实验5 实现系统调用

18340052 何泽

实验5　实现系统调用

18340052　何泽

一、实验目的

二、实验要求

三、实验内容

四、实验方案

1.相关基础原理

2.实验环境与工具版本

3.实验思路

五、实验过程与结果

1. 操作系统功能

2. 引导程序

3.内核：汇编部分

① myos.asm

② int.asm

③ function.asm

④ c_lib.asm

4. 内核：C程序部分 & 用户程序

5.编译

6.运行

六、创新工作

七、问题及解决方案

八、实验总结

一、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

二、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

三、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
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
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
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。

注：我设计的程序触碰键盘显示OUCH!并不会阻碍正常的功能，我就保留了这一功能。此外，老师的要求是设置软中断22h为显示字符，但因为我在上个实验已经实现这个功能，但当时按照PPT是33h至36h，所以为了和我上个实验保持一致，我在这个实验设计的仍然是33h至36h而没有改成22h，这个设计原理是一样的仅仅是功能号不同而已所以没有更改（但是21h还是按照老师的要求设计的）

四、实验方案

1.相关基础原理

- 操作系统除了执行用户的程序，还有义务为用户程序开发提供一些常用的服务，高级语言中，可以使用系统调用，实现软件重用的效果。
- 操作系统提供的服务可以用多种方式供用户程序使用
  - 子程序库静态链接

    采用子程序调用方式，如汇编语言中用call指令调用操作系统提供服务的子程序，静态链接到用户程序代码中，这种方式优点是程序执行快，最大缺点是用户程序内在和外存空间占用多，子程序库管理维护工作复杂。
  - 内核子程序软中断调用

    采用软中断方式，如汇编语言中用int指令调用操作系统提供服务的子程序，系统服务的子程序在内核，这种方式的优点是服务由系统提供，程序效率较高，且被所有用户程序代码共享，有利于节省内存，最大缺点是需要防止内核再入或内核设计为可再入，且用户程序陷入内核和内核返回用户程序的开销较大。
  - 子程序库动态链接

    采用动态链接技术，操作系统在运行时响应子程序调用，加载相应的子服务程序并链接致用户地址空间，这种方式优点是可由多方提供服务程序，服务更内容丰富，增加和变更服务方便，最大缺点是链接耗时多，程序响应变慢，实现复杂。
- BIOS调用

    - 与内核子程序软中断调用方式原理是一样的
    - 每一种服务由一个子程序实现，指定一个中断号对应这个服务，入口地址放在中断向量表中，中断号固定并且公布给用户，用户编程时才可以中断调用，参数传递可以使用栈、内在单元或寄存器
- 系统调用
    - 因为操作系统要提供的服务更多，服务子程序数量太多，但中断向量有限，因此，实际做法是专门指定一个中断号对应服务处理程序总入口，然后再将服务程序所有服务用功能号区分，并作为一个参数从用户中传递过来，服务程序再进行分支，进入相应的功能实现子程序
    - 这种方案至少要求向用户公开一个中断号和参数表，即所谓的系统调用手册，供用户使用
    - 如果用户所用的开发语言是汇编语言，可以直接使用软中断调用
    - 如果使用高级语言，则要用库过程封装调用的参数传递和软中断等指令汇编代码
    - 规定系统调用服务的中断号是21h
- 系统调用服务程序实现方法

    在内核增加一个过程作为系统调用的总入口，用以获取参数和分析功能号，再根据功能号产生分枝结构，根据系统调用号决定选择对应的分支完成相应的服务。通常每个分枝实现一种系统调用功能。

2.实验环境与工具版本

- 平台：`Windows + Ubuntu`

```
heze@ubuntu:~/os/os3$ lsb_release -a
No LSB modules are available.
Distributor ID: Ubuntu
Description:    Ubuntu 20.04 LTS
Release:        20.04
Codename:       focal
heze@ubuntu:~/os/os3$ cat /proc/version
Linux version 5.4.0-29-generic (buildd@lgw01-amd64-035) (gcc version 9.3.0 (Ubu
ntu 9.3.0-10ubuntu2)) #33-Ubuntu SMP Wed Apr 29 14:32:27 UTC 2020
```

    - c语言编译器：`tcc`,运行环境：`DosBox 0.74`
    - 汇编工具：`nasm` + `tasm`

```
heze@ubuntu:~$ nasm --version
NASM version 2.14.02
```

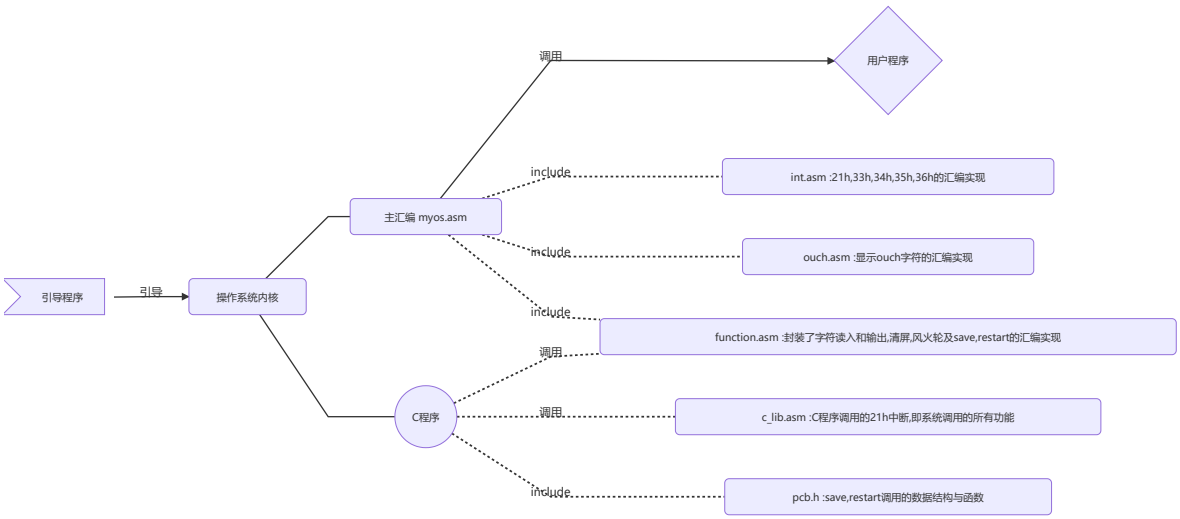
- `Make`：

```
heze@ubuntu:~$ make --version
GNU Make 4.2.1
Built for x86_64-pc-linux-gnu
Copyright (C) 1988-2016 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
```

- 虚拟机：`VMware Workstation Pro 15`

3.实验思路

以前我的汇编代码都是写在一个文件里的，这次实验我的想法是既然要把C库单独分离出来，那干脆就多分几个文件，每一个大功能写成一个asm文件，之后在主汇编里include就好了，这次试验我的文件安排以及思路如下图：



五、实验过程与结果

（这一部分只写最终结果。完成过程中遇到的问题、错误以及一步步检查问题并不断改进的过程将在板块“七、问题及解决方案”中详细叙述）

1. 操作系统功能

- 操作系统内核功能

  进入系统后，会在最右侧那一列显示“无敌风火轮”

输入命令	功能描述与参数解释
name	显示程序的名字
size	显示程序的名字与大小
clean	清屏，只留下开头的指引
time	获取当前的时间
author	显示姓名学号

- 执行用户程序

  用户程序功能为数字在屏幕反弹，第几个程序就是数字几在反弹，**执行过程中每按一次键盘就会在上、下、左、右、中出现“OUCH！OUCH！”**

输入命令	解释
run + 程序序号	可以执行单个程序，如 `run 1` ，也可以按顺序执行多个，如 `run 2341`

- 批处理命令

输入命令	功能
a.cmd	按顺序执行1-4用户程序
b.cmd	执行完1-4用户程序后获取当前时间
c.cmd	显示用户文件的名字、大小和所在扇区号

- 中断服务程序

输入命令	功能
int 33h	在左上显示字符“This is int 33h”
int 34h	在右上显示字符“This is int 34h”
int 35h	在左下显示字符“This is int 35h”
int 36h	在右下显示字符“This is int 36h”
int 21h	进入21h中断系统调用

  - 系统调用

    进入系统调用后可输入功能号完成相关功能：

功能号	功能
0	显示ouch字符
1	小写转为大写
2	大写转为小写
3	调用33h中断
4	调用34h中断
5	调用35h中断
6	调用36h中断
7	按顺序执行用户程序1-4
8	显示姓名、学号
9	退出系统调用，进入内核最初界面

2. 引导程序

- 引导程序的作用是加载操作系统内核，同时输出字符，因为和之前的一样，不再详细叙述
- 因为引导成功后直接进入内核，而内核会先清屏后输出字符，所以在实际过程中引导程序的字符并不会被看见，因为太快了，只有在程序出错导致无法正确引导的时候才能看见这串字符

3.内核：汇编部分

注：ouch.asm上一个实验已经叙述过，这里就不再叙述了

① myos.asm

首先用extrn声明C要用的变量和函数

```
extrn  _myos:near
extrn _in:near
extrn _hour:near
extrn _min:near
extrn _sec:near
extrn _num:near
extrn  _to_upper:near
extrn  _to_lower:near
extrn  _to_run_myprogram:near
```

然后设置时钟中断向量的偏移地址和时钟中断向量的段地址，再call在int.asm中写的setINT函数，并include其他文件即可，主要代码如下：

```
start:
    xor ax,ax
    mov es,ax
    mov ax,offset Timer
    mov word ptr es:[20h],offset Timer
    mov ax,cs
    mov word ptr es:[22h],cs

    call setINT

    mov ax, cs
    mov ds, ax
    mov es, ax
    mov ss, ax
    mov sp, 0FFFCH
    call near ptr _myos
    jmp $

include function.asm
include ouch.asm
include int.asm
```

② int.asm

这一部分是中断的实现，因为33h-36h几乎完全一样，故以33h为例；故这部分叙述33h和21h系统调用

- 首先进行中断设置

```
setINT:
    push ax
    push es

    xor ax,ax
    mov es,ax
    mov word ptr es:[33*4],offset int_21h       ;21h
    mov ax,cs
    mov word ptr es:[33*4+2],ax

    xor ax,ax
    mov es,ax
```

```
    mov word ptr es:[51*4],offset int_33h       ;33h
    mov ax, cs
    mov word ptr es:[51*4+2],ax
```

- 调用33h中断

```
public _run33
_run33 proc
    push ax
    push bx
    push cx
    push dx
    push es

    call _cls

    int 33h
    call DelaySome
    pop ax
    mov es,ax
    pop dx
    pop cx
    pop bx
    pop ax
    ret
_run33 endp
```

- 33h中断实现：

```
int_33h:
    push ax
    push bx
    push cx
    push dx
    push bp

    mov ah,13h                  ; 功能号
    mov al,0                    ; 光标放到串尾
    mov bl,05h                  ; 颜色
    mov bh,0                    ; 第0页
    mov dh,5                    ; 第5行
    mov dl,10                   ; 第10列
    mov bp,offset message33     ; BP=串地址
    mov cx,16                   ; 串长
    int 10h                     ; 调用10H号中断

    pop bp
    pop dx
    pop cx
    pop bx
    pop ax

    mov al,33h                  ; AL = EOI
    out 33h,al                  ; 发送EOI到主8529A
    out 0A0h,al                 ; 发送EOI到从8529A
    iret                        ; 从中断返回

message33:
```

```
30      db "This is INT 33H!",'$'
```

- 调用21h中断系统调用（各功能号的代码几乎一样，为节省篇幅只叙述功能号0-3）

```
int_21h:
    push bx
    push cx
    push dx
    push bp

    cmp ah,0
    jnz cmp1
    call int_21h_0
    jmp end_21h
cmp1:
    cmp ah,1
    jnz cmp2
    call int_21h_1
    jmp end_21h
cmp2:
    cmp ah,2
    jnz cmp3
    call int_21h_2
    jmp end_21h
cmp3:
    cmp ah,3
    jnz cmp4
    call int_21h_3
    jmp end_21h
```

- 0号功能，屏幕中央显示 OUCH

```
int_21h_0:

    call _cls

    mov ah,13h                  ; 功能号
    mov al,0                    ; 光标放到串尾
    mov bl,0eh
    mov bh,0                    ; 第0页
    mov dh,12                   ; 第12行
    mov dl,38                   ; 第38列
    mov bp,offset MES_OUCH      ; BP=串地址
    mov cx,5                    ; 串长为5
    int 10h                     ; 调用10H号中断

    ret

MES_OUCH:
    db "OUCH!"
```

- 1号功能，小写转大写，这里调用了C函数

```
int_21h_1:
    push dx                     ; 字符串首地址压栈
    call near ptr _to_upper     ; 调用 C 过程
    pop dx
    ret
```

- 2号功能，大写转小写，同样调用了C函数

```
int_21h_2:
    push dx
    call near ptr _to_lower
    pop dx
    ret
```

- 3号功能，调用33h中断

```
int_21h_3:
    call _run33
    ret
```

- 7号功能，执行4个用户程序

```
int_21h_7:
    call near ptr _to_run_myprogram
    ret
```

- 8号功能，在屏幕中央输出姓名学号

```
 int_21h_8:

     call _cls

     mov ah,13h                  ; 功能号
     mov al,0                    ; 光标放到串尾
     mov bl,09h                  ; 白底深蓝
     mov bh,0                    ; 第0页
     mov dh,11                   ; 第11行
     mov dl,25                   ; 第25列
     mov bp,offset MES_data      ; BP=串地址
     mov cx,70                   ; 串长为70
     int 10h                     ; 调用10H号中断

     ret

 MES_data:
     db "Name        : HeZe     ",0dh,0ah
     db "                         "
     db "StudentID   : 18340052"
```

③ function.asm

这一部分封装的清屏,获取时间,加载运行程序和风火轮的汇编实现,由于这些函数之前都详细解释过，这里就不叙述了，只叙述字符读入和输出和save、restart

- 字符输出

```
public _printchar
_printChar proc
    push bp
    mov bp,sp
    mov al,[bp+4]
    mov bl,0
    mov ah,0eh
    int 10h
    mov sp,bp
    pop bp
    ret
_printchar endp
```

- 字符读入

```
public _getchar
_getchar proc
    mov ah,0
    int 16h
    mov byte ptr[_in],al
    ret
_getchar endp
```

- save、restart的数据结构，就是各个寄存器

```
typedef struct RegisterImage
{
    int SS;
    int GS;
    int FS;
    int ES;
    int DS;
    int DI;
    int SI;
    int BP;
    int SP;
    int BX;
    int DX;
    int CX;
    int AX;
    int IP;
    int CS;
    int FLAGS;
}RegisterImage;

typedef struct PCB
{
    RegisterImage regImg;
    int Process_Status;
}PCB;
```

  - 初始化，对各寄存器赋值：

```
void init(PCB* pcb,int segement, int offset)
{
    pcb->regImg.GS = 0xb800;
    pcb->regImg.SS = segement;
    pcb->regImg.ES = segement;
```

```
    pcb->regImg.DS = segement;
    pcb->regImg.CS = segement;
    pcb->regImg.FS = segement;
    pcb->regImg.IP = offset;
    pcb->regImg.SP = offset - 4;
    pcb->regImg.AX = 0;
    pcb->regImg.BX = 0;
    pcb->regImg.CX = 0;
    pcb->regImg.DX = 0;
    pcb->regImg.DI = 0;
    pcb->regImg.SI = 0;
    pcb->regImg.BP = 0;
    pcb->regImg.FLAGS = 512;
    pcb->Process_Status = NEW;
}
```

- save要调用的函数save_process,就是将各个寄存器的值写入上面定义的结构

```
void Save_Process(int gs,int fs,int es,int ds,int di,int si,int bp,int
sp,int dx,int cx,int bx,int ax,int ss,int ip,int cs,int flags)
{
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.AX = ax;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.BX = bx;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.CX = cx;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.DX = dx;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.DS = ds;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.ES = es;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.FS = fs;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.GS = gs;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.SS = ss;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.IP = ip;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.CS = cs;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.FLAGS = flags;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.DI = di;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.SI = si;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.SP = sp;
    pcb_list[CurrentPCBno].regImg.BP = bp;
}
```

- save，用于中断处理的现场保护，将各个寄存器的值压栈，然后调用前面的函数，存入结构体

```
Save:
    inc word ptr[Finite]
    cmp word ptr[Finite],800
    jnz Lee
    mov word ptr[_CurrentPCBno],0
    mov word ptr[Finite],0
    mov word ptr[_Program_Num],0
    mov word ptr[_Segment],2000h
    jmp Pre
Lee:
    push ss
    push ax
    push bx
    push cx
    push dx
    push sp
    push bp
```

```
    push si
    push di
    push ds
    push es
    .386
    push fs
    push gs
    .8086

    mov ax,cs
    mov ds, ax
    mov es, ax

    call near ptr _Save_Process
    call near ptr _Schedule

Pre:
    mov ax, cs
    mov ds, ax
    mov es, ax

    call near ptr _Current_Process
    mov bp, ax

    mov ss,word ptr ds:[bp+0]
    mov sp,word ptr ds:[bp+16]

    cmp word ptr ds:[bp+32],0
    jnz No_First_Time
```

- restart，用于中断处理的恢复，从结构获取寄存器的值再弹栈

```
Restart:
    call near ptr _special

    push word ptr ds:[bp+30]
    push word ptr ds:[bp+28]
    push word ptr ds:[bp+26]

    push word ptr ds:[bp+2]
    push word ptr ds:[bp+4]
    push word ptr ds:[bp+6]
    push word ptr ds:[bp+8]
    push word ptr ds:[bp+10]
    push word ptr ds:[bp+12]
    push word ptr ds:[bp+14]
    push word ptr ds:[bp+18]
    push word ptr ds:[bp+20]
    push word ptr ds:[bp+22]
    push word ptr ds:[bp+24]

    pop ax
    pop cx
    pop dx
    pop bx
    pop bp
    pop si
    pop di
```

```
    pop ds
    pop es
    .386
    pop fs
    pop gs
    .8086

    push ax
    mov al,20h
    out 20h,al
    out 0A0h,al
    pop ax
    iret
```

④ c_lib.asm

这一部分是C程序调用的21h中断,即系统调用的所有功能，主要就是赋给ah寄存器不同的数字，功能号是几就设置为多少

- 0号功能，显示 OUCH

```
public _showOUCH
_showOUCH proc
    push ax
    push bx
    push cx
    push dx
    push es

    call Clear

    mov ah,0      ;功能号为0
    int 21h

    call DelaySome

    pop ax
    mov es,ax
    pop dx
    pop cx
    pop bx
    pop ax
    ret
_showOUCH endp
```

- 1号功能，小写转大写

```
public _upper
_upper proc
    push bp
    mov bp,sp
    push si
    mov si,word ptr [bp+4]            ; 获得字符串首地址

    push ax
    push bx
    push cx
    push dx
```

```
    push es

    mov ah,1                        ;功能号为1
    mov dx,si                       ; 把字符串首地址给 dx
    int 21h

    pop ax
    mov es,ax
    pop dx
    pop cx
    pop bx
    pop ax

    pop si
    pop bp
    ret
_upper endp
```

- 3号功能，调用33h

```
public _int21h_call33h
_int21h_call33h proc
    push ax
    push bx
    push cx
    push dx
    push es
    call Clear
    mov ah,3                ;功能号为3
    int 21h
    call DelaySome
    pop ax
    mov es,ax
    pop dx
    pop cx
    pop bx
    pop ax
    ret
_int21h_call33h endp
```

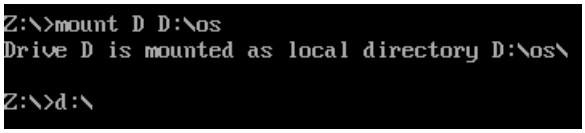
格式都一样，就是功能号不同，其他的就不再列出了

4. 内核： C程序部分 & 用户程序

除了C程序多了判断21h中断命令并调用的语句之外，其余的功能性的函数和上个实验一模一样，没有变化，只是多了if-else并调用汇编函数的语句，没什么技术价值，这里就不叙述了。

5.编译

- 首先在 `DosBox` 中使用 `TCC` 、 `TASM` 以及 `TLINK` 编译内核，并生成 `.com` 程序
  - 启动 `DosBox` ，将目录挂载到 `DosBox` 的D盘并进入



- 使用 `TCC` 、 `TASM` 、 `TLINK链接`

```
D:\>tasm myos.asm myos.obj >amsg,txt
Turbo Assembler  Version 4.1  Copyright (c) 1988, 1996 Borland International

Assembling file:   myos.asm
Error messages:    None
Warning messages:  None
Passes:            1
Remaining memory:  457k


D:\>tcc -mt -c -oos.obj myos.c >ccmsg.txt

D:\>tlink /3 /t myos.obj os.obj,myos.com
Turbo Link  Version 2.0  Copyright (c) 1987, 1988 Borland International
```

- 剩下的汇编我使用 `NASM` 编译，并在 `Ubuntu` 下使用 `dd` 命令写入软盘

  这里我使用 `Make` 自动完成创建空白软盘、 `nasm` 编译引导程序、将各个程序写入扇区的工作

  下面是我的 `MakeFile`

```
BIN = boot.bin prog1.bin prog2.bin prog3.bin prog4.bin
IMG = heze.img
all: clear $(BIN) $(IMG)
clear:
    rm -f $(BIN) $(IMG)
%.bin: %.asm
    nasm -fbin $< -o $@
%.img:
    /sbin/mkfs.msdos -C $@ 1440
    dd if=boot.bin of=$@ conv=notrunc
    dd if=MYOS.COM of=$@ seek=1 conv=notrunc
    dd if=prog1.bin of=$@ seek=24 conv=notrunc
    dd if=prog2.bin of=$@ seek=25 conv=notrunc
    dd if=prog3.bin of=$@ seek=26 conv=notrunc
    dd if=prog4.bin of=$@ seek=27 conv=notrunc
clean:
    rm *.bin
```

  其中，先将以前生成的文件都删除，然后1.44MB软盘是用 `/sbin/mkfs.msdos -C $@ 1440` 这一句完成创建的， `nasm` 命令将所有 `.asm` 文件汇编为 `.bin` 文件，然后将所有程序都写入软盘。

  编译：

```
heze@ubuntu:~/os/os5$ make
rm -f boot.bin prog1.bin prog2.bin prog3.bin prog4.bin heze.img
nasm -fbin boot.asm -o boot.bin
nasm -fbin prog1.asm -o prog1.bin
nasm -fbin prog2.asm -o prog2.bin
nasm -fbin prog3.asm -o prog3.bin
nasm -fbin prog4.asm -o prog4.bin
/sbin/mkfs.msdos -C heze.img 1440
mkfs.fat 4.1 (2017-01-24)
dd if=boot.bin of=heze.img conv=notrunc
1+0 records in
1+0 records out
512 bytes copied, 0.000118788 s, 4.3 MB/s
dd if=MYOS.COM of=heze.img seek=1 conv=notrunc
9+1 records in
9+1 records out
5043 bytes (5.0 kB, 4.9 KiB) copied, 0.000138334 s, 36.5 MB/s
dd if=prog1.bin of=heze.img seek=25 conv=notrunc
2+0 records in
2+0 records out
1024 bytes (1.0 kB, 1.0 KiB) copied, 0.000112883 s, 9.1 MB/s
dd if=prog2.bin of=heze.img seek=26 conv=notrunc
3+0 records in
3+0 records out
1536 bytes (1.5 kB, 1.5 KiB) copied, 0.000249189 s, 6.2 MB/s
dd if=prog3.bin of=heze.img seek=27 conv=notrunc
4+0 records in
4+0 records out
2048 bytes (2.0 kB, 2.0 KiB) copied, 0.000129034 s, 15.9 MB/s
dd if=prog4.bin of=heze.img seek=28 conv=notrunc
5+0 records in
5+0 records out
2560 bytes (2.6 kB, 2.5 KiB) copied, 0.000120401 s, 21.3 MB/s
```

可见所有的命令都自动执行了。

6.运行

- 首界面：

```
Welcome to HeZe's operating system.
Just input the name of the instructions.

name: Show the files's name    size: Show the files's size and name
clean: Clear the screen        time: Get the time
author: Show the author of this operating system
run: Run any number of program  e.g: run 2 or run 2431
Quick CMD: a.cmd: Execute program 1-4 sequentially.
           b.cmd: Execute a.cmd then get the time
           c.cmd: Show the file name & size & disk
Others: int 21h , int 33h , int 34h , int 35h , int 36h

Please enter your instruction:
```

- 显示文件名、大小信息、时间与姓名学号

```
Please enter your instruction:name
[NAME]
program1
program2
program3
program4
myos

Please enter your instruction:size
[NAME]    [SIZE]
program1  2618Bytes
program2  2625Bytes
program3  2623Bytes
program4  2628Bytes
myos      1090Bytes

Please enter your instruction:time
15:25:12

Please enter your instruction:author
18340052 HeZe
```

- 33h中断调用：

```
        This is INT 33H!
```

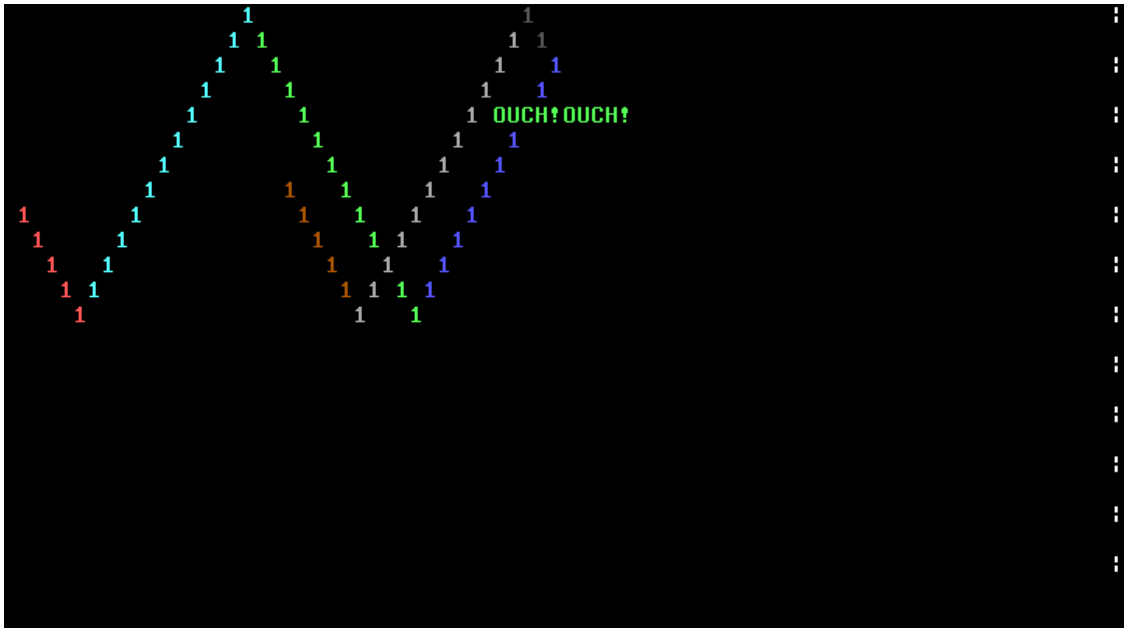
- 34h中断调用：

```
                                        This is INT 34H!
```

- 35h中断调用：

- 36h中断调用：

- 用户程序1（这里只以一为例，二到四的图片就不放了）

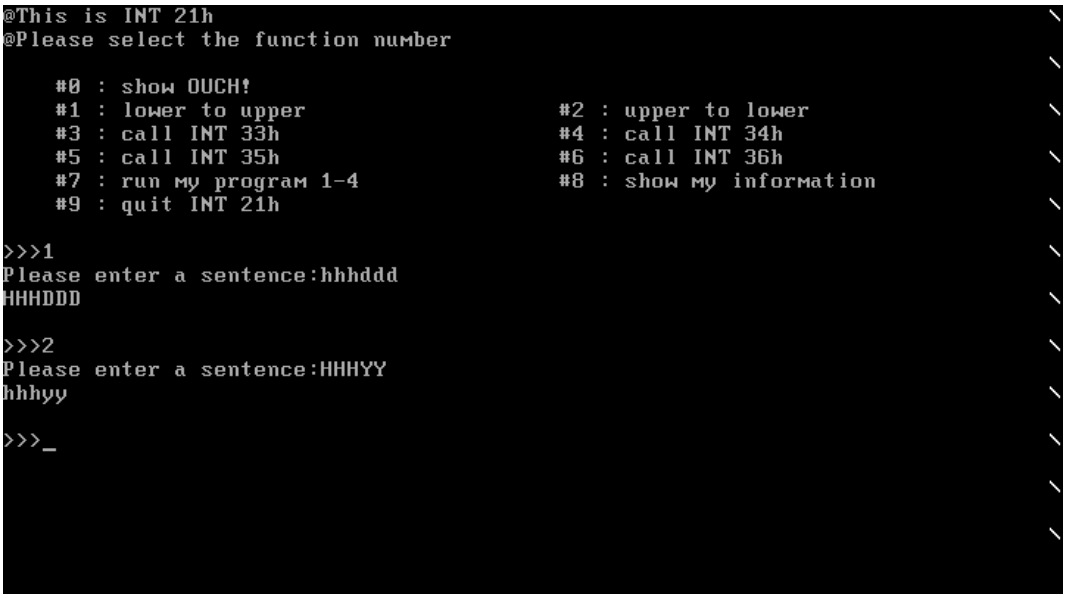


- 进入21h中断即系统调用

- 首界面：

- 1号功能，显示ouch：

- 大小写转换：



系统调用的调用33-36中断界面与之前一样就不放截图了，其余功能无法用截图展示，详见演示视频

六、创新工作

3. 使用 `Make` ，各种命令自动执行
4. 系统调用设计了9个功能，并且单独分离出来，可进入、退出

七、问题及解决方案

1. 首先就是将汇编拆成多个文件之后如何联合编译的问题，因为之前写汇编都是写在一个文件里，这次拆分成多个文件之后不知道如何编译。关于这个我首先是在网上找了一下，发现根本没有相关的解答，所以只能自己去试，我尝试过在tcc命令里将各个文件都写上，试了用空格隔开、用加号连接，发现都不行，即使在主汇编里include也不行，最后试了好多种组合终于发现了正确的编译方法，就是编译命令根本不用写其它的asm文件，只要将被include的文件与主汇编放在一个文件夹里，主汇编include这些文件，tcc命令后面加主汇编即可将所有文件联合编译。
2. 我在实验过程中出现了下面这个问题：

   一开始很懵，完全不知道是哪里出错了才导致的这个问题，后来将整个代码都分析了一遍发现是寄存器的问题，没有保护好，在调用功能号之前先将值压栈之后就没有这个问题了。
3. 程序在运行的时候，关于21h中断，我在VMWare中有时候可以正常运行，有时候输入功能号之后无法执行程序，会直接返回21h最初的界面，我换了VirtualBox也是一样的结果，这个问题我没有找到原因，但是这只是偶然的情况，大概率还是会正常运行的。

八、实验总结

这次实验还是挺复杂的，首先就是软中断的调用，如何设计系统调用，这一部分我看了好久的理论知识，熟悉了之后再实现就容易了好多；再就是将之前的一个汇编文件拆分成多个文件，虽然拆的时候遇到了很多的小问题，比如有的函数忘记复制了，有的复制了两遍等等，然后在编译的时候也是遇到了麻烦，但是当这些问题都解决了之后其实作用还是很明显的，不像之前好几百行的代码debug找位置也要花一段时间，现在将各个功能独立出来之后debug就会方便很多，哪个功能出问题了直接去那个文件改就好；再就是关于save和restart，这一部分在本次实验是最让我头疼的，关于怎么设计数据结构怎么调用我都看了好久，好在最后都实现了。这次实验给我的感觉还是要细心，在实现的时候一定要时刻注意保护各个寄存器，否则一出问题整个就都崩了。总之，这次试验我更明白了中断的调用与实现，以及中断现场的保护和恢复，这些都会有益于下一个实验。