实验五：实现系统调用

(10 分)

实验目的:

1、学习掌握 PC 系统的软中断指令

2、掌握操作系统内核对用户提供服务的系统调用程序设计方法

3、掌握 C 语言的库设计方法

4、掌握用户程序请求系统服务的方法

实验要求:

1、了解 PC 系统的软中断指令的原理

2、掌握 x86 汇编语言软中断的响应处理编程方法

3、扩展实验四的的内核程序，增加输入输出服务的系统调用。

4、C 语言的库设计，实现 putch()、getch()、printf()、scanf()等基本输入输出库过程。

5、编写实验报告，描述实验工作的过程和必要的细节，如截屏或录屏，以证实实验工作的真实性

实验内容:

(1) 修改实验 4 的内核代码，先编写 save()和 restart()两个汇编过程，分别用于中断处理的现场保护和现场恢复，内核定义一个保护现场的数据结构, 以后, 处理程序的开头都调用 save()保存中断现场，处理完后都用 restart()恢复中断现场。

保护现场的数据结构:

```
typedef strut {
  int ax;
  int bx;
```

```
        int cx;
        int dx;
        int cs;
        int ds;
        int es;
        int ss;
        int sp;
        int bp;
        int di;
        int si;
        int ip;
        int flag;

} cpuRegisters

 ;参考程序
 ;Minix 的 save 和 restart
 ;                       save
;=====================================================
      save:                     ; save the machine state in the proc table.
       push ds              ; stack: psw/cs/pc/ret addr/ds
       push cs              ; prepare to restore ds
       pop ds               ; ds has now been set to cs
       mov ds,ker_ds            ; word 4 in kernel text space contains ds value
       pop ds_save          ; stack: psw/cs/pc/ret addr
       pop ret_save         ; stack: psw/cs/pc
       mov bx_save,bx           ; save bx for later ; we need a   free register
       mov bx,dgroup:proc_ptr   ; start     save set up; make bx point to save area
       add bx,OFF           ; bx points to place to store cs
       pop PC-OFF[bx]           ; store    pc in proc table
       pop csreg-OFF[bx]    ; store    cs in proc table
       pop PSW-OFF[bx]              ; store    psw
       mov ssreg-OFF[bx],ss ; store    ss
       mov spreg-OFF[bx],sp     ; sp as    it was prior to      interrupt
       mov sp,bx            ; now use sp to    point into proc     table/task save
       mov bx,ds            ; about   to set ss
       mov ss,bx            ; set ss
       push ds_save         ; start     saving all the registers, sp first
       push es              ; save es between sp and bp
       mov es,bx            ; es now references kernel memory too
       push bp              ; save bp
       push di              ; save di
       push si              ; save si
       push dx              ; save dx
```

```
push cx             ; save cx
push bx_save        ; save original      bx
push ax                         ; all registers nowsaved
mov sp,offset dgroup:k_stack          ; temporary   stack for interrupts
add sp,K_STACK_BYTES                  ; set sp to      top of temporary stack
mov splimit,offset dgroup:k_stack     ; limit for      temporary stack
add splimit,8                   ; splimit checks for stack overflow
mov ax,ret_save          ; ax = address to return to
jmp ax              ; return to caller; Note: sp points to saved ax


;================================================
;                       restart
;================================================
restart:            ; This routine sets up and runs  a proc or task.
cmp dgroup:cur_proc,IDLE; restart user; if cur_proc = IDLE, go idle
je _idle          ; no user is runnable, jump to idle routine
cli               ; disable interrupts
mov sp,dgroup:proc_ptr    ; return to user, fetch  regs from proc table
pop ax            ; start     restoring registers
pop bx            ; restore bx
pop cx            ; restore cx
pop dx            ; restore dx
pop si            ; restore si
pop di            ; restore di
mov lds_low,bx          ; lds_low contains bx
mov bx,sp         ; bx points to saved bp      register
mov bp,SPLIM-ROFF[bx]   ; splimit = p_splimit
mov splimit,bp          ; ditto
mov bp,dsreg-ROFF[bx]    ; bp = ds
mov lds_low+2,bp      ; lds_low+2 contains ds
pop bp            ; restore bp
pop es            ; restore es
mov sp,spreg-ROFF[bx]     ; restore sp
mov ss,ssreg-ROFF[bx]      ; restore ss using the value of    ds
push PSW-ROFF[bx]   ; push psw (flags)
push csreg-ROFF[bx]  ; push cs
push PC-ROFF[bx]      ; push pc
lds    bx,DWORD PTR lds_low     ; restore ds and bx    in one fell swoop
iret              ; return to user or task
```

(2) 内核增加 int 20h、int 21h 和 int 22h 软中断的处理程序，其中，int 20h 用于用户程序结束是返回内核准备接受命令的状态；int 21h

用于系统调用，并实现 3-5 个简单系统调用功能；int22h 功能未定，先实现为屏幕某处显示 INT22H。

```
Int20h 中断处理程序(用户程序结束是返回内核):
    call save()
    return_kernel()
    jmp restart ; 为了结构对称，不会执行此指令。

Int21h 中断处理程序(系统调用):
    call save()
    call sys_call()
    jmp restart
Int22h 中断处理程序(屏幕某处显示 INT22H):
    call save()
    call print_int22h()
    jmp restart
```

(3) 保留无敌风火轮显示，取消触碰键盘显示 OUCH!这样功能。

(4) 进行 C 语言的库设计，实现 putch()、getch()、gets()、puts()、printf()、scanf()等基本输入输出库过程，汇编产生 libs.obj。

例子：

```
    public _printf
    _printf proc
        mov ax,0500h    ;系统调用 5 号功能，显示输出一个字符串
        push ax
        …               ;   其他参数进栈
        int 21h         ; 产生中断，
    _printf end

    public _getch
    _getch proc
        mov ax,0600h    ;系统调用 6 号功能，从键盘输入一个字符
        push ax
        …               ;   其他参数进栈
        int 21h         ; 产生中断，
    _getch end

    public _gets
```

```
_gets proc
    mov ax,0700h   ;系统调用 7 号功能，从键盘输入一个字符串
    push ax
    …              ;   其他参数进栈
    int 21h        ;  产生中断，
_gets end

public _puts
_puts proc
    mov ax,0800h   ;系统调用 7 号功能，从键盘输入一个字符串
    push ax
    …              ;   其他参数进栈
    int 21h        ;  产生中断，
_puts end
```

(5) 利用自己设计的 C 库 libs.obj，编写一个使用这些库函数的 C 语言用户程序，再编译,在与 libs.obj 一起链接，产生 COM 程序。增加内核命令执行这个程序。

```
main(){
    char ch,str[80];
    int a;
    getch(&ch);
    gets(str);
    scanf("a=%d",&a);
    putch(ch);
    puts(str);
    printint("ch=%c, a=%d, str=%s", ch, a, str);
}
```

(5)编写实验报告，描述实验工作的过程和必要的细节，如截屏或录屏，以证实实验工作的真实性

实验环境：

- Windows 10-64bit
- Vmware WorkStation 15 pro 15.5.1 build-15018445：虚拟机软件

- NASM version 2.13.02：汇编程序的编译器，在 linux 下通过 sudo apt-get install nasm 下载
- Ubuntu-18.04.4:安装在 Vmware 的虚拟机上
- 代码编辑器：Visual Studio Code 1.44.2
- GNU ld 2.30：链接器

实验思路：

同样地，本次实验是由上一次的实验基础上添加了一些功能，其中最为核心的功能就是系统调用部分。其中，对于本次实验的实验内容的（2）中，要求“**增加 int 20h、int 21h 和 int 22h 软中断的处理程序，其中，int 20h 用于用户程序结束是返回内核准备接受命令的状态；int 21h 用于系统调用，并实现 3-5 个简单系统调用功能；int22h 功能未定，先实现为屏幕某处显示 INT22H**”的这一部分，我只实现了 int 21h 用于系统调用，对于 int 20h 和 int 22h 的功能尚未实现。

由于增加的功能逐渐增多，故先将其列举出来方便整理。如下表所示：

磁头号	扇区号	扇区大小	含义
0	1	1 个扇区	引导程序
0	2	1 个扇区	用户信息表
0	3 到 18	16 个扇区	内核
1	1 到 2	2 个扇区	用户程序 b
1	3 到 4	2 个扇区	用户程序 a
1	5 到 6	2 个扇区	用户程序 c

1	7 到 8	2 个扇区	用户程序 d
1	9	1 个扇区	实验 4 调用 int33h~36h 的用户程序
1	10	3 个扇区	展示系统调用的用户程序

在上表中，最后一行的内容是新增加的功能，目的是测试系统调用的成功与否，可以通过命令 run 6 来展示。

下面我将依次介绍上表中的细节部分。

（1） 引导程序与用户程序信息表：

引导程序（bootloader.asm）的功能还是不变的，用户程序信息表则多了一项：

```
UserProgInfo:
    UserProgInfoBlock 1, 'b', 1024, 0, 1, 1, offset_userprog1
    UserProgInfoBlock 2, 'a', 1024, 0, 1, 3, offset_userprog2
    UserProgInfoBlock 3, 'c', 1024, 0, 1, 5, offset_userprog3
    UserProgInfoBlock 4, 'd', 1024, 0, 1, 7, offset_userprog4
    UserProgInfoBlock 5, 'interrupt_caller', 512, 0, 1, 9, offset_intca
ller
    UserProgInfoBlock 6, 'syscall_test', 1536, 0, 1, 10, offset_syscall
test
```

UserPrigInfoBlock 6 就是新增加的测试系统调用的用户程序，它被添加到用户程序信息表中。

（2） 操作系统内核

文件名	功能
osstarter.asm	监控程序，接收用户命令，执行

	相应的用户程序
liba.asm	包含 n 个汇编编写的函数
kernel.c	包含 n 个 C 编写的函数
stringio.h	myos_c.c 的头文件，实现了输入输出等功能
systema.asm	包含 n 个汇编编写的系统调用函数
systemc.c	包含 n 个汇编编写的系统调用函数的辅助函数

其中，有所变化的是内核支持的命令增多了，以及多了两个与系统调用相关的文件。

对于新增加的两个系统命令：date 和 reboot，其中，前者的功能是显示当前的北京时间，通过以下的函数进行实现：

```
汇编：
[global getDateYear]
[global getDateMonth]
[global getDateDay]
[global getDateHour]
[global getDateMinute]
[global getDateSecond]
C：
extern uint8_t getDateYear();
extern uint8_t getDateMonth();
extern uint8_t getDateDay();
extern uint8_t getDateHour();
extern uint8_t getDateMinute();
extern uint8_t getDateSecond();
```

分别取得当前的各个时间点，然后将其打印出来即可。

后者的功能是重启计算机，使用 BIOS 中断 int 19H，重新启动系

统实现。

systema.asm:

测试系统调用的函数主要由下面的六个函数构成。

```
[global sys_showOuch]
[global sys_toUpper]
[global sys_toLower]
[global sys_atoi]
[global sys_itoa]
[global sys_printInPos]
```

根据实验要求当按下键盘时不再显示 OUCH!，故用来测试系统调用。同时，实现的功能还有字符串的大小写转换功能，以及字符串与整型的相互转换功能，最后通过 sys_printInPos 将其打印出来。在此仅列举 sys_showOuch 的相关代码：

```
sys_showOuch:
    pusha               ; 保护现场
    push ds
    push es
    mov ax, cs          ; 置其他段寄存器值与 CS 相同
    mov ds, ax          ; 数据段
    mov bp, ouch_str    ; BP=当前串的偏移地址
    mov ax, ds          ; ES:BP = 串地址
    mov es, ax          ; 置 ES=DS
    mov cx, 4           ; CX = 串长
    mov ax, 1301h       ; AH = 13h（功能号）、AL = 01h（光标置于串尾）
    mov bx, 0038h       ; 页号为 0(BH = 0) 黑底白字(BL = 07h)
    mov dh, 12          ; 行号
    mov dl, 38          ; 列号
    int 10h             ; BIOS 的 10h 功能：显示一行字符
    pop es
    pop ds
    popa                ; 恢复现场
    ret
    ouch_str db 'OUCH'
```

systemc.c:

最主要的实现是，将 systema.asm 里的字符串大小写转换，整

型与字符串转换等功能用 c 进行实现。

（3） 4 个用户程序（b、a、c、d）

与上次实验有所不同的是，这四个用户程序在执行的时候，敲下键盘的任意键不会显示 OUCH！这个只需要将上次实验里有关显示 OUCH！的中断处理给注释掉即可。如下所示：

```
    MOVE_INT_VECTOR 09h, 39h
    ;WRITE_INT_VECTOR 09h, IntOuch
```

上面两行代码就是实验 3 中新添加的中断处理部分，将第二行注释掉即可。

（4） 实验 4 调用 int33h~36h 的用户程序

和上次实验相比没有变动，故在此不再赘述。

（5） 展示系统调用的用户程序（syscall_test.asm）

该部分程序可以通过 run 6 进行展示。

其中，用户程序(syscall_test.asm)主要是对 systema.asm 的进行各种各样的调用，列举部分相关代码如下：

```
PRINT_IN_POS hint0, hint_len, 2, 0
    mov ah, 00h                         ; 系统调用功能号 ah=00h，显示 OUCH
    int 21h
    mov ah, 0
    int 16h
    cmp al, 27                          ; 按下 ESC
    je QuitUserProg                      ; 直接退出

    PRINT_IN_POS hint1, hint_len, 2, 0
    mov ax, cs
    mov es, ax                          ; es=cs
    mov dx, upper_lower                 ; es:dx=串地址
    PRINT_IN_POS upper_lower, 14, 3, 0
    mov ah, 01h                         ; 系统调用功能号 ah=01h，大写转小写
```

```
    int 21h
    PRINT_IN_POS upper_lower, 14, 4, 0
    mov ah, 0
    int 16h
    cmp al, 27                          ; 按下 ESC
    je QuitUserProg                      ; 直接退出
```

其具体的实现代码均在 systema.asm 当中，下面列举出部分相关的重要代码。

功能号：ah=00h：

在合适的位置显示 OUCH（此处是 12 行 38 列）.

```
sys_showOuch:
    pusha               ; 保护现场
    push ds
    push es
    mov ax, cs          ; 置其他段寄存器值与 CS 相同
    mov ds, ax          ; 数据段
    mov bp, ouch_str    ; BP=当前串的偏移地址
    mov ax, ds          ; ES:BP = 串地址
    mov es, ax          ; 置 ES=DS
    mov cx, 4           ; CX = 串长
    mov ax, 1301h       ; AH = 13h（功能号）、AL = 01h（光标置于串尾）
    mov bx, 0038h       ; 页号为 0(BH = 0) 黑底白字(BL = 07h)
    mov dh, 12          ; 行号
    mov dl, 38          ; 列号
    int 10h             ; BIOS 的 10h 功能：显示一行字符
    pop es
    pop ds
    popa                ; 恢复现场
    ret
    ouch_str db 'OUCH'
```

功能号：ah=01h：

实现字符串的大小写转换，此处的功能是大写转换成小写，其具体的实现在 systemc.c 里的 toupper 函数里。

```
[extern toupper]
sys_toUpper:
    push es             ; 传递参数
    push dx             ; 传递参数
```

```
    call dword toupper
    pop dx              ; 丢弃参数
    pop es              ; 丢弃参数
    ret
```

其他的功能号的实现也与之类似，在此就不一一展现了。

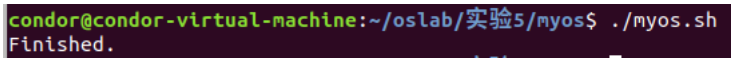
混合编译链接：

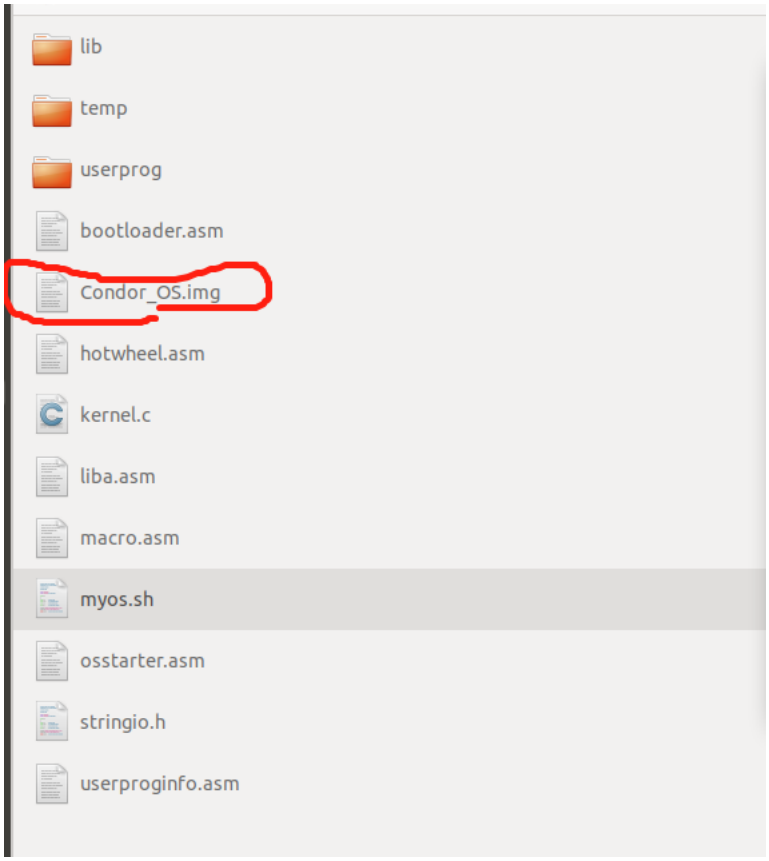
老方法了，将所有需要的文件进行联合编译链接，保存为 myos.sh 如下：

```
rm -rf temp
mkdir temp
rm *.img

nasm bootloader.asm -o ./temp/bootloader.bin
nasm userproginfo.asm -o ./temp/userproginfo.bin

cd userprog
nasm b.asm -o ../temp/b.bin
nasm a.asm -o ../temp/a.bin
nasm c.asm -o ../temp/c.bin
nasm d.asm -o ../temp/d.bin
nasm interrupt_caller.asm -o ../temp/interrupt_caller.bin
nasm syscall_test.asm -o ../temp/syscall_test.bin
cd ..

cd lib
nasm -f elf32 systema.asm -o ../temp/systema.o
gcc -fno-pie -c -m16 -march=i386 -masm=intel -nostdlib -ffreestanding -
mpreferred-stack-boundary=2 -lgcc -shared systemc.c -
o ../temp/systemc.o
cd ..

nasm -f elf32 hotwheel.asm -o ./temp/hotwheel.o

nasm -f elf32 osstarter.asm -o ./temp/osstarter.o
nasm -f elf32 liba.asm -o ./temp/liba.o
gcc -fno-pie -c -m16 -march=i386 -masm=intel -nostdlib -ffreestanding -
mpreferred-stack-boundary=2 -lgcc -shared kernel.c -o ./temp/kernel.o
ld -m elf_i386 -N -Ttext 0x8000 --
oformat binary ./temp/osstarter.o ./temp/liba.o ./temp/kernel.o ./temp/
systema.o ./temp/systemc.o ./temp/hotwheel.o -o ./temp/kernel.bin
```

```
rm ./temp/*.o

dd if=./temp/bootloader.bin of=Condor_OS.img bs=512 count=1 2> /dev/nul
l
dd if=./temp/userproginfo.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=1 count=1 2>
 /dev/null
dd if=./temp/kernel.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=2 count=16 2> /dev
/null
dd if=./temp/b.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=18 count=2 2> /dev/null
dd if=./temp/a.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=20 count=2 2> /dev/null
dd if=./temp/c.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=22 count=2 2> /dev/null
dd if=./temp/d.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=24 count=2 2> /dev/null
dd if=./temp/interrupt_caller.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=26 count
=1 2> /dev/null
dd if=./temp/syscall_test.bin of=Condor_OS.img bs=512 seek=27 count=3 2
> /dev/null

echo "Finished."
```

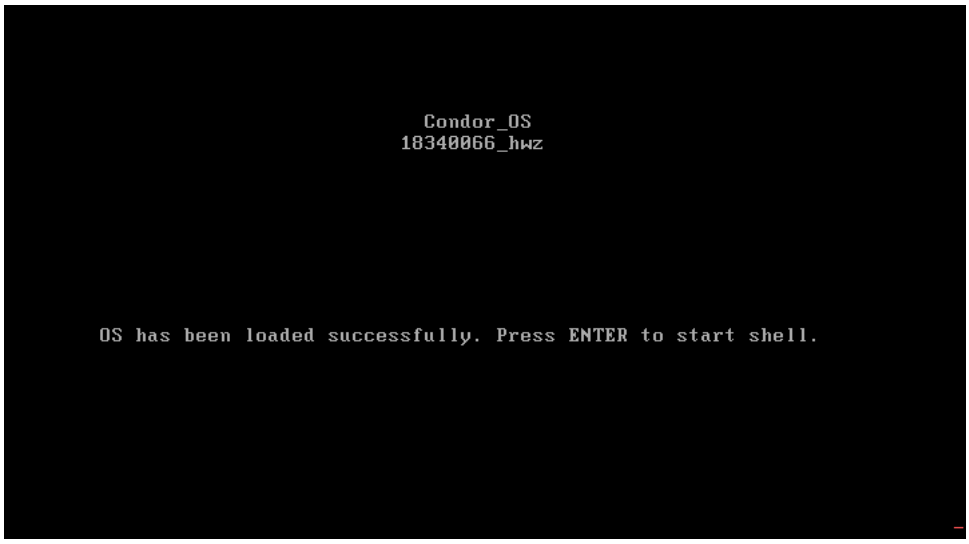
运行之，得到 Condor_OS.img 如下：



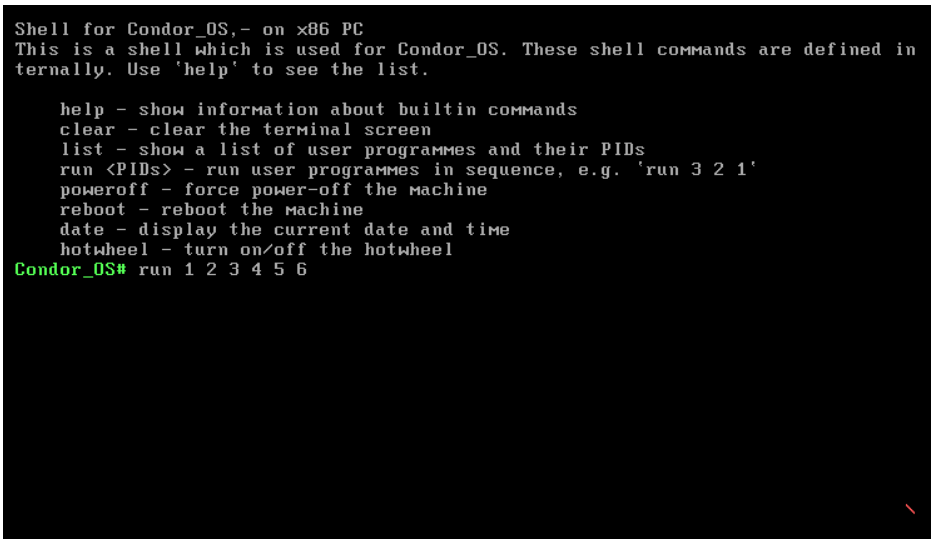


实验结果展示：

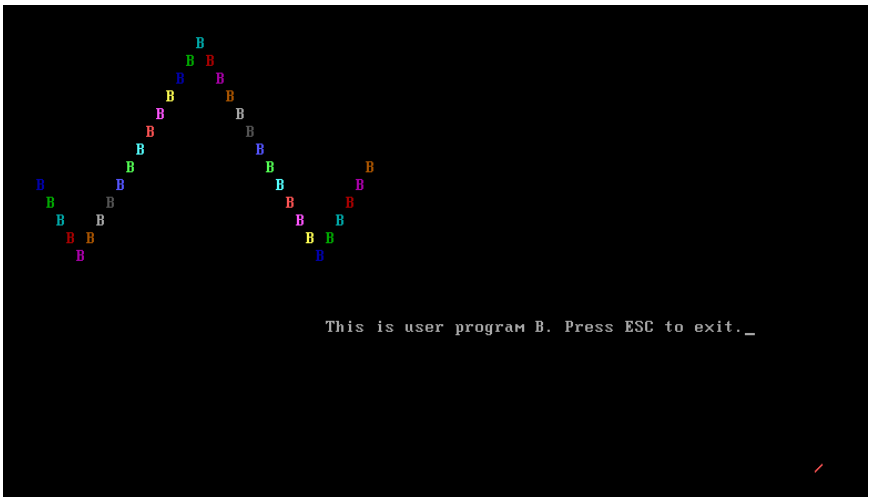
开机，风火轮在右下角转动：

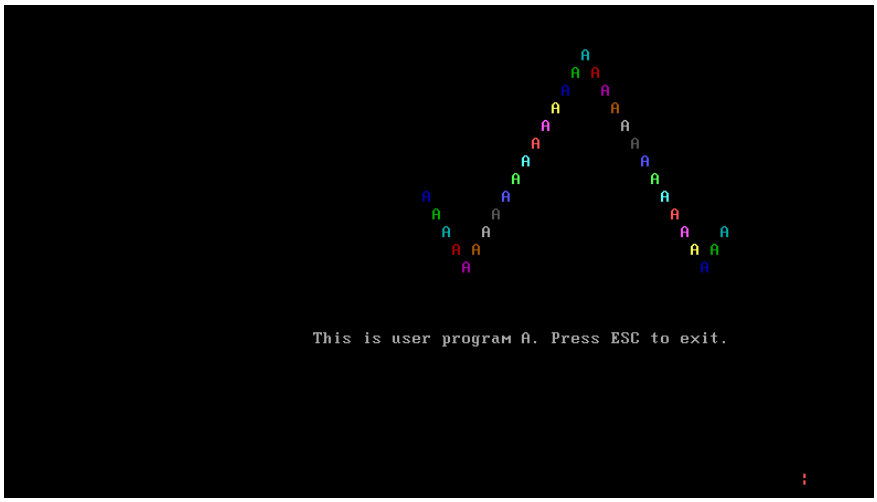


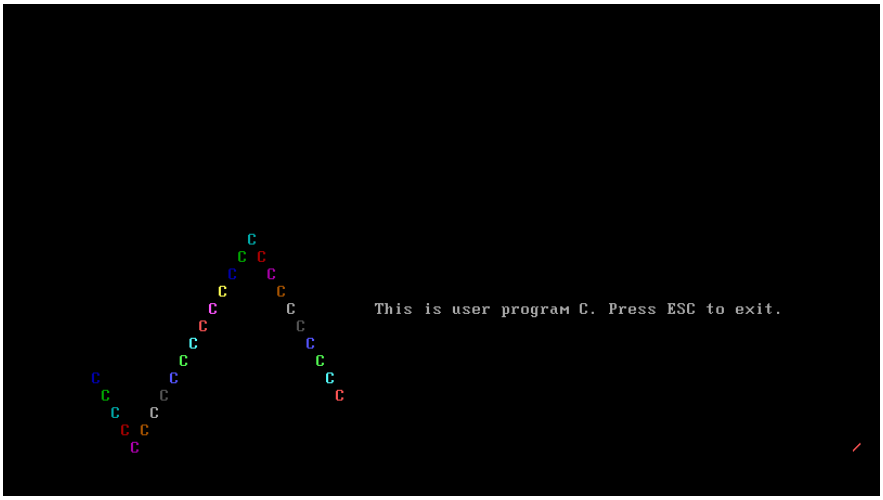
进入 shell 界面，准备执行 run 命令：



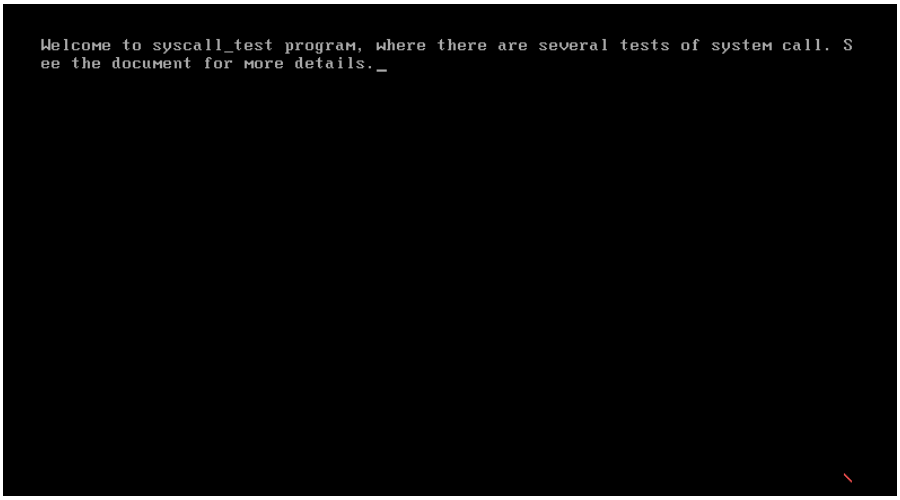
执行命令画面依次如下，可以看到，OUCH! 的显示已经消失了：

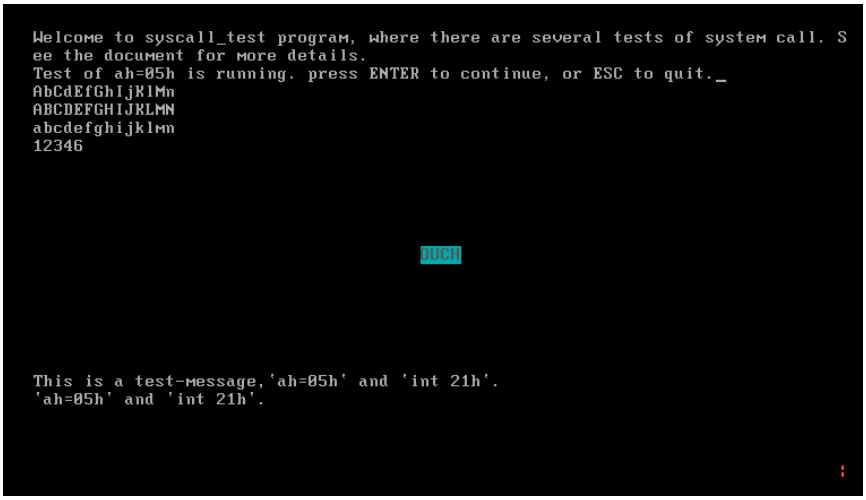



This is user program A. Press ESC to exit.

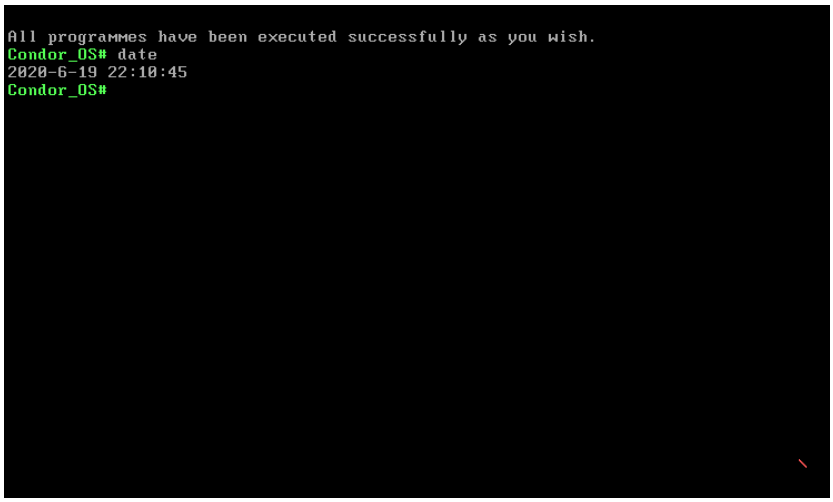

This is user program C. Press ESC to exit.


This is user program D.DPress EDC to exit._





执行新增加的命令 date：



实验心得：

最大的体会是明白了系统调用与一般调用的区别，包括运行状态、调用方法等等。如果没有系统调用，那么用户在编写自己的程序的时候就无法调用系统内核已经封装好的函数，这对于扩展我们的操作系统来说并不是一件好事。而有了系统调用，这就可以达到方便用户使用的目的。