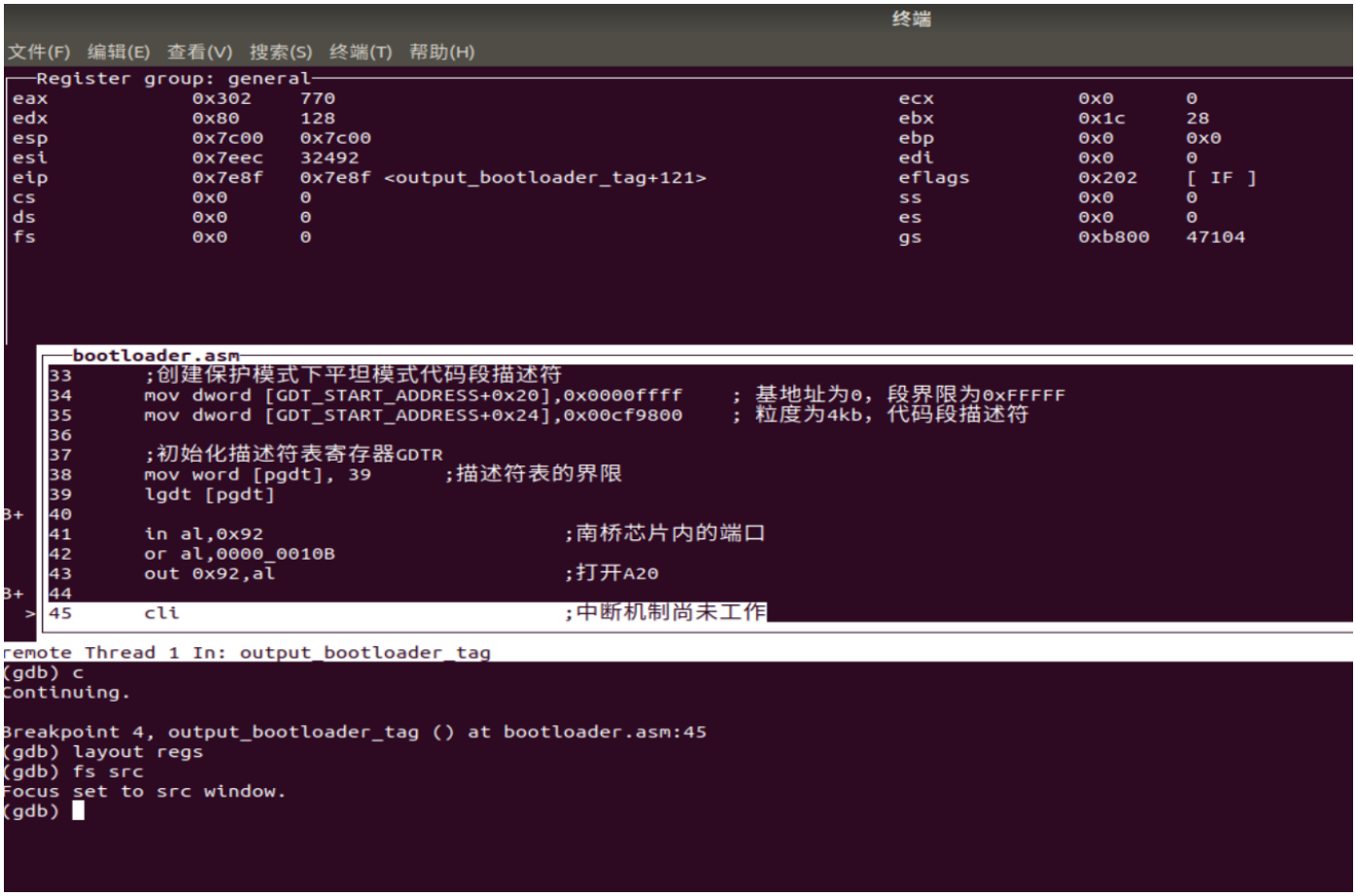
1.准备GDT，用lgdt指令加载GDTR信息。

> 可以从下图看到GDT已加载到相应地址



2.打开第21根地址线。

> 在实模式下，A20Gate是关闭的，意味着只能使用20根地址线，需要通过打开A20Gate,访问第21根以上的总线 打开A20Gate， 可以使用到32位的地址总线，内存地址访问也达到了1<<32 的4G范围。

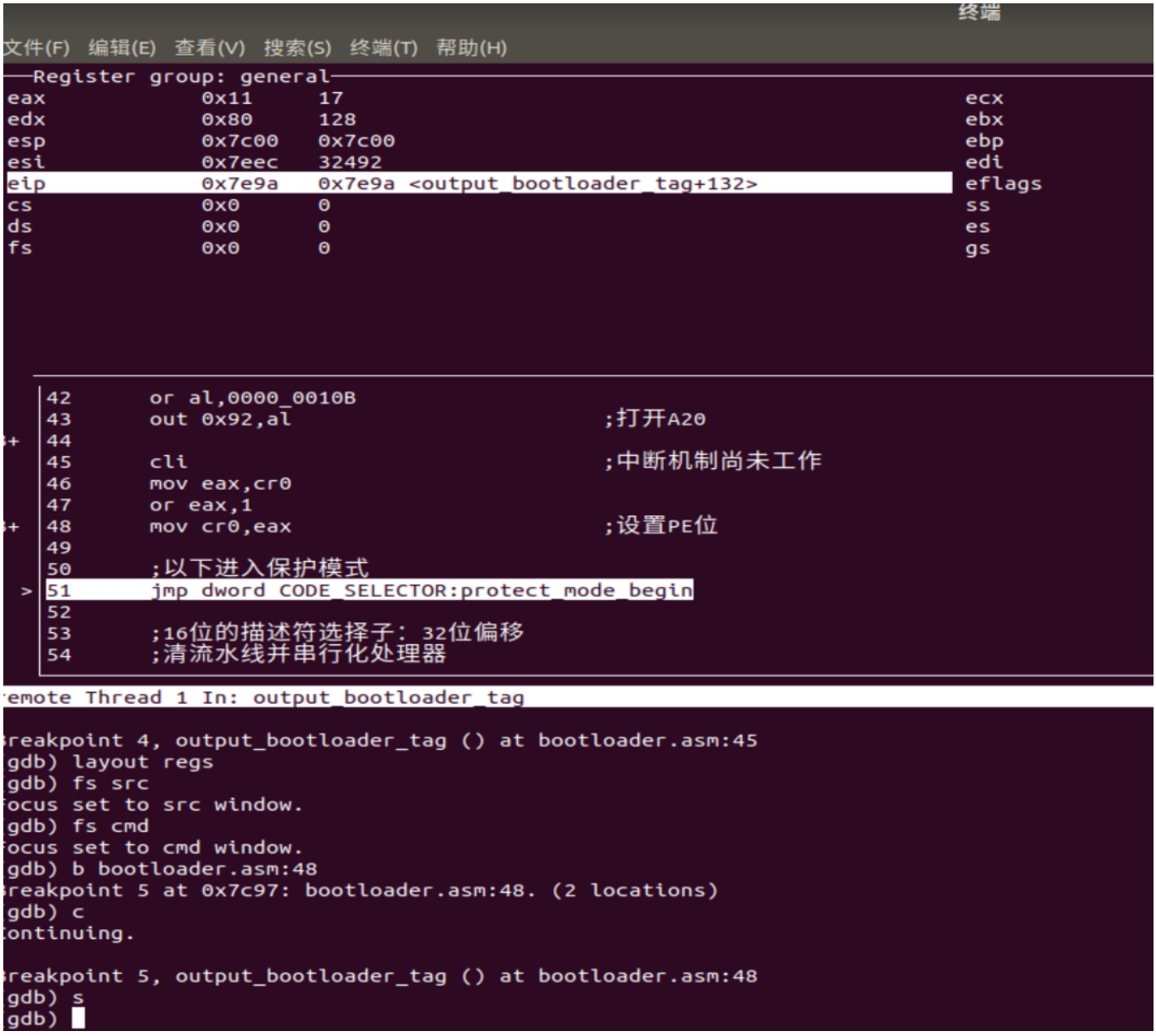


3.开启cr0的保护模式标志位。

> CR0寄存器是一个32位的寄存器

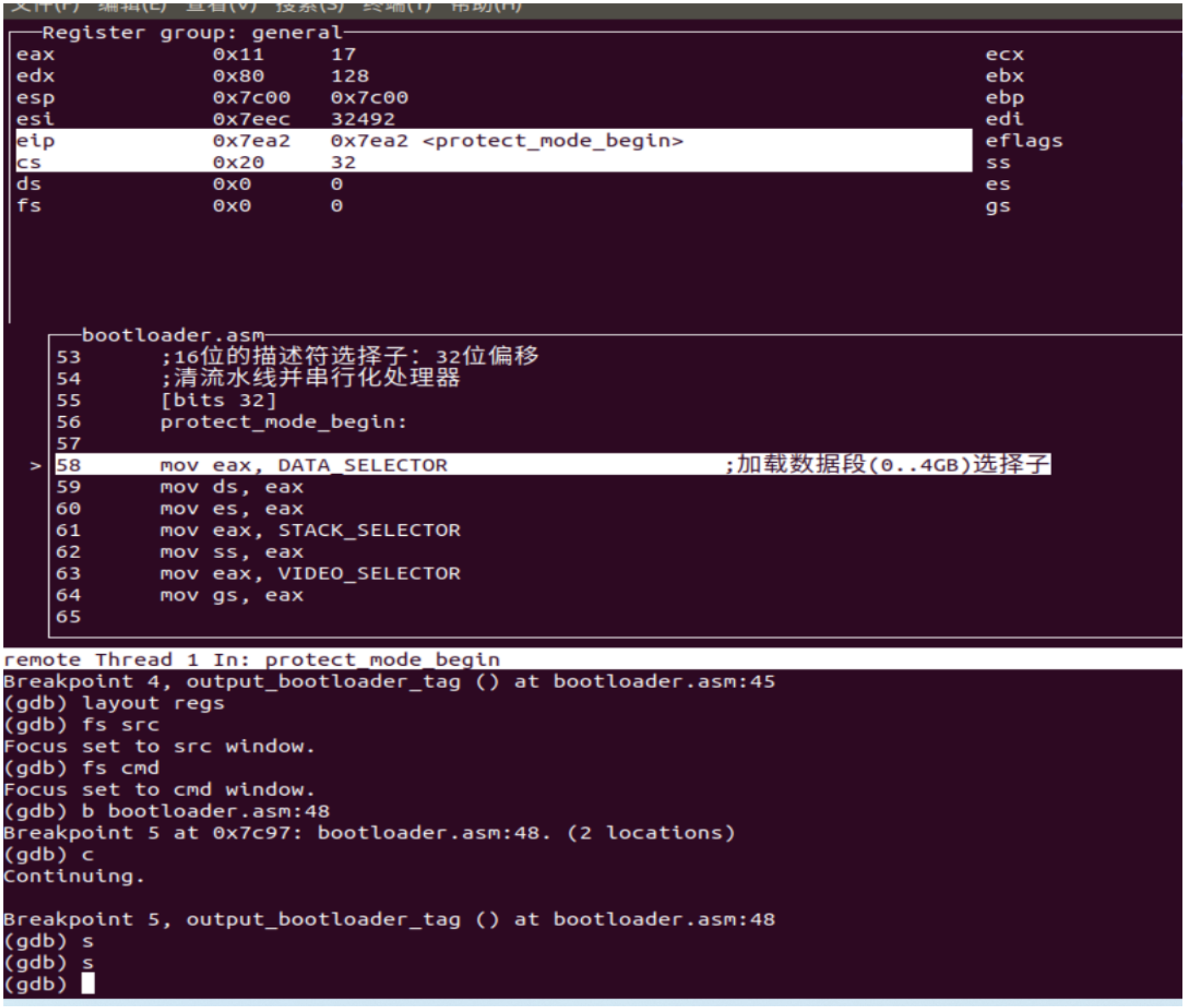
> 设置CR0寄存器的最高位为0，最低位为1，则可以进入保护模式。

> CR0寄存器的作用: 改变段寻址方式，使用段描述符方式寻址。 实模式指令的操作数默认为16位，保护模式指令的操作数默认为32位。

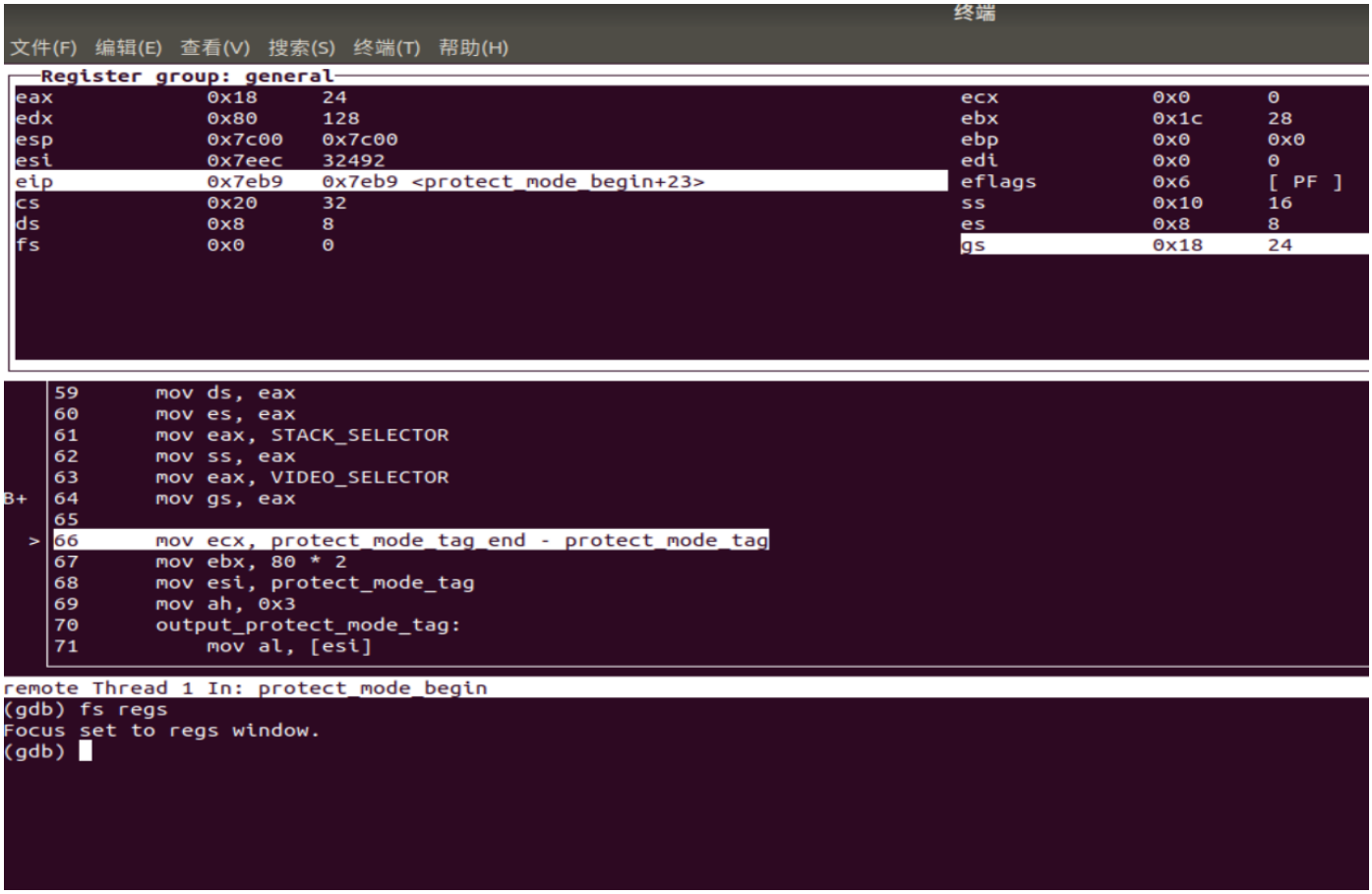


4.远跳转，进入保护模式。

> jmp指令将CODE_SELECTOR(0x20)送入cs，将protect_mode_begin + LOADER_START_ADDRESS送入eip，进入保护模式


Register group: general
eax 0x11 17
edx 0x80 128
esp 0x7c00 0x7c00
esi 0x7eec 32492
eip 0x7ea2 0x7ea2 <protect_mode_begin>
cs 0x20 32
ds 0x0 0
fs 0x0 0
ecx
ebx
ebp
edi
eflags
ss
es
gs
bootloader.asm
53 ;16位的描述符选择子: 32位偏移
54 ;清流水线并串行化处理器
55 [bits 32]
56 protect_mode_begin:
57
> 58 mov eax, DATA_SELECTOR ;加载数据段(0..4GB)选择子
59 mov ds, eax
60 mov es, eax
61 mov eax, STACK_SELECTOR
62 mov ss, eax
63 mov eax, VIDEO_SELECTOR
64 mov gs, eax
65
remote Thread 1 In: protect_mode_begin
Breakpoint 4, output_bootloader_tag () at bootloader.asm:45
(gdb) layout regs
(gdb) fs src
Focus set to src window.
(gdb) fs cmd
Focus set to cmd window.
(gdb) b bootloader.asm:48
Breakpoint 5 at 0x7c97: bootloader.asm:48. (2 locations)
(gdb) c
Continuing.
Breakpoint 5, output_bootloader_tag () at bootloader.asm:48
(gdb) s
(gdb) s
(gdb)

5.保护模式状态



实验任务四

要求：在进入保护模式后，按照如下要求，编写并执行一个自己定义的**32**位汇编程序，要求简单说一说你的实现思路，并提供结果截图。 使用两种不同的自定义颜色和一个自定义的起始位置**(x,y)**，使得**bootloader**加载后，在显示屏坐标**(x,y)**处开始输出自己的学号**+**姓名拼音首字母缩写，要求相邻字符前景色和背景色必须是相互对调的。公告图片中提供了学号为**21307233**，姓名为宋小宝，自定义位置**(12,12)**的输出样式，仅供参考

1.清屏(实模式)

```
;清屏
mov ah,0x00
mov ax,3
int 0x10
```

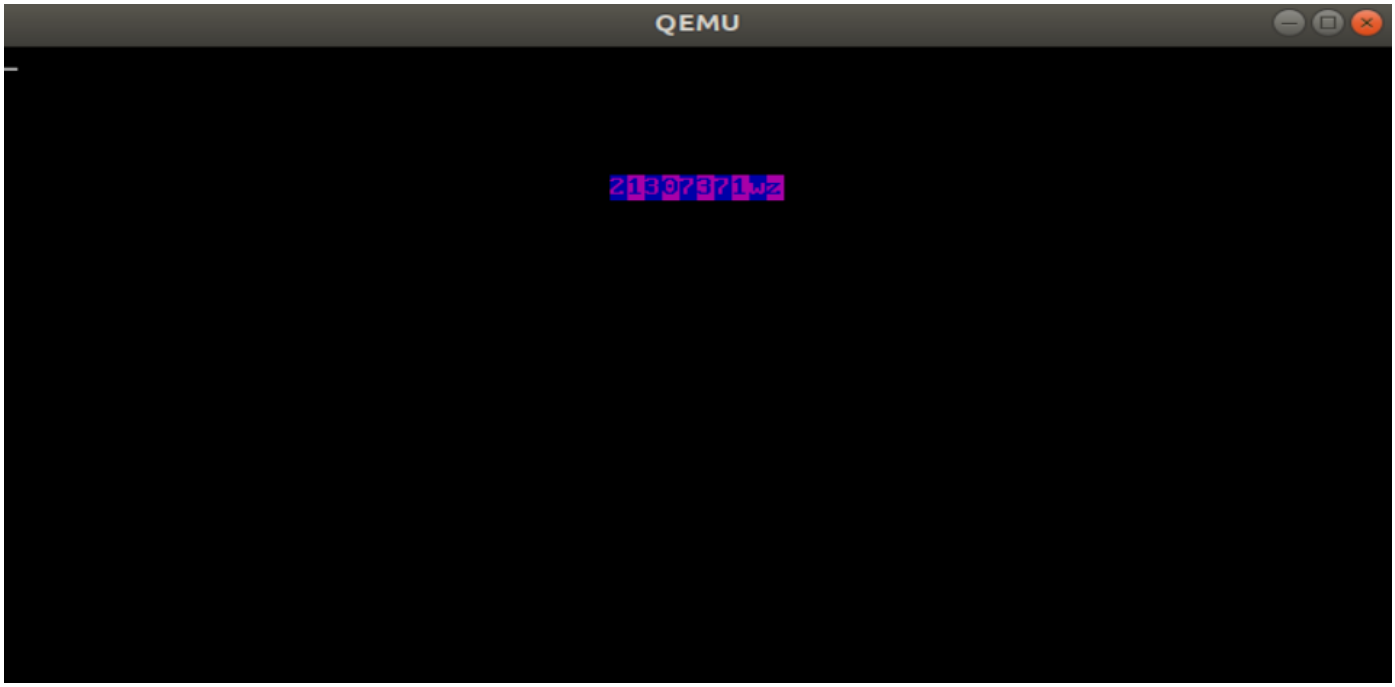
2.进入保护模式(具体步骤看实验任务三)

3.加载段选择子

```
protect_mode_begin:

mov eax, DATA_SELECTOR                    ;加载数据段(0..4GB)选择子
mov ds, eax
mov es, eax
mov eax, STACK_SELECTOR
mov ss, eax
mov eax, VIDEO_SELECTOR
mov gs, eax
```

4.输出string

```
mov ecx, my_string_end - my_string
mov ebx, 0x366      ;使输出位于中间
mov esi, my_string
output_my_string:
    mov ah, 0x15    ;确定颜色
    mov al, [esi]
    mov word[gs:bx], ax
    inc esi
    add ebx,2
    mov ah, 0x51    ;颜色反转
    mov al, [esi]
    mov word[gs:bx], ax
    inc esi
    add ebx,2
    sub ecx,1       ;每次循环ecx减2
    loop output_my_string
```



5. 总结(对实验过程中遇到的问题进行总结，可以提出对实验设置的改进意见)

学会如何使用qemu+gdb来debug,并使用makefile来简化命令行的输入 以下是makefile的使用

```
NAME=mbr
NAME1=mybtld
build:
        @nasm -g -f elf32 $(NAME).asm -o $(NAME).o
        @ld -o $(NAME).symbol -melf_i386 -N $(NAME).o -Ttext 0x7c00
        @ld -o $(NAME).bin -melf_i386 -N $(NAME).o -Ttext 0x7c00 --oformat binary
        @nasm -g -f elf32 $(NAME1).asm -o $(NAME1).o
        @ld -o $(NAME1).symbol -melf_i386 -N $(NAME1).o -Ttext 0x7e00
        @ld -o $(NAME1).bin -melf_i386 -N $(NAME1).o -Ttext 0x7e00 --oformat binary
        @dd if=$(NAME).bin of=hd.img bs=512 count=1 seek=0 conv=notrunc
        @dd if=$(NAME1).bin of=hd.img bs=512 count=5 seek=1 conv=notrunc
debug:
        @qemu-system-i386 -s -S -hda hd.img -serial null -parallel stdio &
        @sleep 1
        @gnome-terminal -e "gdb -tui -q -x gdbinit"
run:
        qemu-system-i386 -hda hd.img -serial null -parallel stdio
clean:
        rm -fr *.bin *.o
```

6. 参考资料清单

- LBA向CHS模式的转换。[https://blog.csdn.net/G_Spider/article/details/6906184]
- int 13h中断。[https://blog.csdn.net/brainkick/article/details/7583727]