实验六：实现五状态的进程模型

实验者：张海涛，张晗宇，张浩然，张镓伟
学号：15352405,15352406,15352407,15352408
院系：数据科学与计算机学院
专业：15 级软件工程（移动信息工程）
指导老师：凌应标

【实验题目】

在设计的操作系统中实现五状态的进程模型

【实验目的】

保留原型原有特征的基础上，设计满足下列要求的新原型操作系统：

(1)实现控制的基本原语 do_fork()、 do_wait()、do_exit()、blocked()和 wakeup()。

(2)内核实现三系统调用 fork()、 wait()和 exit() ，并在 c 库中封装相关的系统调用.

(3)编写一个 c 语言程序，实现多进程合作的应用程序。

【实验要求】

1. 创建 8 个空的 PCB 结构块
2. 实现控制的基本原语 do_fork(),do_wait(),do_exit(),blocked()和 wakeup().
3. 内核实现三系统调用 fork（），wait()和 exit（）,并在 c 库中封装相关的系统调用。
4. 编写一个 c 语言程序，实现多进程合作的应用程序。
5. 多程序合作程序：由父进程生成一个字符串，交给子进程统计其中字母的个数，然后在父进程中输出这一统计结果

【实验方案】

一. 虚拟机配置方法

无操作系统，10M 硬盘，4MB 内存，启动时连接软盘

二. 软件工具和作用

Notepad++:用于生成.汇编语言文件

Nasm：用于编译.asm 类型的汇编语言文件，生成 bin 文件

Vmware Workstation 12Player: 用于创建虚拟机，模拟裸机环境

TCC：用于由.c 文件生成.obj 文件

TNASM：用于由.asm 文件生成.obj 文件。

Tlink：用于链接 obj 文件生产.com 可执行文件

DOSＢＯＸ：用于运行 TCC，TASM 与 TLINK

三. 实验原理

1. 五状态进程模型

在五状态进程模型中，进程状态被分成下列五种状态。进程在运行过程中主要是在就绪、运行和阻塞三种状态间进行转换。创建状态和退出状态描述进程创建过程和进程退出过程。

1)运行状态(Running)：进程占用处理器资源；处于此状态的进程的数目小于等于处理器的数目。在没有其他进程可以执行时(如所有进程都在阻塞状态)，通常会自动执行系统的空闲进程。

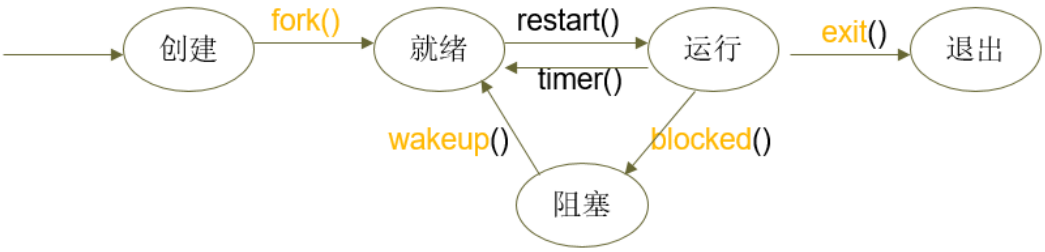
2)就绪状态(Ready)：进程已获得除处理器外的所需资源，等待分配处理器资源；只要分配了处理器进程就可执行。就绪进程可以按多个优先级来划分队列。例如，当一个进程由于时间

片用完而进入就绪状态时，排人低优先级队列；当进程由 I / O 操作完成而进入就绪状态时，排入高优先级队列。

3)阻塞状态(Blocked)：当进程由于等待 I/O 操作或进程同步等条件而暂停运行时，它处于阻塞状态。

4)创建状态(New)：进程正在创建过程中，还不能运行。操作系统在创建状态要进行的工作包括分配和建立进程控制块表项、建立资源表格(如打开文件表)并分配资源、加载程序并建立地址空间表等。

5)退出状态(Exit)：进程已结束运行，回收除进程控制块之外的其他资源，并让其他进程从进程控制块中收集有关信息(如记帐和将退出代码传递给父进程)。



2. do_fork()的功能描述

参考 unix 早期的 fork()做法，我们实现的进程创建功能中，父子进程共享代码段和全局数据段。子进程的执行点(CS:IP)从父进程中继承过来，复制而得。创建成功后，

父子进程以后执行轨迹取决于各自的条件和机遇，即程序代码、内核的调度过程和同步要求。

系统调用的返值如何获得：C 语言用 ax 传递，所以放在进程 PCB 的 ax 寄存器中

fork()调用功能如下：

寻找一个自由的 PCB 块，如果没有，创建失败，调用返回－1；

以调用 fork()的当前进程为父进程，复制父进程的 PCB 内容到自由 PCB 中。

产生一个唯一的 ID 作为子进程的 ID，存入至 PCB 的相应项中。

为子进程分配新栈区，从父进程的栈区中复制整个栈的内容到子进程的栈区中；

调整子进程的栈段和栈指针，子进程的父亲指针指向父进程。

Pcb_list[s].fPCB= pcb_list[CurrentPCBno];

在父进程的调用返回 ax 中送子进程的 ID，子进程调用返回 ax 送 0。

3. wait()的功能描述

父进程如果想等待子进程结束后再处理子进程的后事，需要一个系统调用实现同步。我们模仿 UNIX 的做法，设置 wait()实现这一功能。

相应地，内核的进程应该增加一种阻塞状态，。当进程调用 wait()系统调用时，内核将当前进程阻塞，并调用进程调度过程挑选另一个就绪进程接权。

相应调度模块也要修改，禁止将 CPU 交权给阻塞状态的进程。

4. exit()的功能描述

父进程如果想等待子进程结束后再处理子进程的后事，需要一个系统调用 wait()，进程被阻塞。而子进程终止时，调用 exit()，向父进程报告这一事件，可以传递一个字节的信息给父进程，并解除父进程的阻塞，并调用进程调度过程挑选另一个就绪进程接权。

四. 程序设计

本次我们很早就开始了，开始时我们以上次的二状态操作系统为基础，加入五状态，即同时保留测试二状态的用户程序和测试五状态的用户程序。由于这次没有原型参考，只有 ppt 上的几小段代码，我们凭借自己的想法去添加，在实现的过程中我们遇到了很多问题：二状态和五状态的 PCB 需要独立开来，时间中断执行的功能需要根据不同情况作不同操作等等的问题，最后由于本身的代码已经很多，而我们添加进五状态之后代码显得很臃肿而且没办法正常运行相应功能。同时由于我们也只是在探索如何去编写五状态进程模型，所以庞大的代码造成了思维混乱，在我们尝试了多次 DEBUG 修复之后，五状态的操作系统还是没法运行。时间临近期末考试，无奈我们只能放弃之前的基础，只是实现了这次实验的要求。

这次实验最后我们只实现了五状态进程模型的功能，即让父子进程协作去数字符串长度，在这里我们相比 PPT 中只数一个字符串，增加多了一个字符串，可以通过输入来控制数字符串 1 还是字符串 2 的长度。流程大概如下：

选择要数的字符串 → 父进程创建子进程 → 通过时间中断让父子进程不断轮转执行 → 父进程一开始先 do_wait，让子进程去数字符串的长度 → 子进程数完后执行 do_exit 结束自己并把遗言(即字符串的长度告诉父进程)，在结束的同时将父进程唤醒 →父进程唤醒后输出从子进程得到的字符串长度

五.程序关键代码及解释

首先来看 PCB 的部分：

数据结构：

```
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 STATU;      /*运行状态*/
    int ID;         /*自己的PCB编号*/
    int FID;        /*父亲PCB编号*/
}PCB;
```

PCB 存储的是模拟一个 8086CPU 所需的所有寄存器信息，相比实验 5 的二状态模型的数据结构，在寄存器方面没有任何变化，但是在 PCB 表中要新增两个数据项：ID(自己的 PCB 编号)，FID（父亲的 PCB 编号）。增加这两个数据项是

为了以编号作为索引找到对应的进程，在子进程唤醒父进程的时候就起到了寻找父进程信息存储位置的作用。

栈分配：

```
int Stack [MAXNUM][1024];
int* OsStack=&Stack[1][0];
```

```
void stackcopy(int newID){
    for(i=0;i<1024;i++){
        Stack[newID][i]=Stack[nowID][i];
    }
}
```

```
start:
    mov ax, cs
    mov ds, ax
    mov es, ax
    mov ss, ax
    mov sp, word ptr _OsStack
```

这一段是这次实验困扰了我们最久的地方，我们知道每个进程都有栈信息，那么我们就开个二维数组来保存栈信息，到这里为止还没有问题，问题在于保存栈信息的地方，原本我们与另一组同学讨论得出的保存信息的方法是：在汇编代码中写一个循环将 sp 不断减一，每减一次再调用 C 代码将当前 sp 的信息保存下来，但是这样做就非常的麻烦，还容易出错，后来我们请教了另一组同学，他们告诉我们只要将二维数组的其中一维以指针方式记录，然后拿给内核使用就可以了，这样做的好处就在于复制栈的信息变得简单粗暴。另外需要说的一点就是 PCB[i]使用 stack[i]来保存相应的栈信息。

进程创建原语 do_fork()：

```
int do_fork(){
    PCB *p=&pcb_list[0];
    while(p<=&pcb_list[MAXNUM-1]&&p->STATU!=END) p=p+1;
    if(p>&pcb_list[MAXNUM-1])pcb_list[nowID].regImg.AX=-1;
    p->ID=p-&pcb_list[0];
    memcopy(&pcb_list[nowID].regImg,&pcb_list[p->ID].regImg,1024*2*p->ID);
    /*PCB复制函数*/
    stackcopy(p->ID);
    /*栈复制函数*/
    p->FID=nowID;
    p->regImg.AX=0;
    p->STATU=RUN;
    pcb_list[nowID].regImg.AX=p->ID;

}
```

do_fork()函数先在 PCB 查找空闲的表项，若没有找到，则爬生失败，将当前进程的 ax 寄存器的值设为-1；如果找到了，那么将父进程的 PCB 复制给子进程，并将父进程的堆栈内容复制给子进程的堆栈，然后为子进程分配一个 ID。该函数。

PCB 复制函数：

```
void memcopy(RegisterImage* F_PCB, RegisterImage* C_PCB ,int shamt){
   C_PCB -> SS = F_PCB -> SS;
   C_PCB -> SP = F_PCB -> SP + shamt;
   C_PCB -> GS = F_PCB -> GS;
   C_PCB -> ES = F_PCB -> ES;
   C_PCB -> DS = F_PCB -> DS;
   C_PCB -> CS = F_PCB -> CS;
   C_PCB -> FS = F_PCB -> FS;
   C_PCB -> IP =  F_PCB -> IP;
   C_PCB -> AX = F_PCB -> AX;
   C_PCB -> BX = F_PCB -> BX;
   C_PCB -> CX = F_PCB -> CX;
   C_PCB -> DX = F_PCB -> DX;
   C_PCB -> DI = F_PCB -> DI;
   C_PCB -> SI = F_PCB -> SI;
   C_PCB -> BP = F_PCB -> BP;
   C_PCB -> FLAGS = F_PCB -> FLAGS;
}
```

这一段就是复制 PCB 表的内容，shamt 是栈段位置的偏移量，由于父子进程是共享一个栈段，父进程使用的是运行操作系统的那个栈，即 stack[1]，子进程是使用 stack[p->ID]，那么这里应该相隔了 p-ID*1024 个 int(我每个 stack 开了 1024 个位置)，但是由于 int 的是两个字节，所以偏移量是 p->ID*2048，在 do_fork 中计算好当作参数传进来即可。这个乘 2 的问题我们一开始也被坑了，也是在一大佬的提点下才知道。

进程终止原语 do_exit()：

```
void do_exit(){
    pcb_list[nowID].STATU=END;
    pcb_list[pcb_list[nowID].FID].STATU=RUN;
    pcb_list[pcb_list[nowID].FID].regImg.AX=0;
    schedule();
}
```

这个函数就是结束自己，唤醒父进程，将父进程的 ax 寄存器设为 0，然后进行时间片轮转到下一个在运行状态的进程。

进程等待子进程结束 do_wait()原语：

```
void do_wait(){
    pcb_list[nowID].STATU=BLOCKED;
    schedule();
}
```

将自己设置为阻塞状态，进行时间片轮转到下一个在运行状态的进程。

时间片轮转：

```
void schedule(){/*时间片轮转*/
    for(i=(nowID+1)%MAXNUM;i<MAXNUM;i=(i+1)%MAXNUM)
        if(pcb_list[i].STATU==RUN){
            nowID=i;
            break;
        }
}
```

不断在 pcb_list[0]~ pcb_list[MAXNUM-1]中循环寻找下一个在运行状态的进程。

时间中断：

时间中断是把上次实验的时间中断给搬了过来，然后修改一下中断调用的程序 Pro_Timer 的内容

```
SetTimer:
    push ax
    mov al,34h   ; 设控制字值
    out 43h,al   ; 写控制字到控制字寄存器
    mov ax,29830 ; 每秒 20 次中断（50ms 一次）
    out 40h,al   ; 写计数器 0 的低字节
    mov al,ah    ; AL=AH
    out 40h,al   ; 写计数器 0 的高字节
    pop ax
    ret
```

```
;时钟中断 08h
clock_vector dw 0,0
public _set_clock
_set_clock proc
    cli
    push es
    push ax
    call SetTimer
    xor ax,ax
    mov es,ax
    mov ax,word ptr es:[20h]
    mov word ptr [clock_vector],ax
    mov ax,word ptr es:[22h]
    mov word ptr [clock_vector+2],ax
    ;fill the vector
    mov word ptr es:[20h],offset Pro_Timer
    mov ax,cs
    mov word ptr es:[22h],ax
    pop ax
    pop es
    sti
    ret
_set_clock endp
```

```
;恢复时钟中断
public _restart_clock
_restart_clock proc
    cli
    push es
    push ax
    xor ax,ax
    mov es,ax
    mov ax,word ptr [clock_vector]
    mov word ptr es:[20h],ax
    mov ax,word ptr [clock_vector+2]
    mov word ptr es:[22h],ax
    pop ax
    pop es
    sti
    ret
_restart_clock endp
```

```
Pro_Timer:
cli
call _save
call near ptr _schedule
jmp _restart
```

fork、wait、exit 函数：

将 fork wait exit 函数封装在 21 号中断中，然后再 c 中调用

```
public _fork
_fork proc
    mov ah,0
    int 21h
    ret
_fork endp

public _wait
_wait proc
    mov ah,1
    int 21h
    ret
_wait endp

public _exit
_exit proc
    mov ah,2
    int 21h
    ret
_exit endp
```

```
int21h proc
    cli
    push ax
    push es
    xor ax,ax
    mov es,ax
    mov word ptr es:[84h],offset int21FUN
    mov ax,cs
    mov word ptr es:[86h],ax
    pop es
    pop ax
    sti
    ret
int21h endp

FUN_VECTOR dw FUN0,FUN1,FUN2
int21FUN proc
    cli
    mov al,ah
    xor ah,ah
    shl ax,1
    mov bx,offset FUN_VECTOR
    add bx,ax
    mov ax,cs
    mov es,ax
    mov ds,ax
    jmp word ptr [bx]
int21FUN endp
```

```
;do_fork
FUN0 proc
  call _save
  call near ptr _do_fork
  jmp _restart
FUN0 endp
;do_wait
FUN1 proc
  call _save
  call near ptr _do_wait
  jmp _restart
FUN1 endp
;do_exit
FUN2 proc
  call near ptr _do_exit
  jmp _restart
FUN2 endp
```

六.编译.

使用 bat 批处理文件进行自动化编译。

make.bat:

```
del  *.obj
del  *.bin
del  *.img
del *.com
del  *.map
tcc -c cmain.c
tasm os.asm os.obj
tlink/3/t os.obj cmain.obj,os.com
```

by.bat：

by.bat - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H

```
nasm boot.asm -o boot.img
pause
```

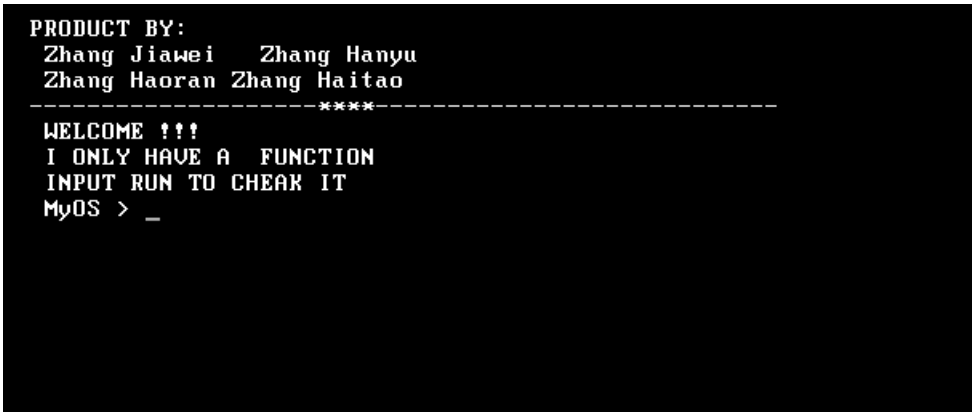
在 DOSBOX 中运行 make：

```
DOSBox 0.74, Cpu speed:   3000 cycles, Frameskip  0, Pro...

C:\>del *.com

C:\>del  *.map

C:\>tcc -c cmain.c
Turbo C  Version 2.01  Copyright (c) 1987, 1988 Borland International
cmain.c:

       Available memory 439720

C:\>tasm os.asm os.obj
Turbo Assembler  Version 4.1  Copyright (c) 1988, 1996 Borland International

Assembling file:   os.asm
Error messages:    None
Warning messages:  None
Passes:            1
Remaining memory:  460k


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

C:\>
```

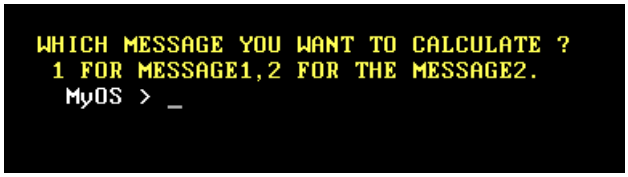
在本机运行 by.bat：

七.程序运行效果

内核界面：

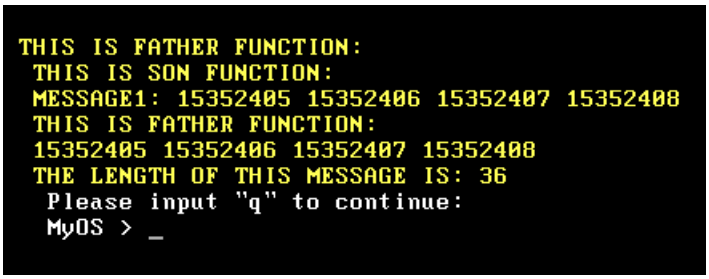


键入‘RUN’后:



之后可以键入 1 可以数字符串 1，键入 2 可以数字符串 2

数字符串 1：



字符串 1 是 4 个队员学号相连，加上空格共 36 个字符。

数字符串 2：

字符串 2 是 4 个队员名字拼音相连，加上空格共 51 个字符。

【实验总结】

本次实验我们很早就开始了尝试，一面理解 PPT 内容，一面在之前的操作系统上修改添加内容，前前后后我们大概花费了一周时间的实现了初次成果，初次尝试还是一如既往的让人失望：虚拟机上什么都没有显示一片漆黑。哎！这就是做操作系统最心累的地方了，一旦有几个小细节没有处理好，运行结果就会什么都没有。出现这样的问题，原因主要有两方面：一是没有汇编编程的基础，对寄存器之类的使用不熟悉，二是对操作系统的认识不够深入，很多概念都还是停留在知道的层面，真正要实现起来，真要花费很多精力去弥补知识的漏洞。

这次试验是要实现五状态的操作系统，在上课听老师讲了之后其实我们脑海中没多少深刻的印象，大概是因为我们本身还是水平有限吧。但是古语有云，三个臭皮匠，赛过诸葛亮，既然我们自己懵懵懂懂，那就拉多一点人一起研究啊，于是我们开始和另外几组人一起讨论，在讨论的过程中，我们得出了一个一个地方的写法，当然，有的写法比较蠢，在另外一些大神的指点下，我们又将一些比较蠢的地方作了改进，比如本次实验中最重要的部分一直--栈的使用部分。除此之外，我们也遇到了其他一些问题，比如操作系统会在每次调用中断的时候改变当前的 FLAG,CS,IP 三个寄存器的值，所以我们要将 fork，wait，exit 封装到系统调用里，在里面先用 save 保存好相关信息，再去执行相应操作。

栈那部分是这次实验的另一个难点，在保存栈的方法上我们一开始陷入了思维上的死局，总想着在汇编中对 sp 不断减一然后不断调用 c 代码去保存，殊不知大神们就使用了一下数组引用就解决了这个难点！学习到这个方法的时候我们觉得自己顿时豁然开朗。至于不同进程栈的切换，就只要在汇编中对 sp 的值修改一下就可以了。

做操作系统真是一件过程痛苦，结果很快乐的事。