实验七 父子进程通信 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 4 月 26 日

1 实验目的

- 进一步完善进程模型，建立一组合作进程，并发运行，各自完成一定的工作。
- 理解并实现操作系统的 fork, wait, exit 机制。

2 实验要求

在实验六的原型基础上，进化我的原型操作系统，原型保留原有特征的基础上，设计满足下列要求的新原型操作系统：

- 实现控制的基本原语 do_fork() 、do_wait() 、do_exit() 、blocked() 和 wakeup() 。
- 内核实现三系统调用 fork() 、wait() 、exit() ，并在 C 库中封装相关的系统调用。
- 编写一个 C 语言程序，实现多进程合作的应用程序。

3 实验步骤

3.1 设计思路

首先，我认为一个进程的状态只需要四种状态就可以表示：死亡（创建前和退出后均视为死亡）、就绪、运行、阻塞，而不需要五种状态。

对于进程创建 fork() 、进程退出 exit() 和父子进程通信 wait() ，应用中断调用中断服务程序。这三个中断服务程序应在内核实现，它们通过修改进程控制块，从而达到上述目的。

3.2 扩展进程控制块

由于将二进程模型升级为五进程模型，进程控制块的修改是必要的。我们应新增以下数据项：

- status 表示当前进程的状态（0 表示死亡，1 表示就绪，2 表示运行，3 表示阻塞）。
- father_pid 表示父进程的 pid 。
- son_cnt 表示有多少个**直接的**子进程。

- ret_val 表示**最后一个**退出的子进程的返回值。

```
typedef struct PCB {
    int ax;
    int bx;
    int cx;
    int dx;
    int si;
    int di;
    int bp;
    int es;
    int ds;
    int ss;
    int sp;
    int ip;
    int cs;
    int flags;
    int status;
    int father_pid;
    int son_cnt;
    int ret_val;
    char pname[16];
};

const int DEAD = 0;
const int READY = 1;
const int RUNNING = 2;
const int BLOCK = 3;

int now_process;
```

PCBlist 的下标即代表进程号，这个进程号不再是磁盘扇区的编号，较上个实验有改进。这样就支持同一个程序创建多个进程。

3.3 编写 C 语言测试程序

既然老师写好了，那我就直接拿来用好啦!

```
/* forkmain.c */

#include "process.h"
#include "forkio.h"

char str[55] = "129djwqhdsajd128dw9i39ie93i8494urjoiew98kdkd";

int LetterNr = 0;

void forkmain() {
    int pid, i, j;
    int ch;
```

```
    pid = fork();
    if (pid == -1) puts_no_new_line("error in fork!\n");
    if (pid) {
        puts_no_new_line("child pid=");
        printint(pid);
        ch = wait();
        puts_no_new_line("return val=");
        printint(ch);
        for (i = 0; str[i]; ++i);
        puts_no_new_line("tot len=");
        printint(i);
        exit(0);
    } else {
        j = 0;
        for (i = 0; str[i]; ++i)
            if (str[i] >= 'a' && str[i] <= 'z')
                ++ j;
        puts_no_new_line("alpha len=");
        printint(j);
        exit(0);
    }
}
```

process.h 就是调用中断的库。

```
/* process.h */
void exit(int ret_val) {
    char tmp;
    tmp = ret_val;
    asm mov ah, 4ch
    asm mov al, tmp
    asm int 21h
}

int fork() {
    asm int 22h
}

int wait() {
    asm int 23h
}
```

3.4 进程创建 forkint 原语

我思考了一下，forkint 原语要做的事情有很多啊！

- 执行 Save 过程，保存当前进程状态。
- 在 PCB 表查找空闲表项，若找不到空闲表项，将 ax 置为 -1 ，执行 Restart 过程。
- 若找到空闲表项，将父进程的 PCB 复制给子进程。

- 将父进程所使用的代码段、数据段、堆栈段全部复制给子进程。
- 修改子进程的 cs 、ds 、es 、ss 。
- 激活子进程，将其设置为就绪状态。
- 分别设置 fork() 函数的返回值，该步骤只需将对应的进程控制块中 ax 的值修改即可。
- 执行 Restart 过程。

好，那就一个个做啦!
首先先用汇编写 loader ，中断向量首先指向 loader ，然后 loader 再调用 C ，执行其他语句块。

fork 中断 loader 我将 fork 设置为 22h 号中断，用户程序通过中断调用来实现 fork 。

```
extrn _forkint:near

forkint:
    cli
    call near ptr Save

    mov ax, 0a00h
    mov ds, ax
    mov es, ax
    mov ss, ax
    mov sp, 0h
    call near ptr _forkint
    call near ptr Restart
```

forkint 过程 这一部分用 C 语言写，下面这段代码应该非常地简单易懂啦!

```
void forkint() {
    int tmp;
    save();
    tmp = find_dead_process();
    if (tmp == -1) {
        new_pcb.ax = -1;
        PCBcopy(&PCBlist[now_process], &new_pcb);
    } else {
        ProcessCopy(0x2000 + 0x40 * tmp, 0x2000 + 0x40 * now_process);
        new_pcb.ax = tmp;
        PCBcopy(&PCBlist[now_process], &new_pcb);
        PCBlist[now_process].son_cnt += 1;
        new_pcb.ax = 0;
        new_pcb.cs += (tmp - now_process) * 0x40;
        new_pcb.ds += (tmp - now_process) * 0x40;
        new_pcb.es += (tmp - now_process) * 0x40;
        new_pcb.ss += (tmp - now_process) * 0x40;
        PCBcopy(&PCBlist[tmp], &new_pcb);
        PCBlist[tmp].father_pid = now_process;
        make_alive(tmp);
```

```
    }
    restore(now_process);
}
```

3.5 进程终止 exit 原语

exit 原语要做的事情有：

- 修改进程控制块，结束进程。
- 更新父进程信息，解除阻塞。
- jmp $

最后一条要解释一下，做完前两个步骤后，CPU 的控制权仍在这个进程手上，而且 CPU 不会再次把控制权交给这个进程。所以我采用死循环的方式，等待时钟中断来临时将 CPU 控制权夺去，从而结束该进程。

同样地，先用汇编写 loader ，中断向量首先指向 loader ，然后 loader 再调用 C ，执行其他语句块。

exit 中断 loader 我将 exit 设置为 21h 号中断 4C 功能号，与 DOS 一致。用户程序通过中断调用来实现 exit 。

```
extrn _dosint:near

dosint:
    push ds
    push es
    push ax
    mov ax, 0a00h
    mov ds, ax
    mov es, ax
    pop ax
    call near ptr _dosint
    pop es
    pop ds
    iret
```

exitint 过程 这一部分用 C 语言写，下面这段代码应该非常地简单易懂啦！

```
void dosint() {
    char tah, tal;
    int tax;
    asm mov tah, ah
    asm mov tal, al
    asm mov tax, ax
    if (tah == 0x4c) {
        asm cli
        kill_pid(now_process, tal);
```

```
        asm sti
        asm jmp $
    }
}
```

顺便再贴一个 kill_pid 的代码，体现了对父进程的操作，包括解除阻塞、设置返回值等……

```
void kill_pid(int pid, int ret_val) {
    int j;
    if (pid == 0) return;
    if (PCBlist[pid].status == DEAD) return;
    PCBlist[pid].status = DEAD;
    PCBlist[PCBlist[pid].father_pid].son_cnt -= 1;
    if (PCBlist[PCBlist[pid].father_pid].son_cnt == 0 &&
        PCBlist[PCBlist[pid].father_pid].status == BLOCK) {
        PCBlist[PCBlist[pid].father_pid].status = READY;
        PCBlist[PCBlist[pid].father_pid].ax = ret_val;
    }
    PCBlist[PCBlist[pid].father_pid].ret_val = ret_val;
    for (j = 0; j < 64; ++j)
        if (PCBlist[j].status != DEAD && PCBlist[j].father_pid == pid) {
            PCBlist[j].father_pid = 0;
            PCBlist[pid].son_cnt -= 1;
            PCBlist[0].son_cnt += 1;
        }
}
```

3.6 进程等待子进程结束 wait 原语

wait 原语要做的事情有：

- 执行 Save 过程。
- 如果当前有儿子进程正在运行，则阻塞当前进程；若没有，将最后一个结束的子进程的返回值写入 ax 寄存器中。
- 执行 Schedule 过程。
- 执行 Restart 过程。

首先先用汇编写 loader ，中断向量首先指向 loader ，然后 loader 再调用 C ，执行其他语句块。

wait 中断 loader 我将 wait 设置为 23h 号中断，用户程序通过中断调用来实现 wait 。

```
extrn _waitint:near

waitint:
    cli
    call near ptr Save

    mov ax, 0a00h
```

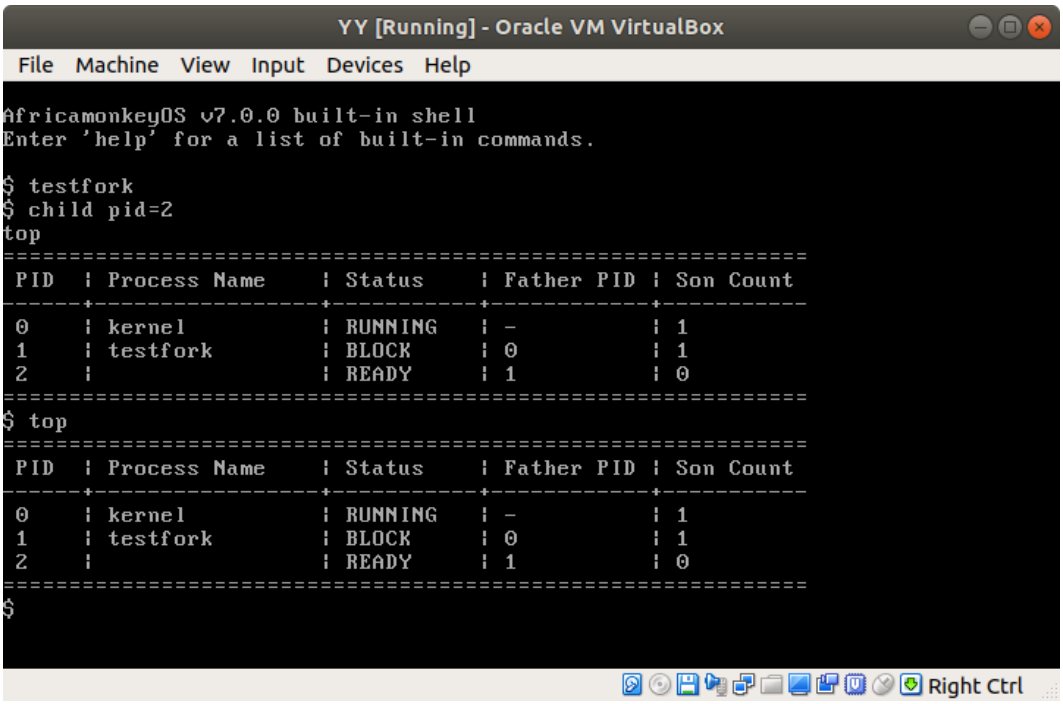
```
    mov ds, ax
    mov es, ax
    mov ss, ax
    mov sp, 0h
    call near ptr _waitint
    call near ptr Restart
```

waitint 过程　这一部分用 C 语言写，下面这段代码应该非常地简单易懂啦！

```
void waitint() {
    save();
    if (PCBlist[now_process].son_cnt > 0)
        PCBlist[now_process].status = BLOCK;
    else
        new_pcb.ax = PCBlist[now_process].ret_val;
    exchange();
}
```

遇到的问题　写完上面的三个原语之后，就可以拿去虚拟机测试了！

不出所料，肯定是不正常的……



利用之前写的 top 命令，我们可以看到，测试程序成功执行 fork 命令，父进程能成功得到子进程 pid 。父进程执行到 wait 命令时，成功被阻塞，却再也出不来了，产生了死锁。

我们还能看到，除了父进程有输出以外，屏幕上只有子进程的进程控制块，却没有它输出的任何信息。

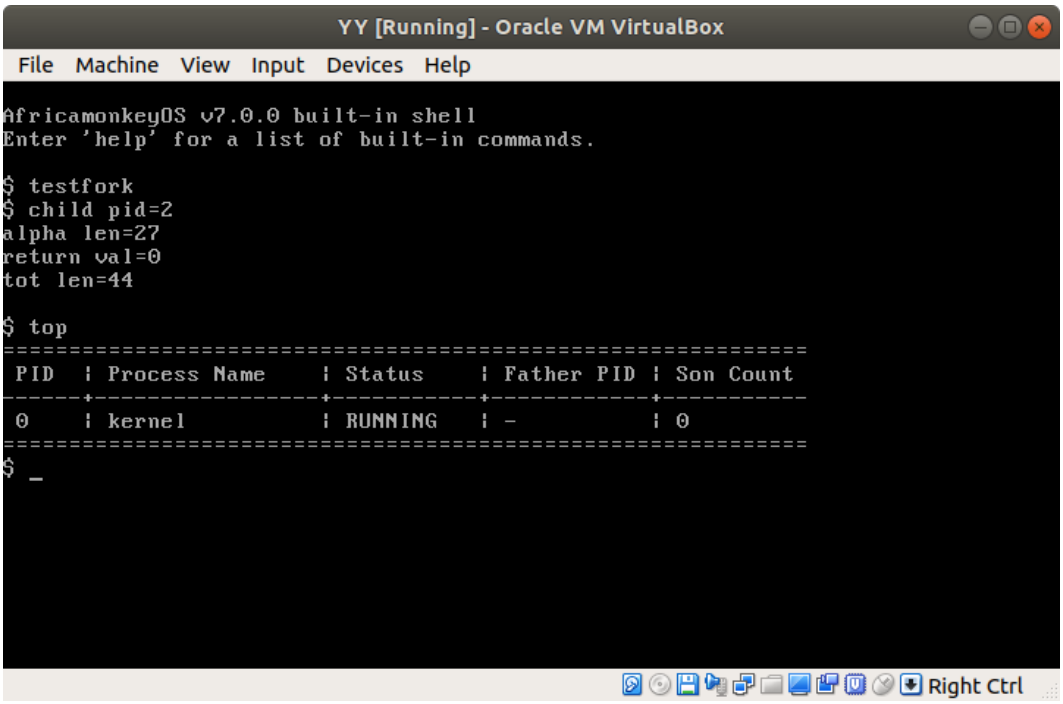
据此可以判断，子进程没有被成功执行，应该是 fork 的时候错了。

仔细检查 fork 的代码，并没有错，符合我的思维逻辑。这样的话，只能进 bochs 跟踪了……

我把断点设置在时钟中断处，每次时钟中断来临时，我都会跟踪到 Restart 的那个进程。果然，在执行完 fork 之后的一个时钟中断，程序跳转到 2 号进程（子进程），我看到它的代码是空语句!

没复制代码段?!!! 我仔细检查了复制，没有问题，却在另一个地方找到了问题：在创建父进程时，本该将程序从磁盘拷贝到 a 位置，却拷贝到了 b 位置，执行程序时，执行的也是 b 位置的程序。由于之前的程序仍然可以正确地跑起来，所以一直没有发现这个问题！改好这个问题后，程序得以正常运行。

附一个正常运行的图：



4 实验总结

这次实验让我体会到多进程操作系统调试的痛苦!

就是上面遇到的那个问题，我就调了大半天。由于有时钟中断、键盘中断等，我们不能保证每一次程序的执行顺序都是相同的。也许上次能遇到这个 bug ，下一次运行就不能重现。幸运的是，我的程序每次都会跑崩，所以调试相对于刚刚那种情况会简单一些。我能跟踪到子进程的入口地址，查看到子进程的代码段内容，再结合我之前写的代码，就大概能知道怎么回事了。

这个实验也加深了我对进程和线程的理解。我在群里跟凌老师讨论：“我认为 fork 时只复制堆栈是不对的，应该连同代码段、数据段一并复制。因为有些变量不是保存在堆栈，而是数据段。只复制堆栈会导致两个进程共享同一变量。”凌老师说：“我们的 fork 实质上实现的就是线程。新线程除了 PCB 独立、栈独立，其它的就是要共享!”我终于明白复制进程是所有段都要复制，而创建线程只需复制堆栈。