中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

操作系统课程 **B0911010Y-01**

线程

中国科学院大学计算机与控制学院
中国科学院计算技术研究所

2021-09-15

内容提要

- 线程的概念
- 线程表示与操作API
- 线程模型

一个例子

- 编写一个MP3播放软件。核心功能模块有三个：
  - 从MP3音频文件当中读取数据
  - 对数据进行解压缩
  - 把解压缩后的音频数据播放出来

```
 main( )
{
        while(TRUE )
        {
I/O ———— Read( );
CPU ———— Decompress( );
             Play( );
         }
}
Read( ) { … }
Decompress( ) { … }
Play( ) { … }
```

多进程实现方法

- 存在的问题：
  - 进程之间如何通信和共享数据？
  - 系统开销较大：创建进程、进程结束、进程切换

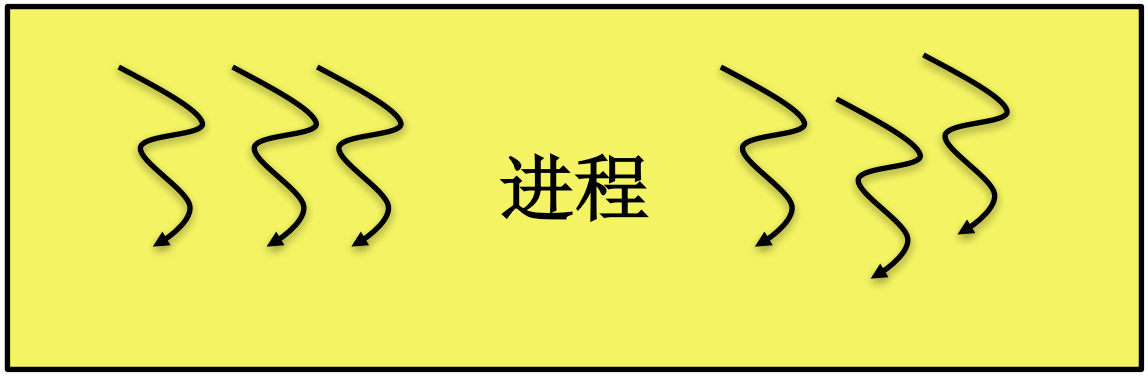
```
程序1
main( )
{
    while(TRUE )
    {
        Read( );
     }
}
Read( ) { … }
```

```
程序2
main( )
{
    while(TRUE )
    {
        Decompress( );
     }
}
Decompress( ) { … }
```

```
程序3
main( )
{
    while(TRUE )
    {
        Play( );
    }
}
Play( ) { … }
```

引入线程（Thread）

- 线程是进程的一部分，具有一段执行流
  - 线程1：Read()
  - 线程2：Decompress()
  - 线程3：Play()
- 线程在同一个进程的地址空间内，可共享变量
- 线程是CPU调度的基本单位

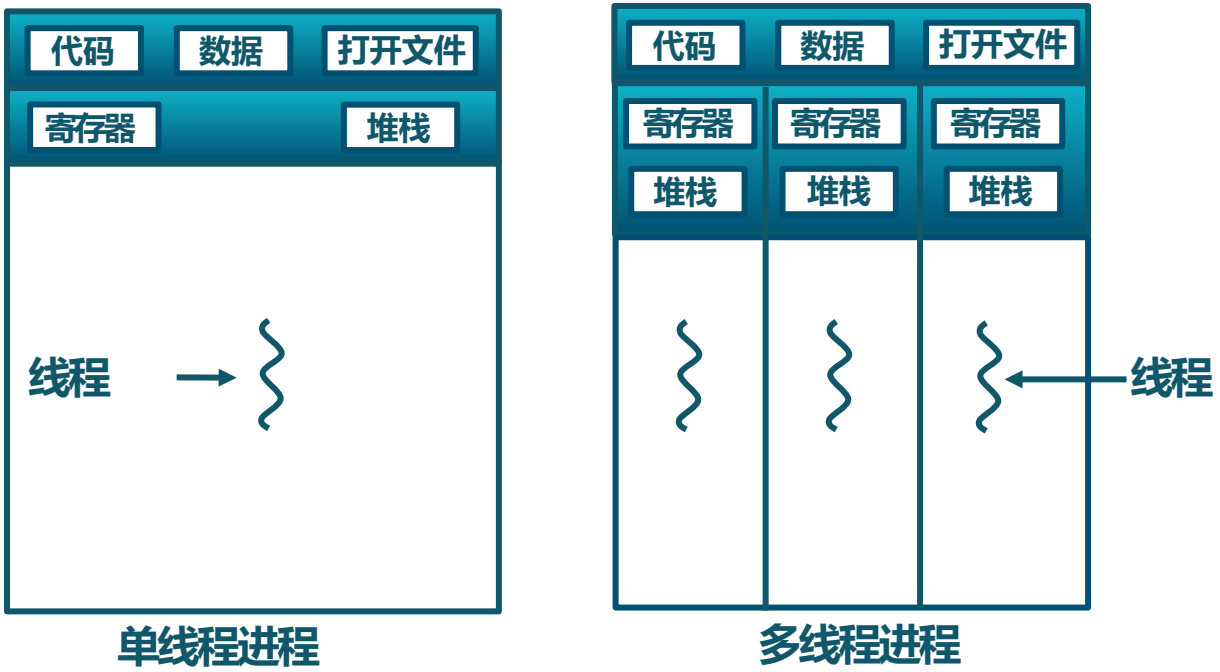


IBM System/360引入线程

- **MVT：**Multiprogramming with a Variable number of Tasks

重新审视进程

- **进程**
  - 运行时（runtime）：代码、寄存器、堆、栈
  - 资源：地址空间，文件描述符，权限等
- **最简单的进程只有一个线程**



进程 vs. 线程

- **地址空间**
  - 进程之间一般不会共享内存
  - 进程切换会切换页表和其他内存机制
  - 进程中的线程共享整个地址空间
- **权限**
  - 进程拥有自己的权限（例如，文件访问权限）
  - 进程中的线程共享所有的权限
- **问题**
  - 多线程共享进程整个地址空间会有什么问题？

回顾 Intro01：示例程序

- 一个程序的运行

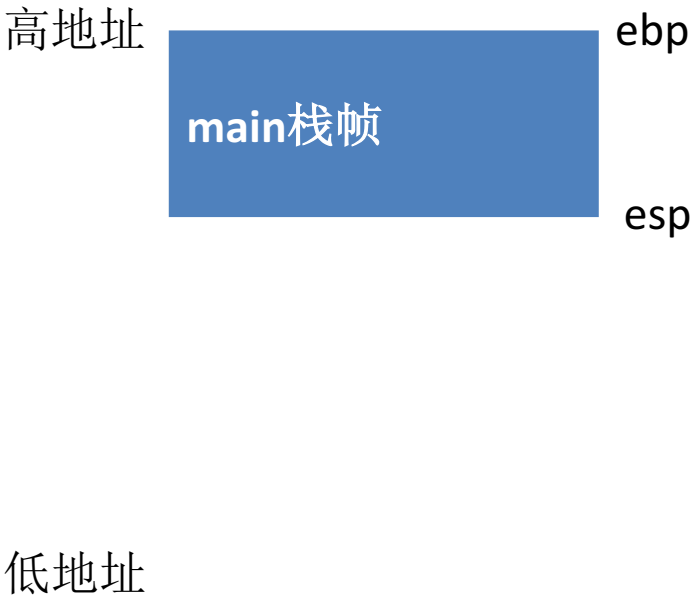
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>

int counter = 0;
int loops;

void *worker(void *arg) {
   for (int i=0;i<loops;i++) {
      counter++;
   }
   return NULL;
}
```

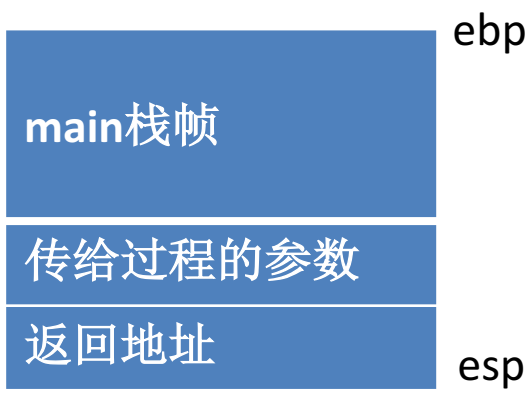
```
int main(int argc, char *argv[]) {
   loops = atoi(argv[1]);
   printf("Initial value: %d\n", counter);

   pthread_t p1, p2;

   pthread_create(&p1, NULL, worker,NULL);
   pthread_create(&p2, NULL, worker,NULL);

   pthread_join(p1, NULL);
   pthread_join(p2, NULL);

   printf("Final value: %d\n", counter);

   return 0;
}
```

过程 vs. 线程

- 过程调用
  - 调用者保存寄存器值、函数参数压栈、返回地址压栈

```
foo()  {
   do  stuff
}

main() {
   foo()
}
```

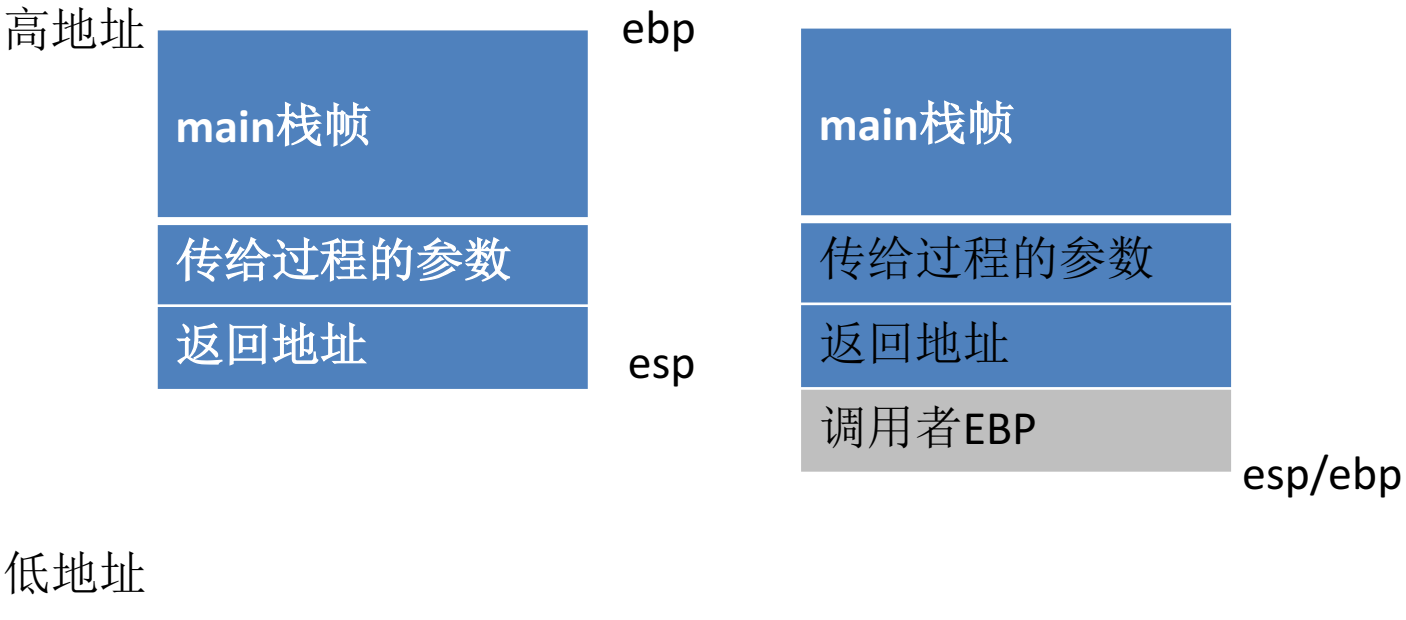




过程 vs. 线程

- 过程调用
  - 被调用者保存ebp，esp值赋值给ebp（指向foo的栈底）

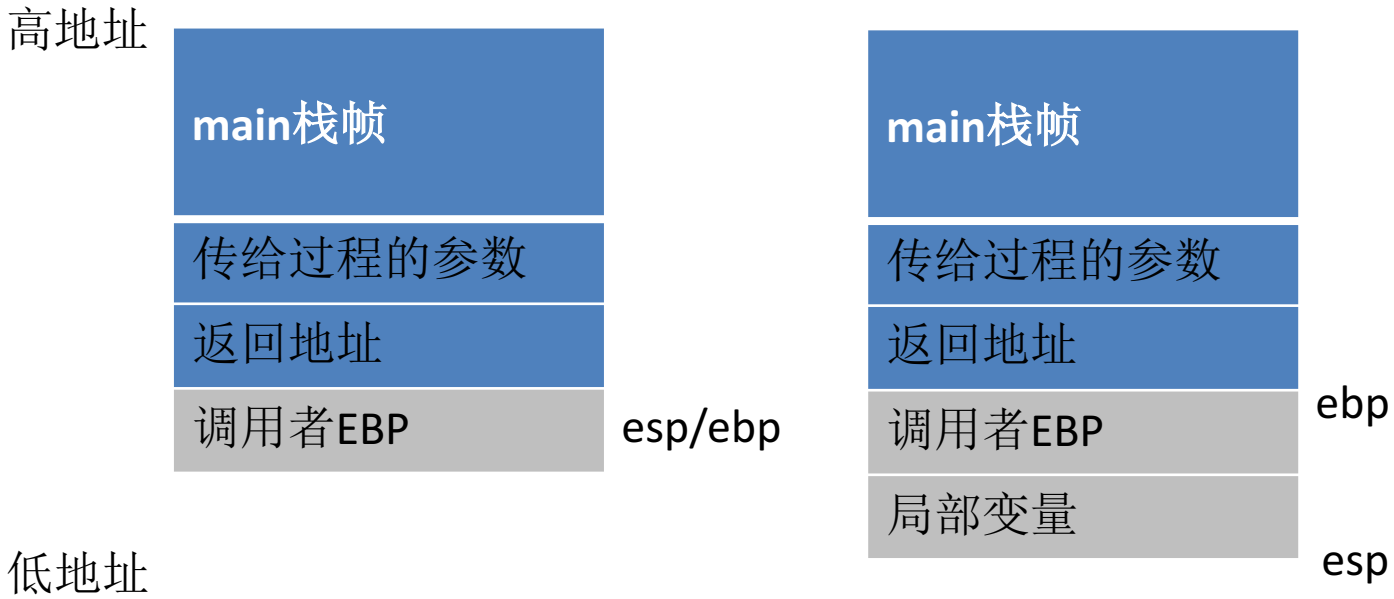
```
foo()  {
   do  stuff
}

main() {
   foo()
}
```



过程 vs. 线程

- 过程调用
  - 被调用者将局部变量压栈

```
foo()  {
   do  stuff
}

main() {
   foo()
}
```



过程 vs. 线程

- **多线程并发执行**
  - 多线程可以并行地在多个CPU上运行
  - 过程调用是顺序的
- **线程可能会乱序地执行**
  - 不能用栈（LIFO）恢复线程
  - 每一个线程都有自己的栈
- **实践中，线程切换建议不要太频繁**
  - 线程有“自己”的CPU，通常绑核运行

线程与并发性/并行性

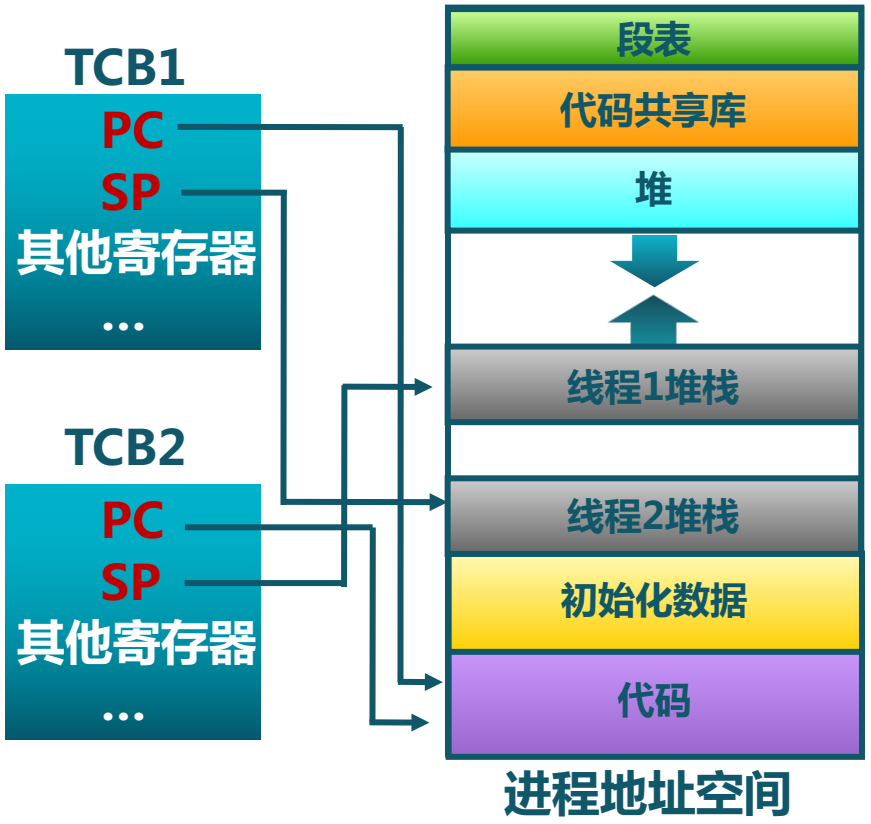
- 线程并发性/并行性
  - 计算交叠、IO交叠（I/O overlaping）：线程可以更容易实现
  - 人们更希望同时做多件事情
    - 例如，服务器（e.g. 文件服务器,Web服务器，数据库服务器）服务多个请求
  - 多个CPU共享内存

内容提要

- 线程的概念
- 线程表示与操作API
- 线程模型

线程控制块（TCB）

- 状态
  - 就绪态：准备运行
  - 运行态：正在运行
  - 阻塞态：等待资源
- 寄存器
- 程序计数器(PC）
- 堆栈
- 代码



典型的线程API

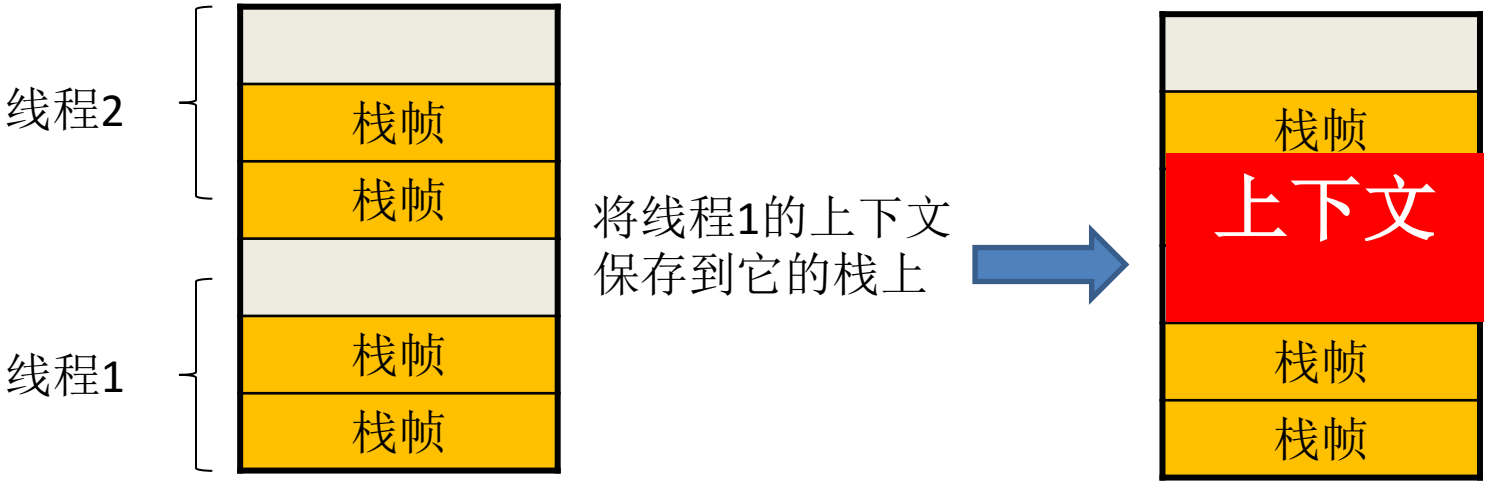
- **创建**
  - pthread_create(clone, fork), pthread_join(join)
- **互斥**
  - acquire(上锁)，release（解锁）
- **条件变量**
  - wait, signal, broadcast
- **警报**
  - alert, alertwait, testalert

线程上下文切换

- **保存上下文**
  - 所有的寄存器（通用寄存器和浮点寄存器）
  - 所有协同处理器的状态
  - Cache和TLB该怎么办？
- **开始新的上下文**
  - 相反的操作过程
- **可能触发进程的上下文切换**
  - 单线程进程
  - 执行IO操作

保存线程上下文

- **在线程的栈上保存上下文**
  - 许多处理器都有专用的指令来（高效地）保存上下文
  - 但是，需要处理溢出的问题
- **保存前需要检查**
  - 确保栈上没有溢出的问题
  - 把上下文保存到TCB中（residing in the heap）
  - 效率不是很高，但是没有溢出问题



内容提要

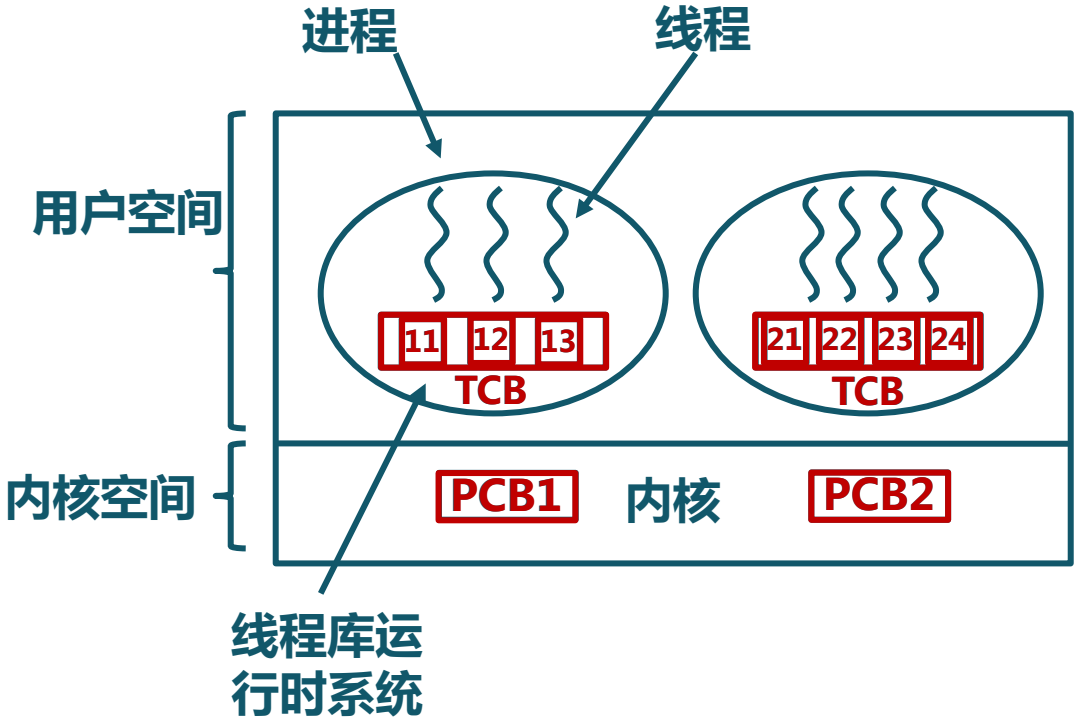
- 线程的概念
- 线程表示与操作API
- 线程模型

线程模型

- 线程模型
  - 用户级线程（User-Level Thread）
  - 内核级线程（Kernel-Level Thread）
  - 轻量级进程（Light Weight Process）
- 分类依据
  - 核外调度 vs. 核内调度
    - 核外调度：减少上下文切换开销
    - 核内调度：充分利用SMP结构

用户级线程

- 由一组用户级的线程库函数来完成线程的管理，包括线程的创建、终止、同步和调度等
- 例如：协程

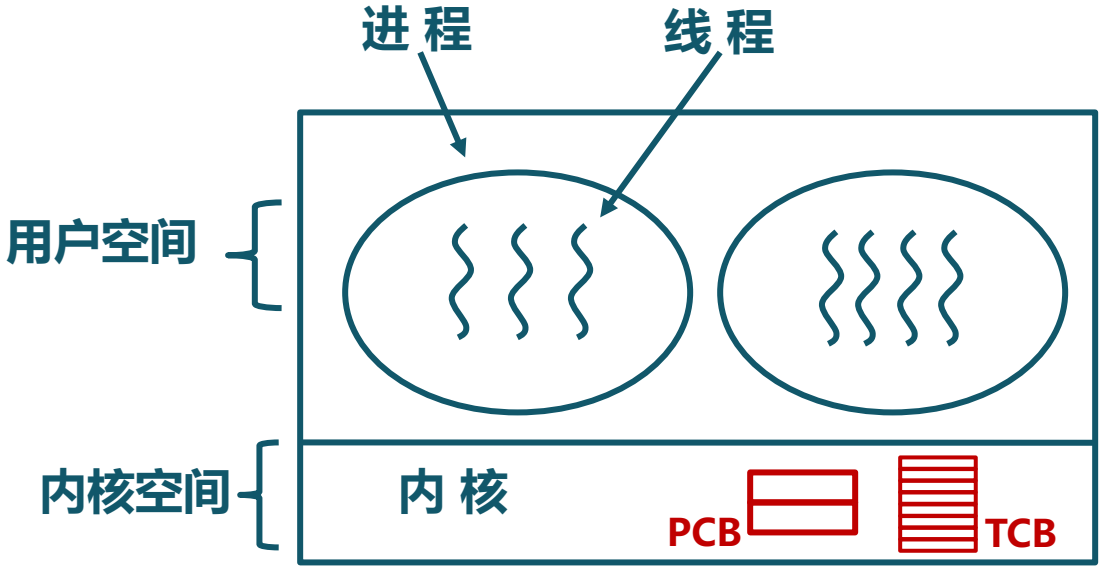


内核级线程

- 直接由内核本身启动的工作线程，执行内核函数，例如
  - kthreadd: 管理调度其它的内核线程
  - pdflush: 周期性地将修改的内存页写回设备
  - kswapd0: 回收内存页
  - kblockd: 管理系统的块设备，周期性激活系统内的块设备驱动
  - ksoftirqd/n: 处理软中断
- 特点
  - 在CPU特权级运行
  - 访问内存的内核地址空间

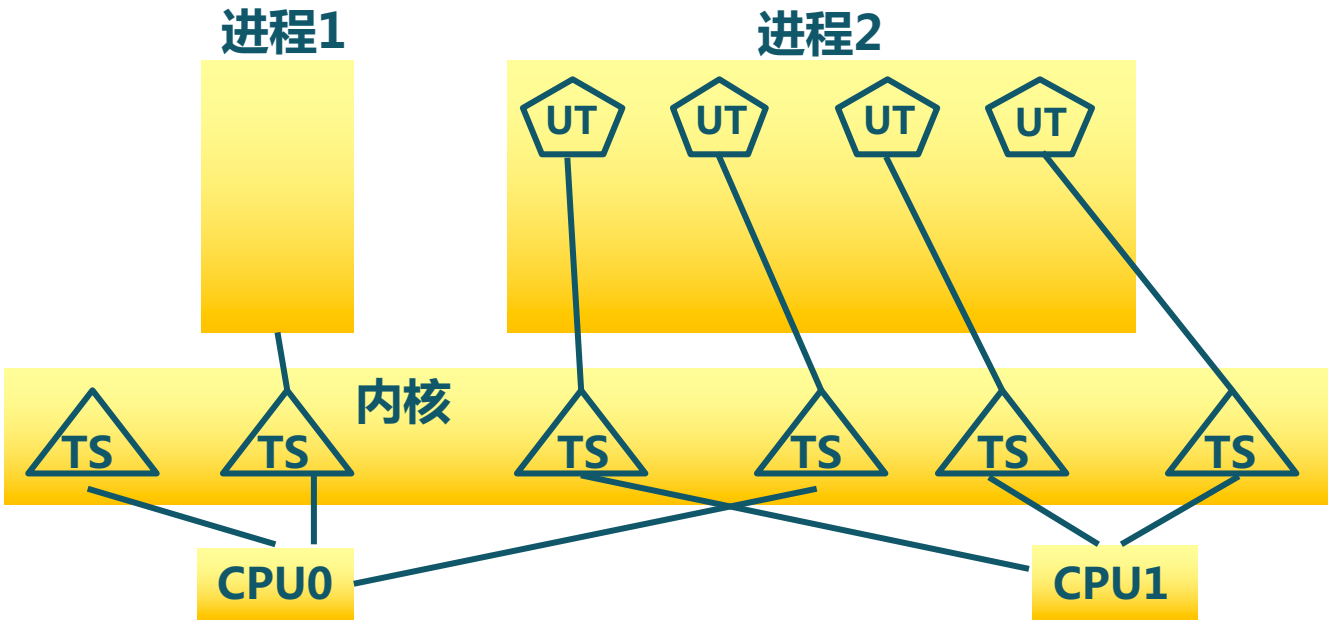
轻量级进程（Light Weight Process, LWP）

- 共享某些资源的进程，例如地址空间、打开文件等资源
- 实现内核支持的线程机制
- 用户空间线程 vs. TCB
  - 1:1
  - M:N



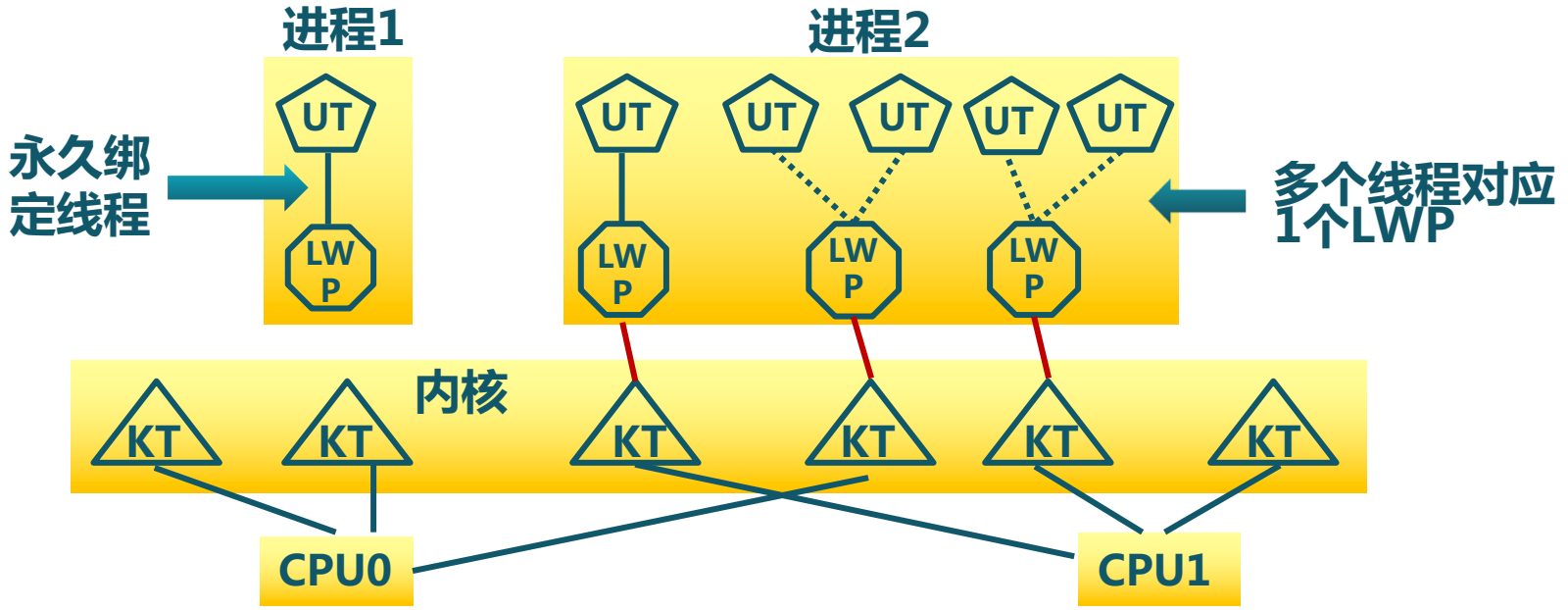
轻量级进程（Light Weight Process, LWP）

- 模式一
  - 用户空间线程映射到一个LWP上（Linux）



轻量级进程（Light Weight Process, LWP）

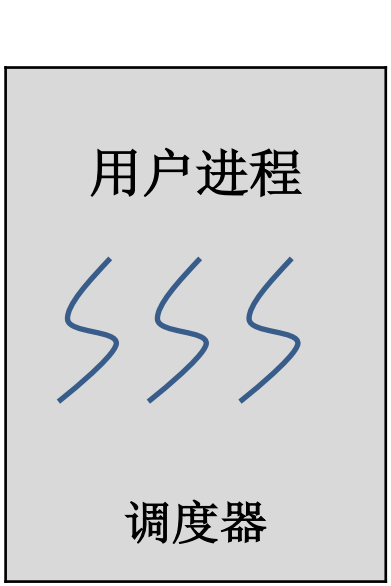
- 模式二
  - 多个用户空间线程映射到多个LWP上（Solaris, Unix System V）

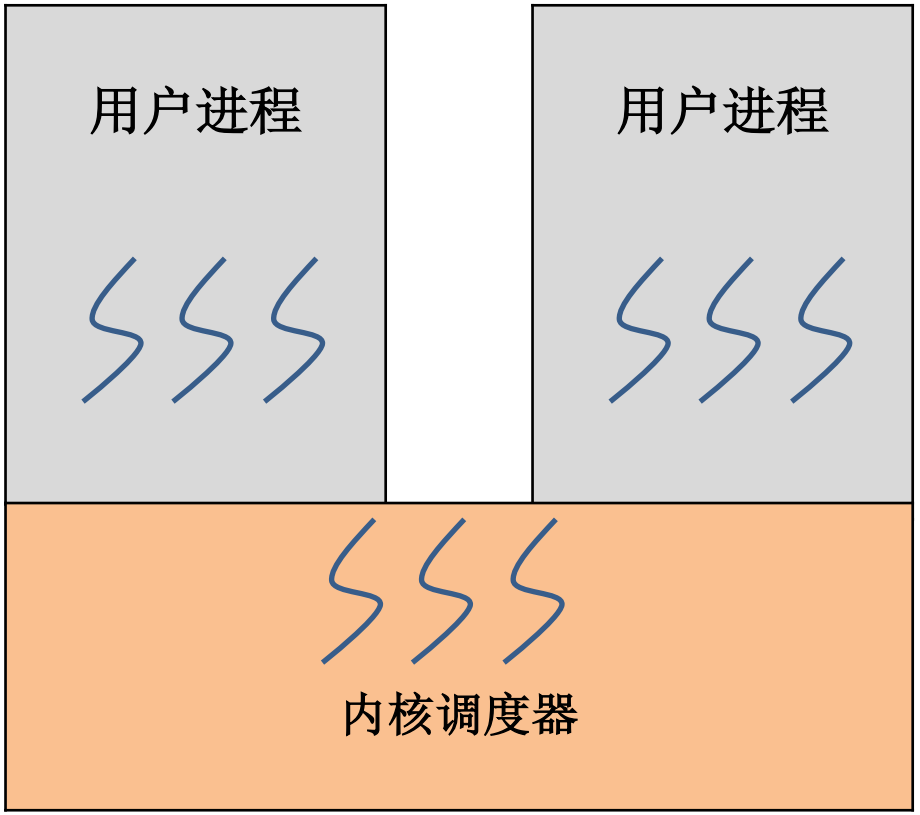


扩展了解：Linux进程/线程

- Linux进程/线程模型
  - task_struct结构体
    - 不区分进程和线程的数据结构
  - 早期：LinuxThreads
    - 专门的管理线程
  - 目前：Native POSIX Thread Library (NPTL)
    - 没有专门的管理线程
    - 某些管理功能由内核直接提供，例如给所有线程发信号

调度：用户级线程 vs. LWP





- 在用户态进行上下文切换，无需系统调度
- 有可能进行抢占式调度吗？
- 那么I/O事件呢？

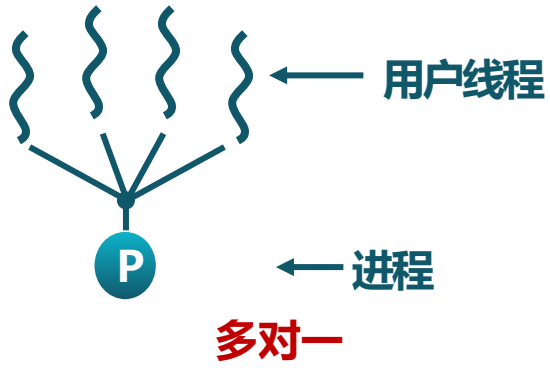
- LWP支持的用户线程
  - 进行系统调用（e.g. I/O）
  - 被中断
- 在内核态进行上下文切换

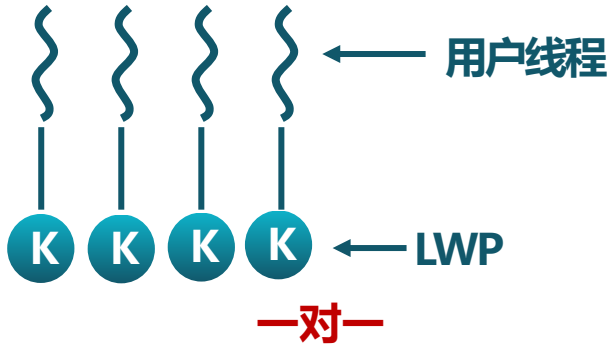
调度：用户线程 vs LWP

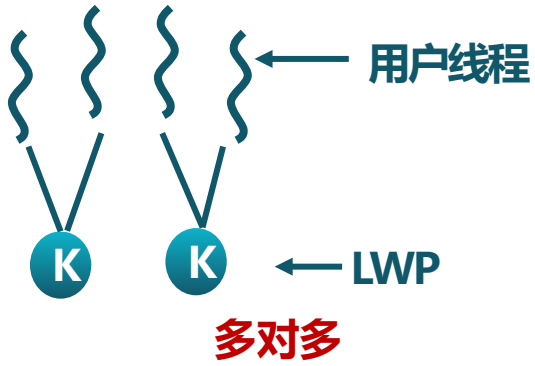
- **用户级线程**
  - 用户级线程库实现线程上下文切换
  - 时间中断会引入抢占
  - 当用户级线程被I/O事件阻塞时，整个进程都会被阻塞
- **LWP**
  - LWP被内核调度器调度
  - 由于跨越了用户态和内核态，LWP的上下文切换开销大于用户级线程

不同线程模型的调度机制

- 主要有三种关系
  - 内核级线程
  - 用户级线程：多对一
  - 轻量级进程：一对一（Linux），多对多（Solaris）







不同映射关系的对比

- 一对一：每一个线程都拥有自己的内核栈
- 多对一：一个进程的所有线程共享同一个内核栈
- 多对多：多个线程共享一个内核栈

	一对一 私有的内核栈	**多对多** 共享的内核栈	**多对一** 共享的内核栈
内存消耗	高	中	低
系统服务	并发	部分并发	串行访问
多处理器	是	部分利用	无法利用
复杂性	高	高	低

总结

- 线程的概念
  - 程序调度执行的最小单元
  - 支持应用内部并发性
  - 线程 vs. 进程
  - 线程 vs. 过程
- 线程操作
- 线程模型
  - 内核级线程
  - 用户级线程
  - 轻量级进程