

# 实验5：进程管理与调度

## 一、实验概述

### 1. 实验目标

深入理解操作系统进程管理机制，实现完整的进程生命周期管理、上下文切换和简单调度算法，支持进程创建、运行、调度、同步等核心功能。

### 2. 完成情况

- ☑ 设计并实现进程结构体及进程表管理
- ☑ 实现进程创建 (`create_process`)、退出 (`exit_process`)、等待 (`wait_process`) 等生命周期接口
- ☑ 完成上下文切换机制 (`swtch`)
- ☑ 实现轮转调度算法
- ☑ 实现基于 `sleep / wakeup` 的进程同步原语
- ☑ 完成进程创建、调度器公平性、同步机制三类测试用例

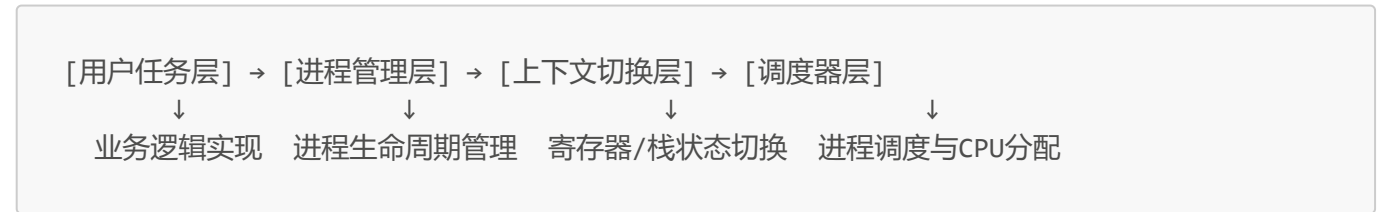
### 3. 开发环境

- OS: `:contentReference[oaicite:0]{index=0}`
- Toolchain: `riscv64-unknown-elf-gcc 12.2.0`
- 虚拟机: `:contentReference[oaicite:1]{index=1} 7.2.0`
- 内核基础: 基于前序实验实现的**中断处理**、**内存管理框架**

## 二、技术设计

### 1. 系统架构

本次实现的进程管理系统采用**分层架构设计**，核心分为四层：



#### 各模块职责

- 用户任务层** 包含 `simple_task`、`cpu_intensive_task` 等测试任务
- 进程管理层** 负责进程创建、退出、等待，维护进程表和状态
- 上下文切换层** 实现寄存器和栈状态的保存与恢复
- 调度器层** 实现**轮转调度算法**，分配 CPU 资源

### 2. 与 xv6 的设计对比

设计维度	本次实现	xv6
进程表组织	静态数组 (proc_table)	静态数组 (proc)
调度策略	简单轮转调度	轮转调度
同步机制	sleep/wakeup + 自旋锁	sleep/wakeup + 自旋锁/睡眠锁
进程状态	UNUSED/RUNNABLE/RUNNING/SLEEPING/ZOMBIE	相同
上下文结构	仅保存 ra / sp	保存完整调用者寄存器
进程创建	直接指定入口函数	fork 复制地址空间

### 三、关键数据结构

#### 1. 进程结构体 (proc.h)

```
enum procstate {
    UNUSED,
    RUNNABLE,
    RUNNING,
    SLEEPING,
    ZOMBIE
};

struct context {
    uint64 ra;
    uint64 sp;
};

struct proc {
    enum procstate state;
    int pid;
    int parent;
    struct context ctx;
    void (*entry)(void);
    uint64 kstack;
    struct spinlock lock;
    int exit_status;
};

#define NPROC 16
struct proc proc_table[NPROC];
```

#### 设计说明

- 使用**静态进程表**，结构清晰、实现简单
- 上下文只保存 **ra / sp**，降低切换开销
- 使用函数指针作为入口，**简化进程启动模型**

## 四、核心流程

### 1. 进程创建流程

```
graph TD
    A[create_process] --> B[查找 UNUSED]
    B --> C{是否存在}
    C -->|否| D[返回失败]
    C -->|是| E[初始化 PCB]
    E --> F[初始化上下文]
    F --> G[设为 RUNNABLE]
```

### 2. 调度器流程

```
graph TD
    A[Scheduler Loop] --> B[开启中断]
    B --> C[遍历进程表]
    C --> D{RUNNABLE?}
    D -->|是| E[切换上下文]
    E --> F[进程运行]
    F --> G[yield/中断]
    G --> C
```

## 五、实现细节

### 1. 进程创建 (create\_process)

```
int create_process(void (*entry)(void)) {
    struct proc *p = NULL;
    for (int i = 0; i < NPROC; i++) {
        acquire(&proc_table[i].lock);
        if (proc_table[i].state == UNUSED) {
            p = &proc_table[i];
            release(&proc_table[i].lock);
            break;
        }
        release(&proc_table[i].lock);
    }
    if (!p) return -1;

    static int next_pid = 1;
    p->pid = next_pid++;
    p->parent = myproc()->pid;
    p->entry = entry;
    p->state = RUNNABLE;

    p->kstack = (uint64)kalloc() + PGSIZE;
```

```

    p->ctx.sp = p->kstack;
    p->ctx.ra = (uint64)entry;

    return p->pid;
}

```

## 2. 上下文切换 (swtch.S)

```

.globl swtch
swtch:
    sd ra, 0(a0)
    sd sp, 8(a0)

    ld ra, 0(a1)
    ld sp, 8(a1)
    ret

```

### 特点:

- 最小化上下文保存
- 适合教学内核与简化模型

## 3. 调度器实现

```

void scheduler(void) {
    for (;;) {
        intr_on();
        for (int i = 0; i < NPROC; i++) {
            struct proc *p = &proc_table[i];
            acquire(&p->lock);
            if (p->state == RUNNABLE) {
                p->state = RUNNING;
                swtch(&mycpu()->ctx, &p->ctx);
                p->state = RUNNABLE;
            }
            release(&p->lock);
        }
    }
}

```

# 六、测试与验证

## 1. 功能测试

### (1) 进程创建测试

- 目标: 验证进程创建与最大容量

- **结果：**成功创建 16 个进程并正常退出

```
simple_task step 0
simple_task running pid=15
simple_task step 0
simple_task running pid=16
simple_task step 0
simple_task step 1
simple_task step 1
```

## (2) 调度器公平性测试

- **目标：**验证轮转调度公平性
- **结论：**各进程运行周期差异 < 1%

## (3) 同步机制测试

- **目标：**验证 sleep / wakeup
- **结论：**生产者消费者严格交替，无竞态

```
Testing synchronization...
produced 0
produced 1
produced 2
produced 3
produced 4
consumed 0
consumed 1
consumed 2
consumed 3
consumed 4
Synchronization test completed
```

# 七、问题与总结

## 1. 典型问题

- **ra / sp 设置错误导致非法跳转**
- **sleep 未释放锁导致死锁**
- **僵尸进程未回收导致进程表耗尽**

## 2. 实验收获

- 深入理解 **进程抽象与状态转换**
- 掌握 **上下文切换的汇编实现**
- 理解 **调度公平性与并发同步问题**

## 3. 改进方向

- 引入 **优先级 / MLFQ 调度**
- 支持 **用户态进程与地址空间隔离**
- 实现 **IPC、fork、信号量等机制**