Lab3 进线程切换

徐圣斌

kingxu@smail.nju.edu.cn

2019-4-16

实验内容

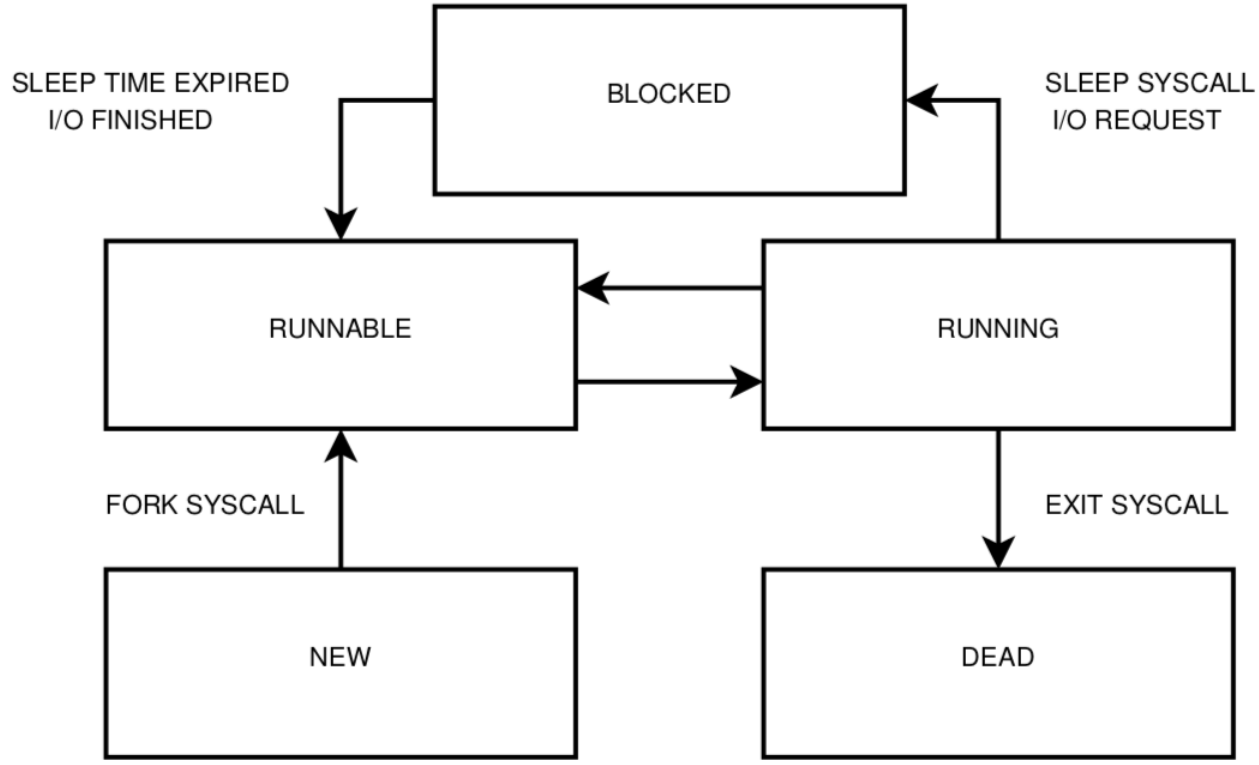
- 内核:实现进程切换机制，并提供系统调用 `fork`、`sleep`、`exit`
- 库:对上述系统调用进行封装；实现一个用户态的线程库，完成`pthread_create`、`pthread_join`、`pthread_yield`、`pthread_exit`等接口
- 用戶:对上述库函数进行测试

实验内容

- `Bootloader` 从实模式进入保护模式, 加载内核至内存，并跳转执行
- 内核初始化 `IDT`，初始化 `GDT`，初始化 `TSS`，初始化串口，初始化 8259A，...
- 启动时钟源
- 加载用户程序至内存
- 初始化内核 `IDLE` 线程的进程控制块(Process Control Block)，初始化用户程序的进程控制块
- 切换至用户程序的内核堆栈，弹出用户程序的现场信息，返回用户态执行用户程序

进程与线程

- 进程为操作系统资源分配的单位，每个进程都有独立的地址空间(代码段、数据段)，独立的堆栈，独立的进程控制块
- 线程作为任务调度的基本单位，与进程的唯一区别在于其地址空间并非独立，而是与其他线程共享



`FORK`、`SLEEP`、`DEAD`

- `FORK`系统调用用于创建子进程
  - 内核需要为子进程分配一块独立的内存，将父进程的地址空间、用戶态堆栈完全拷贝至子进程的内存中
  - 为子进程分配独立的进程控制块，完成对子进程的进程控制块的设置
  - 若子进程创建成功，则对于父进程，该系统调用的返回值为子进程的`pid`，对于子进程，其返回值为`0`
  - 若子进程创建失败，该系统调用的返回值为`-1`

```
int ret = fork();
if (ret == 0) {
        ... // Child Process
} else if (ret != -1) {
        ... // father Process
} else {
        ... // fork failed
}
```

`FORK`、`SLEEP`、`DEAD`

- `SLEEP`系统调用用于进程主动阻塞自身
  - 内核需要将该进程由`RUNNING`状态转换为`BLOCKED`状态
  - 设置该进程的`SLEEP`时间片
  - 切换运行其他`RUNNABLE`状态的进程
- `EXIT`系统调用用于进程主动销毁自身
  - 内核需要将该进程由`RUNNING`状态转换为`DEAD`状态
  - 回收分配给该进程的内存、进程控制块等资源
  - 切换运行其他`RUNNABLE`状态的进程

内核 `IDLE` 线程

- 若没有处于 `RUNNABLE` 状态的进程可供切换，则需要切换至内核 `IDLE` 线程
  - 内核 `IDLE` 线程调用 `waitForInterrupt()` 执行 `hlt` 指令
  - `hlt` 指令会使得 CPU 进入暂停状态，直到外部硬件中断产生

```
static inline void waitForInterrupt() {
        asm volatile("hlt");
}
...
while(1)
        waitForInterrupt();
...
```

`pthread` 线程库

- `pthread_create` 库函数
  - `pthread_create` 调用成功会返回 `0`；出错会返回错误号，并且 `*thread` 的内容未定义；本实验要求出错返回 `-1`.
  - 新创建的线程显式调用 `pthread_exit` 以结束.
- `pthread_join` 库函数
  - 要求 `pthread_join` 调用成功返回 `0`;出错返回 `-1`.实际测试只考虑调用成功的情况.
  - `pthread_join` 函数会等待 `thread` 指向的线程结束.

`pthread` 线程库

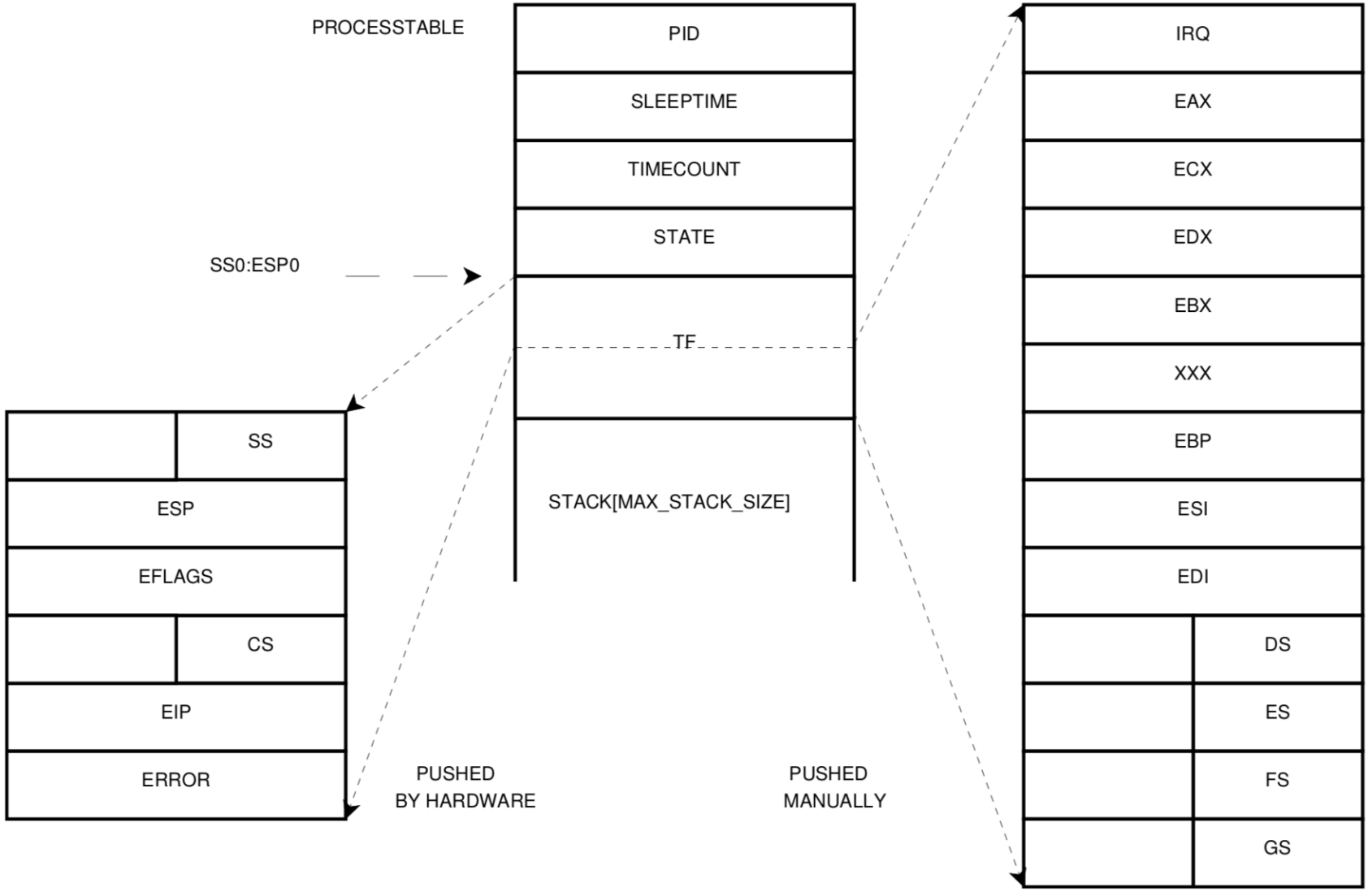
- `pthread_yield` 库函数
  - 要求 `pthread_yield` 调用成功返回 `0` ;出错返回 `-1` .实际测试只考虑调用成功的情况.
  - `pthread_yield` 函数会使得调用次函数的线程让出CPU.
- `pthread_exit` 库函数
  - `pthread_exit` 函数会结束当前线程并通过 `retval` 返回值，该返回值由同一进程下 `join` 当前线程的线程获得. `retval` 返回值在本次实验中不强制要求实现.

进程控制块

- 使用 `ProcessTable` 这一数据结构作为进程控制块记录每个进程的信息

```
struct TrapFrame {
    uint32_t gs, fs, es, ds;
    uint32_t edi, esi, ebp, xxx, ebx, edx, ecx, eax;
    uint32_t irq; // 中断号
    uint32_t error; // Error Code
    uint32_t eip, cs, eflags, esp, ss;
};
struct ProcessTable {
    uint32_t stack[MAX_STACK_SIZE];// 内核堆栈
    struct TrapFrame tf;
    int state;
    int timeCount;
    int sleepTime;
    uint32_t pid;
    ...
};
struct ProcessTable pcb[MAX_PCB_NUM];
```

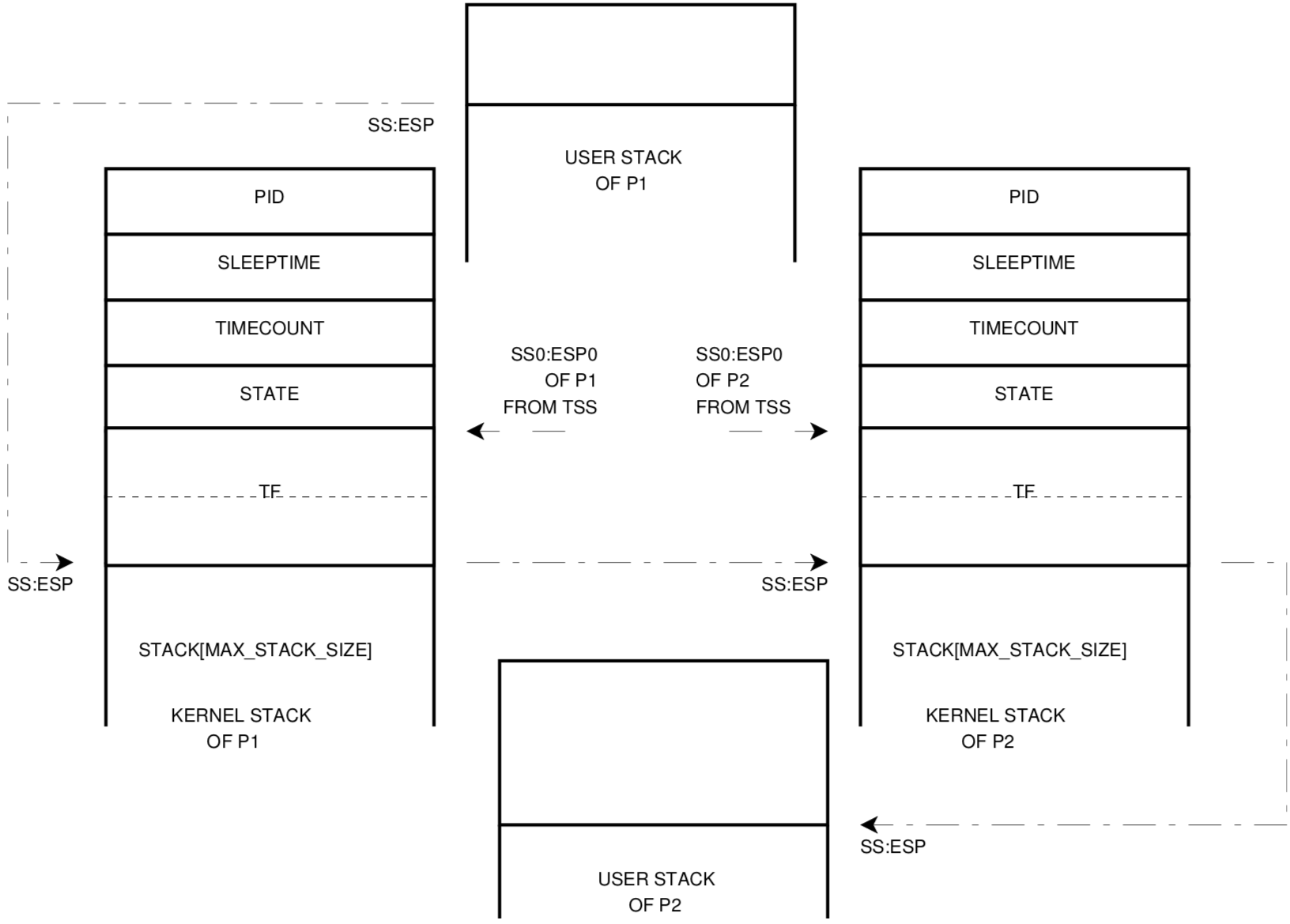
进程控制块


PROCESSTABLE
PID
SLEEPTIME
TIMECOUNT
STATE
SS0:ESP0
TF
STACK[MAX_STACK_SIZE]
SS
ESP
EFLAGS
CS
EIP
ERROR
PUSHED
BY HARDWARE
PUSHED
MANUALLY
IRQ
EAX
ECX
EDX
EBX
XXX
EBP
ESI
EDI
DS
ES
FS
GS

进程切换与堆栈切换

- 时间中断到来后，两个用户态进程 `P1` 、 `P2` 进行进程切换的流程如下
  - 进程 `P1` 在用户态执行，8253 可编程计时器产生时间中断
  - 依据 TSS 中记录的进程 `P1` 的 `SS0:EPS0` ，从 `P1` 的用户态堆栈切换至 `P1` 的内核堆栈，并将 `P1` 的现场信息压入内核堆栈中，跳转执行时间中断处理程序
  - 进程 `P1` 的处理时间片耗尽，切换至就绪状态的进程 `P2` ，并从当前 `P1` 的内核堆栈切换至 `P2` 的内核堆栈
  - 从进程 `P2` 的内核堆栈中弹出 `P2` 的现场信息，切换至 `P2` 的用户态堆栈，从时间中断处理程序返回执行 `P2`

进程切换与堆栈切换


SS:ESP
USER STACK
OF P1
PID
SLEEPTIME
TIMECOUNT
STATE
TF
SS0:ESP0
OF P1
FROM TSS
SS0:ESP0
OF P2
FROM TSS
PID
SLEEPTIME
TIMECOUNT
STATE
TF
SS:ESP
SS:ESP
STACK[MAX_STACK_SIZE]
KERNEL STACK
OF P1
STACK[MAX_STACK_SIZE]
KERNEL STACK
OF P2
SS:ESP
USER STACK
OF P2

中断嵌套与临界区

- 由于系统调用的处理时间往往很长，为保证进程调度的公平性，需要在系统调用中开启外部硬件中断，以便当前进程的处理时间片耗尽时，进行进程切换
- 由于可以在系统调用中进行进程切换，因此可能会出现多个进程并发地处理系统调用，对共享资源(例如内核的数据结构，视频显存等等)进行竞争

中断嵌套与临界区

- 考虑以下场景
  - 进程 `P1` 在内核态处理系统调用，处理视频显存，此时外部硬件中断开启
  - 8253 可编程计时器产生一个时间中断
  - 在内核态处理系统调用的进程 `P1` 将现场信息压入 `P1` 的内核堆栈中，跳转执行时间中断处理程序
  - 进程 `P1` 的处理时间片耗尽，切换至就绪状态的进程 `P2`，并从当前 `P1` 的内核堆栈切换至 `P2` 的内核堆栈
  - 从进程 `P2` 的内核堆栈中弹出 `P2` 的现场信息，从时间中断处理程序返回执行 `P2`
  - 进程 `P2` 在内核态处理系统调用，处理视频显存，与进程 `P1` 形成竞争

中断嵌套与临界区

```
void syscallPrint(struct StackFrame *sf) {
    ...
    for (i = 0; i < size; i++) {
        asm volatile("movb %%es:(%1), %0":"=r"(charac
        if(character == '\n') {
            displayRow ++;
            displayCol = 0;
            if(displayRow == 25) {
                displayRow = 24;
                displayCol = 0;
                scrollScreen();
            }
        }
        else {
            data = character | (0x0c << 8);
            pos = (80*displayRow + displayCol) * 2;
```

中断嵌套与临界区

```
                asm volatile("movw %0, (%1)"::"r"(data),"
                displayCol ++;
                if(displayCol == 80) {
                    displayRow ++;
                    displayCol = 0;
                    if(displayRow == 25){
                        displayRow = 24;
                        displayCol = 0;
                        scrollScreen();
                    }
                }
            }
            asm volatile("int $0x20"); // 测试系统调用嵌套时
        }
        ...
    }
```

中断嵌套与临界区

```
001005dc <syscallPrint>:
        ...
  100606:       or  $0xc,%ah
  100609:       lea (%ecx,%ecx,4),%edx
  10060c:       shl $0x4,%edx
  10060f:       add 0x102404,%edx
  100615:       lea 0xb8000(%edx,%edx,1),%edx
  10061c:       mov %ax,(%edx)
  10061f:       mov 0x102404,%eax
  100624:       inc %eax
  100625:       mov %eax,0x102404
  10062a:       cmp $0x50,%eax
  10062d:       je  10063d
  10062f:       int $0x20
  100631:       inc %ebx
  100632:       cmp %esi,%ebx
  100634:       je  10066c
  100636:       mov %es:(%ebx),%al
  100639:       cmp $0xa,%al
  10063b:       jne 100606
  10063d:       inc %ecx
  10063e:       mov %ecx,0x102408
  100644:       mov $0x0,0x102404
  10064e:       cmp $0x19,%ecx
  100651:       jne 10062f
        ...
00102404 <displayCol>:
  102404:       00 00
        ...
00102408 <displayRow>:
  102408:       00 00
```

- P1 从时钟中断返回，顺序执行 0x100631、0x100632、 0x100634、0x100636、 0x100639、0x10063b、 0x10063d、0x10063e、 0x100644、0x10064e、 0x100651、0x10062f，再次陷入时间中断，切换至 P2
- P2 从时间中断返回，顺序执行 0x100631、0x100632、 0x100634、0x100636、 0x100639、0x10063b、 0x100606、0x100609、 0x10060c、0x10060f、 0x100615、0x10061c
- 全局变量 displayRow 的更新产生一致性问题

中断嵌套与临界区

- 多个进程并发地进行系统调用，对共享资源进行竞争可能会产生一致性问题，带来未知的 BUG
- 在系统调用过程中，对于临界区的代码不宜开启外部硬件中断
- 在系统调用过程中，对于非临界区的代码则可以开启外部硬件中断，允许中断嵌套

实验攻略

- 内存布局
  - 本实验课程采用段式存储
  - `BootLoader` 加载 `kernal` 到内存的 `0x100000` 处，寻址方式为段基址 `0x0`，段偏移 `0x100000` 起
  - `kernal` 将用户程序加载到内存的 `0x200000` 处，寻址方式为段基址 `0x200000`，段偏移 `0x0` 起
  - 为了方便管理，用户进程 `1` 占内存 `0x200000~0x300000`，用户进程 `2` 占内存 `0x300000~0x400000`，依此类推
  - `GDT` 共有10项。第0项为空；第9项指向 `TSS` 段，内核代码段和数据段占了第1、2两项；剩下的6项可以作为3个用户进程的代码段和数据段
- `FORK` 时如何分配内存？如何拷贝资源？ `GDT` 的初始化有何道理？

实验攻略

- 时钟中断软硬件处理过程
  i. 8259可编程计时器产生时钟中断发送给8259A可编程中断控制器，中断向量为 `0x20`
  ii. **IA-32硬件**利用 `IDT` 和 `GDT` 寻找到对应的中断处理程序(参见Lab2 系统调用 **2.1.2. TSS** 中断到来/中断返回的硬件行为)；此时切换到进程的**内核堆栈**(PCB中)
  iii. 将伪 `Error Code` 、中断号、通用寄存器、 `ds、es、fs、gs` 段寄存器、 `esp` (参数)压栈，调用 `irqHandle`
  iv. 将 `ds` 寄存器指向内核数据段(保证对pcb等内核数据的正确寻址)，保存当前进程控制块的 `stackTop` ，设置新 `stackTop` 为 `irqHandle` 的参数

实验攻略

- 时钟中断软硬件处理过程
- v. 时钟中断处理
    - 将被阻塞进程的`sleep time`减一
    - 进程分配的时间块没用完，继续当前进程；否则，切换下一个`RUNNABLE`进程

  vi. 根据第`3`步压栈顺序出栈、`iret`返回
  - 针对第`4`步，如何继续当前进程？如何切换下一个进程？切换进程时`TSS`段需要改变吗？

实验攻略

- 用户态跳转指令简介
  - `jmp`:一般情况下`jmp`指令会直接去更改`eip`的值，而不会影响`esp`等寄存器
  - `call`:`call`指令会执行`pushl %eip;jmp * ;`两条指令，会影响`esp`寄存器
  - `ret`:`ret`指令对应的是`call`指令，执行的是`popl %eip;jmp * ;`两条指令，会影响`esp`寄存器
  - `return`:对于c语言中的`return`语句，一般会编译为两条指令，`leave;ret;`，`leave`对应的是`movl %ebp, %esp; popl %ebp;`对应的是函数开头的`pushl %ebp;movl %esp,%ebp;`有意思的是gcc的编译优化选项会改变`return`语句最终生成的汇编指令，不推荐开启编译优化，有兴趣的同学可以详细了解

作业提交

- 本次作业需提交实验3的相关源码与报告
- **截止时间:2019-5-13 23:55**
- 如果你无法完成实验, 可以选择不提交, 作为学术诚信的奖励, 你将会获得10%的分数; 但若发现抄袭现象, 抄袭双方(或团体)在本次实验中得0分，后续可能有其他惩罚
- **本实验的最终解释权由助教所有**