实验三 开发独立内核的操作系统 实验报告

数据科学与计算机学院 计算机科学与技术 2016 级
王凯祺 16337233

2018 年 3 月 24 日

1 实验目的

- 掌握引导操作系统内核的方法
- 掌握 C 与汇编交叉调用的方法
- 掌握汇编程序与 C 程序链接的方法

2 实验要求

写一个引导程序，能引导操作系统内核。

写一个操作系统内核，可加载多个用户程序。其中，操作系统内核分为汇编模块和 C 模块，C 模块需完成的功能有：

- 在磁盘上建立一个表，记录用户程序的存储安排
- 可以在控制台查到用户程序的信息，如程序名、字节数、在磁盘映像中的位置等
- 设计一种命令，并能在控制台发出命令，执行用户程序等

3 实验步骤

在本实验中，我使用 NASM 来设计引导程序，TASM + TCC 来设计操作系统内核。

3.1 设计引导程序

我使用 NASM 来设计引导程序。引导程序启动后，将操作系统内核加载到 0xA100H ，并跳转到操作系统内核。

在此过程中，我拿老师下发的 showstr.asm 以及 upper.c 作为操作系统内核来启动，却发现启动后无法显示字符，但光标移动了。这时我认为操作系统内核的代码确实执行了，但数据段的数据并没有被成功读取到。

我回忆在 NASM 程序下，可以直接使用 org 0xA100H 来设置所有段的偏移量，所以我尝试在 TASM 下使用 org 0xA100H ，结果链接错误，于是到群里问老师“无法访问内核数据段的数据”该如何解决。我翻了一下班群的消息记录，杂音同学的一句话回答了我的问题：“段值和偏移量错了吧，

你读到 a100 那 cs:ip=a00:100”。我意识到数据段 ds 没设置好，就把数据段 ds 设置为 0x0A00H ，数据段就能正常访问了！

以下是引导程序的源代码（NASM 格式）：

```
org  7c00h      ; BIOS将把引导扇区加载到0:7C00h处，并开始执行
OffSetOfUserPrg1 equ 0a100h
Start:
    mov ax, cs          ; 置其他段寄存器值与CS相同
    mov ds, ax          ; 数据段
    mov ax, ds          ; ES:BP = 串地址
    mov es, ax          ; 置ES=DS

LoadnEx:
    ;读软盘或硬盘上的若干物理扇区到内存的ES:BX处：
    mov bx, OffSetOfUserPrg1  ;偏移地址; 存放数据的内存偏移地址
    mov cx, bx
    mov ah,2                ; 功能号
    mov al,9                ;扇区数
    mov dl,0                ;驱动器号 ; 软盘为0，硬盘和U盘为80H
    mov dh,0                ;磁头号 ; 起始编号为0
    mov ch,0                ;柱面号 ; 起始编号为0
    mov cl,2                ;起始扇区号 ; 起始编号为1
    int 13H ;               调用读磁盘BIOS的13h功能
    ; 用户程序a.com已加载到指定内存区域中
    jmp OffSetOfUserPrg1

    times 510-($-$$) db 0
    db 0x55,0xaa
```

3.2 设计操作系统内核

3.2.1 汇编部分

汇编部分要完成两方面的任务：

- 设置数据段
- 链接到 C 程序入口点

我只需把老师提供的 showstr.asm 中 mov ax, cs 替换为 mov ax, 0a00h ，再把 C 函数名替换为我实现的函数名即可。

以下是操作系统内核，汇编部分（TASM 格式）：

```
extrn _main:near   ;声明一个c程序函数main
.8086
_TEXT segment byte public 'CODE'
DGROUP group _TEXT,_DATA,_BSS
       assume cs:_TEXT
org 0100h
start:
```

```
8     mov  ax,  0a00h
9     ;mov  ax,  cs
10    mov  ds,  ax            ; DS = 0a00h
11    mov  es,  ax            ; ES = 0a00h
12    mov  ax,  0c00h
13    mov  ss,  ax            ; SS = 0c00h
14    mov  sp, 0ffffh
15    call near ptr _main
16    jmp $
17
18  _TEXT ends
19  ;************DATA segment*************
20  _DATA segment word public 'DATA'
21  _DATA ends
22  ;************BSS segment*************
23  _BSS    segment word public 'BSS'
24  _BSS ends
25  ;**************end of file***********
26  end start
```

3.2.2 C 语言部分

我找到了一篇《内蒙古科技与经济》2002 年第 9 期其其格写的论文《如何在 C 语言程序中调用汇编语言》，可以直接在 C 程序中直接嵌入汇编代码。

标准输入输出 按照 C 语言程序设计规范，输入输出模块我写在 stdio.h 下。

输出一个字符 输出一个字符需要考虑：

- 在当前光标输出字符
- 输出字符后光标的移动
- 是否为可见字符
- 回车需要换行
- 滚动屏幕

这些问题在我的程序都一一解决了。

对于第 1 个问题，我使用 int 10h 中断 0a 功能号，即可在当前光标位置输出字符。

对于第 2 个问题，输出字符后光标的移动。我使用 int 10h 中断 03h 功能号获取当前光标位置。记 $pos = 80x + y$ ，将 pos 加 1 后转换回 x 和 y ，使用 int 10h 中断 02h 功能号设置光标位置。

对于第 3 个问题，在使用 int 10h 的 0a 功能之前加入条件分支判断：如果为可见字符才在当前光标位置输出字符。

对于第 4 个问题，若该字符恰好为回车字符，则下一个光标位置不再是 $pos+1$ ，而是 $80(x+1)$ ，即下一行的第 1 个字符。

对于第 5 个问题，若 $pos \geq 2000$ （屏幕大小为 25×80 ），则使用 int 10h 的 06h 功能号进行滚屏。

C 语言（内嵌汇编）代码如下：

```
void putchar(char c) {
    char x, y;
    int pos;

    if (c >= 32) {
        asm mov ah, 0ah
        asm mov al, c
        asm mov bh, 0
        asm mov cx, 1
        asm int 10h
    }

    asm mov ah, 03h
    asm mov bx, 0
    asm int 10h
    asm mov x, dh
    asm mov y, dl

    if (c == 13)
        pos = (x + 1) * 80;
    else
        pos = x * 80 + y + 1;

    if (pos >= 2000) {
        asm mov ah, 06h
        asm mov al, 1
        asm mov bh, 07h
        asm mov dh, 24
        asm mov dl, 79
        asm mov ch, 0
        asm mov cl, 0
        asm int 10h
        pos -= 80;
    }
    x = pos / 80;
    y = pos % 80;

    asm mov ah, 02h
    asm mov bh, 0
    asm mov dh, x
    asm mov dl, y
    asm int 10h
}
```

输入一个字符　从标准输入中输入一个字符，相对于输出一个字符来说简单多了！
我只需要调用 16h 中断 0h 功能号，即可从标准输入中输入该字符。
对于输入后回显字符，只需要在读取完立刻 putchar ，就能实现回显。

C 语言（内嵌汇编）代码如下：

```
char getchar() {
    char x;
    asm mov ah, 0
    asm int 16h
    asm mov x, al
    putchar(x);
    return x;
}
```

输入输出字符串 由于 putchar 、getchar 函数已经写好，我可以直接调用这些函数来实现输入输出字符串。

C 语言代码如下：

```
void gets(char *s) {
    char x = getchar();
    int i = 0;
    for (; x != 13; x = getchar())
        s[i++] = x;
    s[i++] = 0;
}

void puts(const char* s) {
    int i = 0;
    for (; s[i] != '\000'; ++i)
        putchar(s[i]);
    putchar(13);
}
```

我有个不明白的地方，gets 和 puts 传进来的指针一定要是 C 语言中全局变量的字符数组的头指针；如果在一个函数中定义一个字符数组，这个指针传进来时指向的不是预期的位置。例如：

```
void test() {
    char st[100];
    st[0] = 'a';
    st[1] = 'b';
    st[2] = '\000';
    puts(st);
}
```

由于 st 数组是在 test() 函数内，st 的头指针输入到 puts 里就会发生错误，我至今还不知道为什么，一度怀疑我写的是假的 C 。根据我多年的编程经验，我尝试把数组移到函数外。结果令人意外的是，问题就不再出现了：

```
char st[100];

void test() {
    st[0] = 'a';
    st[1] = 'b';
    st[2] = '\000';
```

```
    puts(st);
}
```

字符串函数 我实现了两个比较常用的字符串函数：strlen, strcmp。

strlen 用于取字符串长度。

strcmp 用于比较两个字符串的大小，若 a < b，返回 -1 ；若 a = b ，返回 0；若 a > b ，返回 1 。

```
int strlen(char *s) {
    int i = 0;
    while (s[i]) ++i;
    return i;
}

int strcmp(char *a, char *b) {
    int la = strlen(a);
    int lb = strlen(b);
    int i = 0;
    for (; i < la || i < lb; ++i)
        if (a[i] > b[i])
            return 1;
        else if (a[i] < b[i])
            return -1;
    return 0;
}
```

读取用户程序信息 我的用户程序信息存储在 11 号扇区，0x1400 位置，格式是一个字符串表示程序名，然后是一个数字表示扇区号。如有多个程序，则将上述格式重复若干次。

读取用户程序信息时，我使用 int 13h 的 02h 功能号来读取 11 号扇区的数据，得到某程序的扇区号后，再次使用 int 13h 的 02h 功能号读取该扇区数据，计算出这个程序占用的字节数。

以下是 C 语言（内嵌汇编）代码：

```
int get_file_size(int id) {
    char tmp;
    int i = 0, j = 0, addr;
    asm mov bx, 8400h
    asm mov ah, 2
    asm mov al, 1
    asm mov dl, 0
    asm mov dh, 0
    asm mov ch, 0
    asm mov cl, id
    asm int 13h
    asm mov ax, 8400h
    asm mov addr, ax
    for (i = 0; i < 512; ++i) {
        asm mov bx, addr
        asm mov al, [bx]
```

```
17          asm mov tmp, al
18          asm inc bx
19          asm mov addr, bx
20          if (tmp != 0)
21              j = i + 1;
22      }
23      return j;
24  }
25
26  void ls() {
27      char tmp;
28      int size, i, j, k, addr;
29      asm mov bx, 8000h
30      asm mov ah, 2
31      asm mov al, 1
32      asm mov dl, 0
33      asm mov dh, 0
34      asm mov ch, 0
35      asm mov cl, 11
36      asm int 13h
37
38      asm mov ax, 8000h
39      asm mov addr, ax
40      puts("==============================");
41      puts_format("Filename", 15);
42      putchar('|');
43      puts_format("Sector", 10);
44      putchar('|');
45      puts("Size");
46      puts("------------------------------");
47      for (i = 0; ; ++i) {
48          j = 0;
49          asm mov bx, addr
50          asm mov al, [bx]
51          asm mov tmp, al
52          asm inc bx
53          asm mov addr, bx
54          while (tmp) {
55              st[j] = tmp;
56              asm mov bx, addr
57              asm mov al, [bx]
58              asm mov tmp, al
59              asm inc bx
60              asm mov addr, bx
61              ++j;
62          }
63          st[j] = '\000';
64          if (j == 0) break;
65          asm mov bx, addr
66          asm mov al, [bx]
```

```
67          asm mov tmp, al
68          asm inc bx
69          asm mov addr, bx
70          puts_format(st, 15);
71          putchar('|');
72          printint_format(tmp, 10);
73          putchar('|');
74          size = get_file_size(tmp);
75          printint(size);
76      }
77      puts("================================");
78  }
```

执行用户程序 将用户程序从磁盘加载到内存的 9100h 位置，先保存 es 、ds ，再 call 9100h 。程序返回后，还原 es 、ds 。

我尝试过 call es:9100h 、call es:9000h ，都没办法执行用户程序。我必须把 9100h 写入 ax 中，然后 call es:ax 来调用它。我并不知道为什么会这样……

```
1   void execute(int id) {
2       puts_format("find␣at␣sector␣", 0);
3       printint(id);
4       asm push es
5       asm mov ax, 0h
6       asm mov es, ax
7       asm mov bx, 9100h
8       asm mov ax, id
9       asm mov cl, al
10      asm mov ah, 2
11      asm mov al, 1
12      asm mov dl, 0
13      asm mov dh, 0
14      asm mov ch, 0
15      asm int 13h
16      asm pop es
17
18      asm push es
19      asm push ds
20      asm mov ax, 0h
21      asm mov es, ax
22      asm mov ax, 9100h
23      asm call es:ax
24      asm pop ds
25      asm pop es
26  }
```

主函数 main 主函数主要是判断用户的输入，并指挥操作系统作出相应的行为。

比如输入 help ，显示帮助提示；输入 exit ，退出操作系统；输入 ls ，显示程序列表；输入程序名，执行程序等等。

```
main(){
    welcome();
    while (1) {
        puts_no_new_line("$ ");
        gets(cmd);
        if (strcmp(cmd, "") == 0) {
        } else
        if (prefix_match(cmd, "help")) {
            help();
        } else
        if (prefix_match(cmd, "exit")) {
            return;
        } else
        if (prefix_match(cmd, "ls")) {
            ls();
        } else
        if (find_exe()) {

        } else {
            puts("command not found");
        }
    }
}
```

3.3 编译与链接

编译引导程序：

```
nasm -f bin myos.asm -o myos.com
```

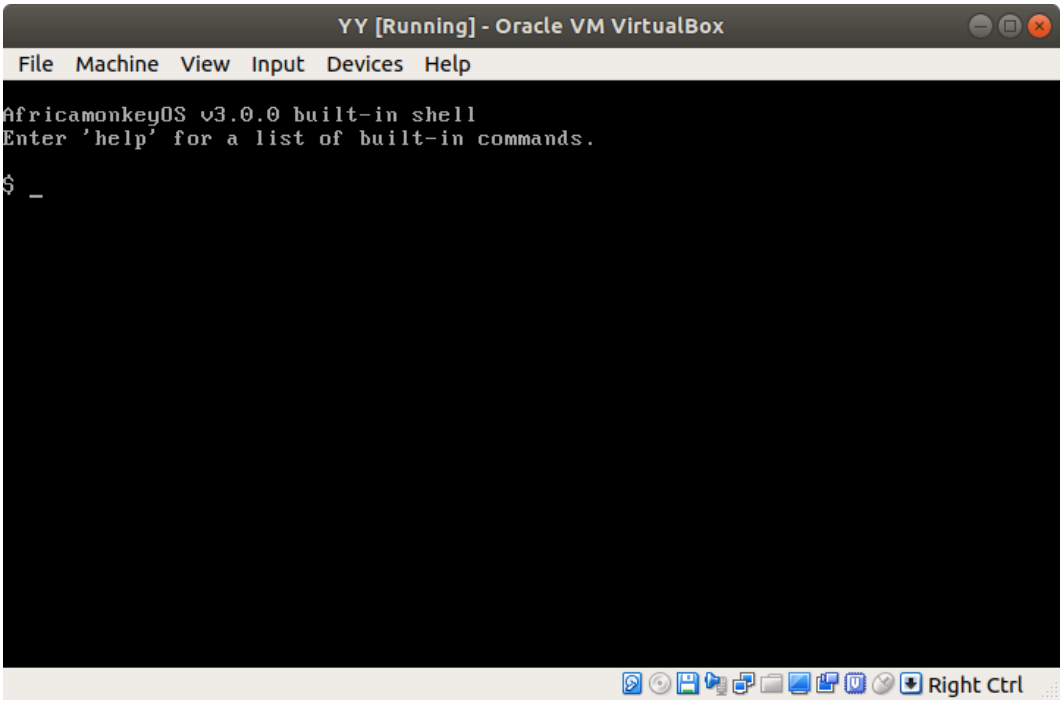
编译和链接操作系统内核：

```
tasm loader.asm loader.obj
tcc -mt -c -omain.obj main.c
tlink /3 /t loader.obj main.obj,loader.com,,
```

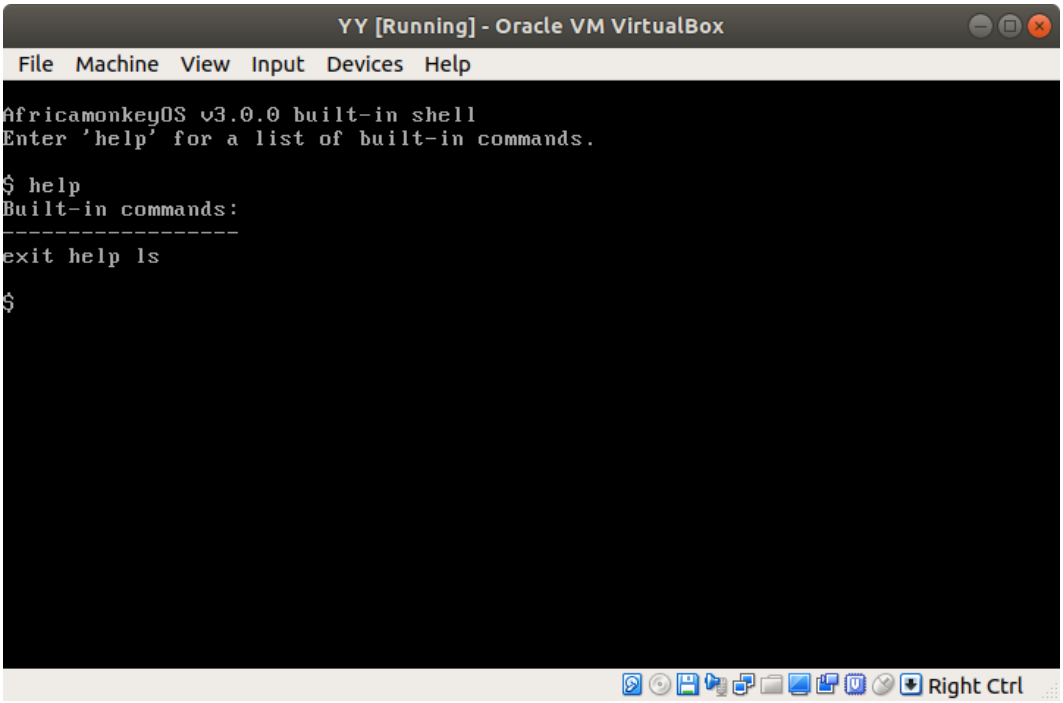
3.4 写入磁盘文件

将 myos.com 写入 1 号扇区（0x0000 位置）；
将 loader.com 写入 2 号扇区（0x0200 位置）；
将用户程序信息写入 11 号扇区（0x1400 位置）；
将用户程序写入 12 号及以后扇区的位置。

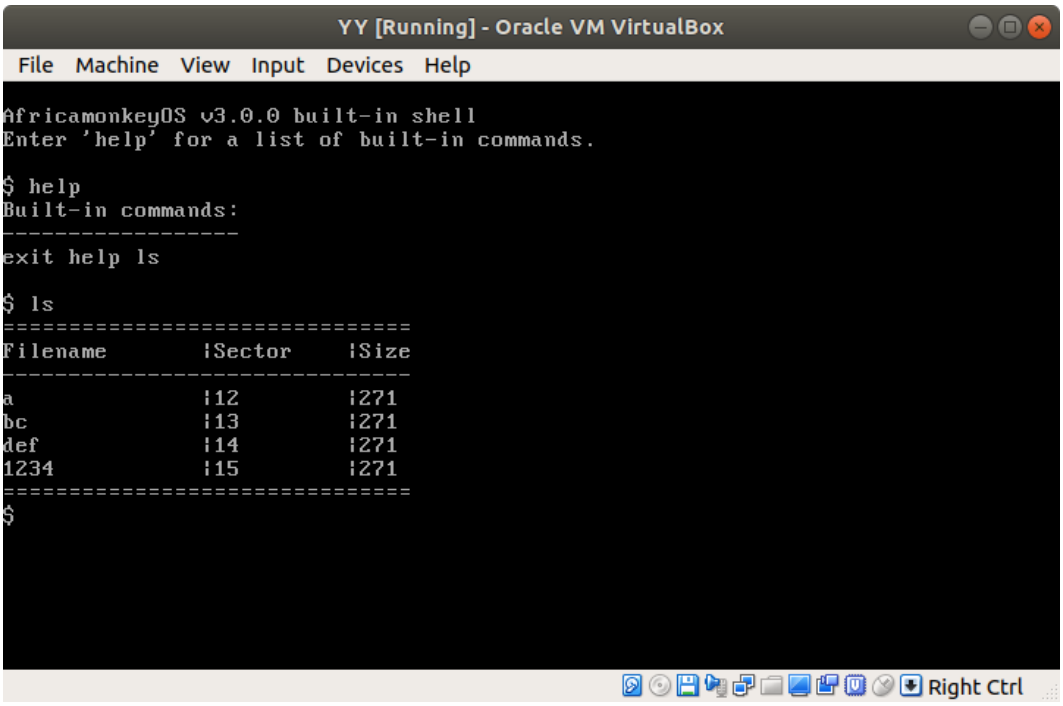
4 实验结果



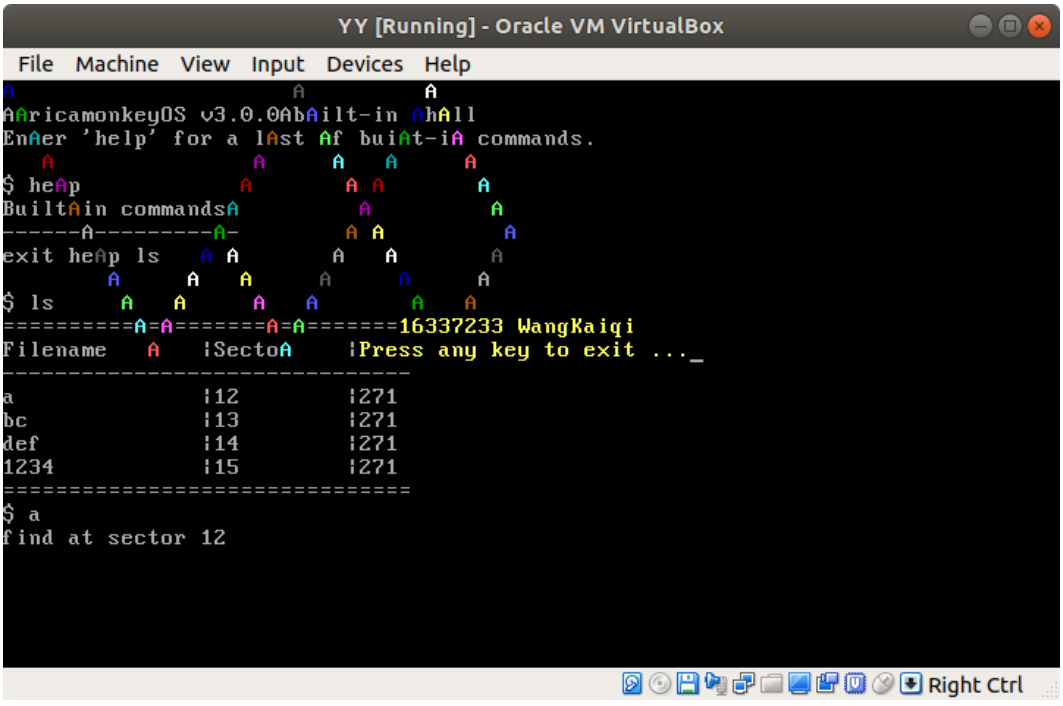
上图显示，我的引导程序能正确地将操作系统内核加载到指定位置，并启动操作系统内核。上图的信息是由操作系统内核输出的。



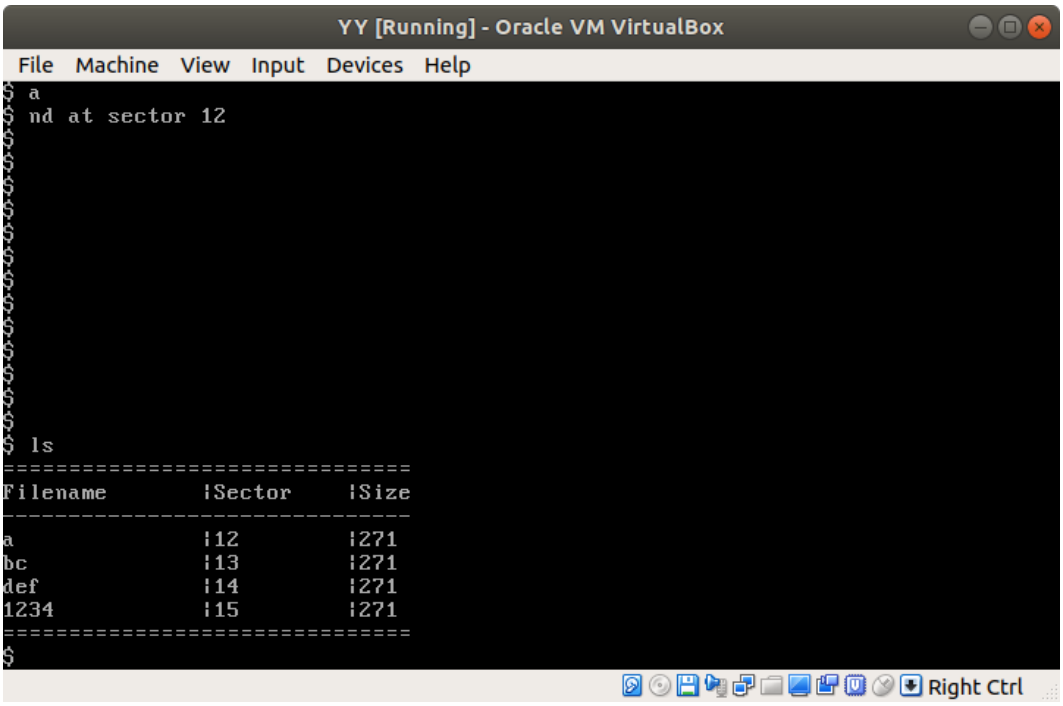
上图展示的是 help 功能。输入 help 将会列出操作系统支持的所有指令。



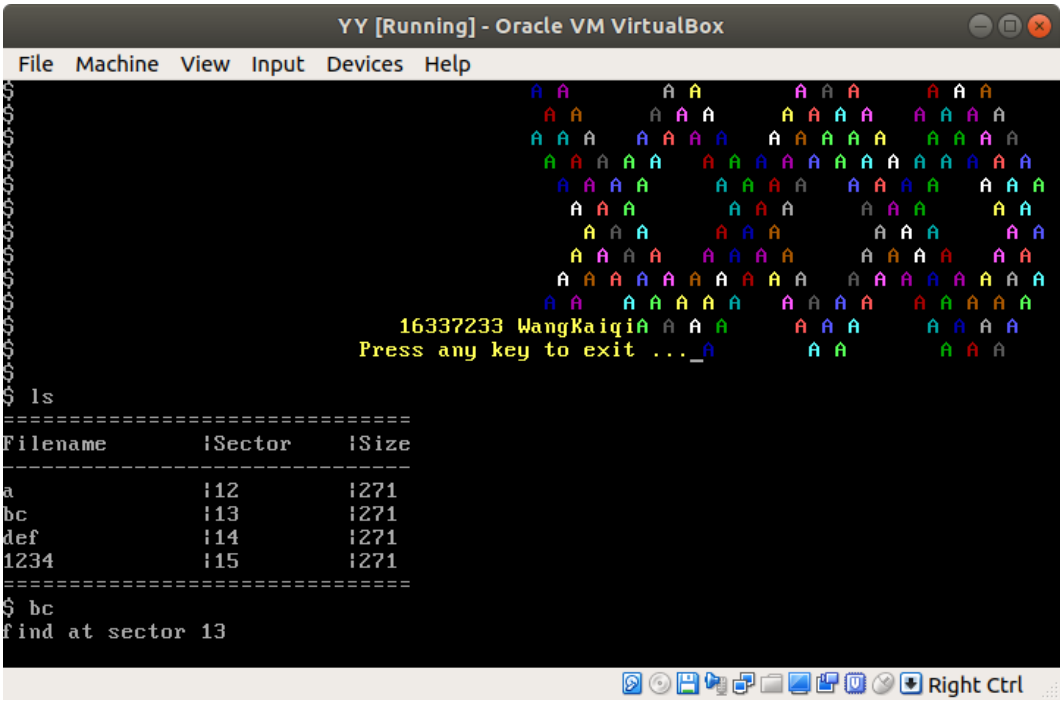
上图展示的是显示用户程序信息的功能。输入 ls 会显示磁盘里用户程序的文件名、扇区号和程序大小。



上图展示的是执行用户程序功能。输入用户程序的文件名，将会执行用户程序。



上图展示的是执行用户程序后回到操作系统的功能。用户程序执行 ret 指令，将由操作系统接管控制权，可继续执行其他指令。



上图展示的是执行用户程序功能。输入用户程序的文件名，将会执行用户程序。

5 实验总结

这次实验耗费了我不少时间，但最终能圆满完成，我觉得很值得。

在这次实验中，我终于理解了汇编语言的 4 个段（CS, DS, ES, SS）分别起何作用。CS 段是程序执行的段空间。设计者将 $CS:IP$ 定义为 $CS*16+IP$ ，意在使 16 位程序能使用 20 位（1 MB）的空间。DS 段是数据存储的段空间，使用 jmp 或 call 指令执行其他程序，需要自行修改 ds 寄存器，使得段地址加上偏移地址恰好等于程序加载的地址，这样就能访问数据段了。而 ES 段在中断程序会用到，比如读写磁盘加载到内存的位置用 ES:BX 表示。

这个实验有很多个瓶颈问题，我列举一下：

- 加载 TASM 编写的操作系统内核
- 读取软盘文件特定的一个字节
- 用 TASM 加载用户程序

对于第一个，加载 TASM 编写的操作系统内核，难点在于正确设置数据段。只要弄清楚了程序的工作原理，这个问题就解决了。这个问题困扰了我很久，我在 Google 查了很多相关的资料，都没有对于该问题的解释。也许是因为我对问题的分析不够透彻，搜索的关键字没有到点子上。这个问题群里很多同学都遇到过，非常感谢杂音同学明确地指出问题，并提供解决方案。

对于第二个，读取软盘文件中特定的一个字节。首先把软盘的整个扇区加载到内存中，这个大家都会。但如何读取到内存中的那一个字节呢？有时我会怀疑 DS 、ES 是否设置错误，反反复复改了很多次。经过多次测试，我终于知道应该先将立即数存到 ax 中，然后 [ax] 的值就是要读取的那个字节。

对于第三个，我同样也是反反复复尝试了很多次。设程序加载到 9100h 位置，我尝试过跳转到立即数 jmp 9100h 、跳转到立即数 jmp 9000h ；试过先把 9100h 写入 ax ，再 jmp ax ；试过把 900h 写入 es ，再 jmp es:100h ；试过把 0h 写入 es ，再 jmp es:9100h ；最后尝试将 0h 写入 es ，将 9100h 写入 ax ，再 jmp es:ax ，成功。只有坚持不断尝试，才有可能成功。