操作系统原理

PRINCIPLES OF OPERATING SYSTEM

北京大学计算机科学技术系 陈向群
Department of computer science and Technology
Peking University
2015 春季

第5讲

同步互斥机制1

同步互斥机制

- 进程的并发执行
- 进程互斥
- 进程同步
- 信号量及PV操作
- 经典的IPC问题

并发环境下进程的特征

进程并发执行

问题的提出

并发是所有问题产生的基础

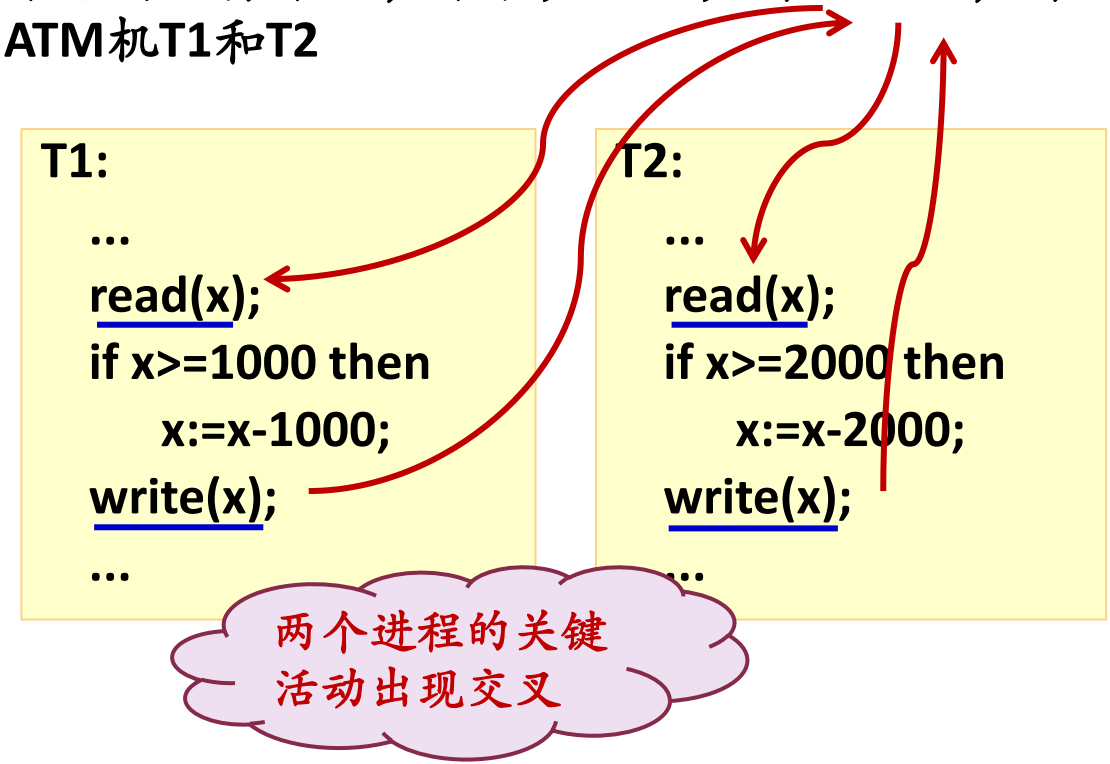
并发是操作系统设计的基础

从进程的特征出发

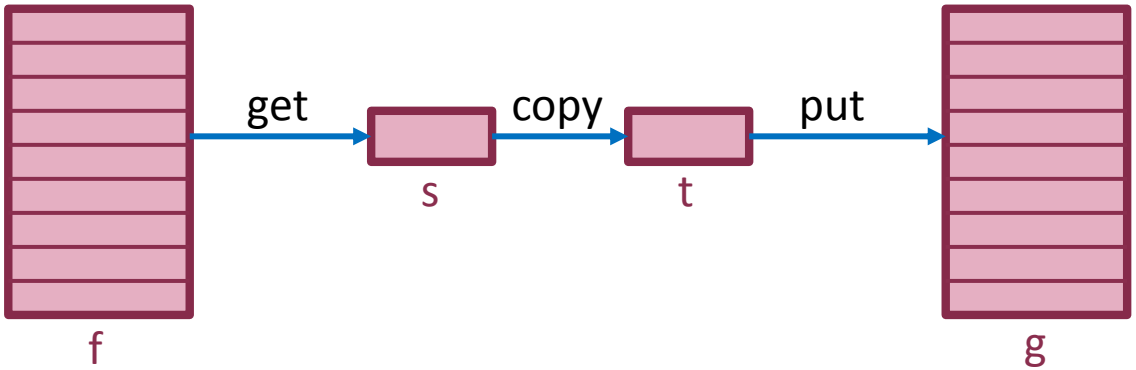
并发	• 进程的执行是间断性的 • 进程的相对执行速度不可预测
共享	• 进程/线程之间的制约性
不确定性	• 进程执行的结果与其执行的相对速度有关，是不确定的

与时间有关的错误——例子1

某银行业务系统，某客户的账户有5000元，有两个ATM机T1和T2



与时间有关的错误——例子2



场景

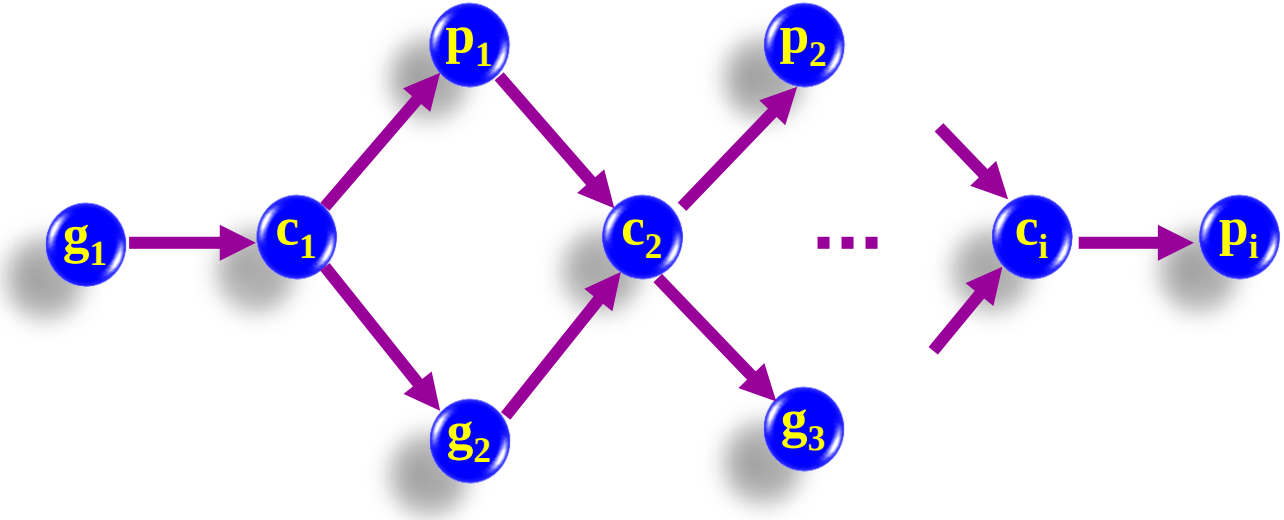
get、copy和put三个进程并发执行

并发执行过程分析

	f	s	t	g	
当前状态	(3,4,...,m)	2	2	(1,2)	
可能的执行（假设g,c,p为get,copy,put的一次循环）					
g,c,p	(4,5,...,m)	3	3	(1,2,3)	√
g,p,c	(4,5,...,m)	3	3	(1,2,2)	X
c,g,p	(4,5,...,m)	3	2	(1,2,2)	X
c,p,g	(4,5,...,m)	3	2	(1,2,2)	X
p,c,g	(4,5,...,m)	3	2	(1,2,2)	X
p,g,c	(4,5,...,m)	3	3	(1,2,2)	X

设信息长度为m，有多少种可能性？

进程前趋图

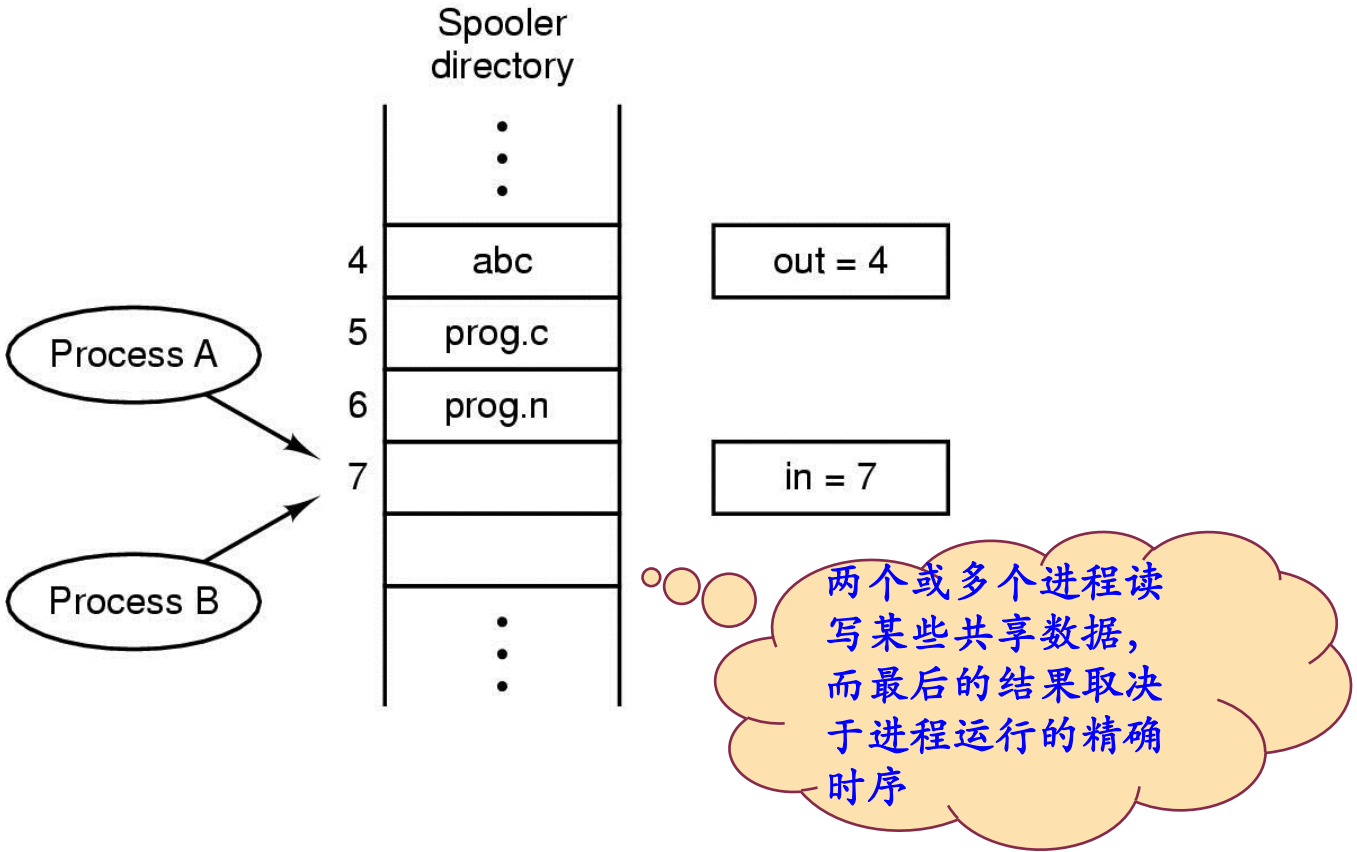


并发环境下进程间的制约关系

临界资源、临界区

进程互斥

竞争条件（RACE CONDITION）

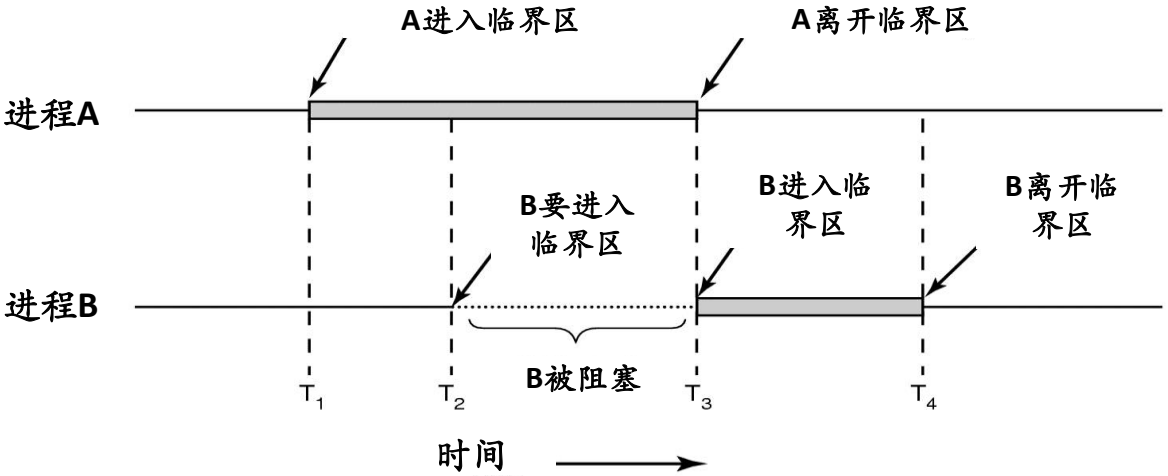


进程互斥(MUTUAL EXCLUSIVE)

- 由于各进程要求使用共享资源（变量、文件等），而这些资源需要排他性使用
  各进程之间竞争使用这些资源
  —— 这一关系称为进程互斥
- 临界资源：critical resource
  系统中某些资源一次只允许一个进程使用，称这样的资源为临界资源或互斥资源或共享变量
- 临界区（互斥区）：critical section(region)
  各个进程中对某个临界资源（共享变量）实施操作的程序片段

临界区(互斥区)的使用原则

- 没有进程在临界区时，想进入临界区的进程可进入
- 不允许两个进程同时处于其临界区中
- 临界区外运行的进程不得阻塞其他进程进入临界区
- 不得使进程无限期等待进入临界区



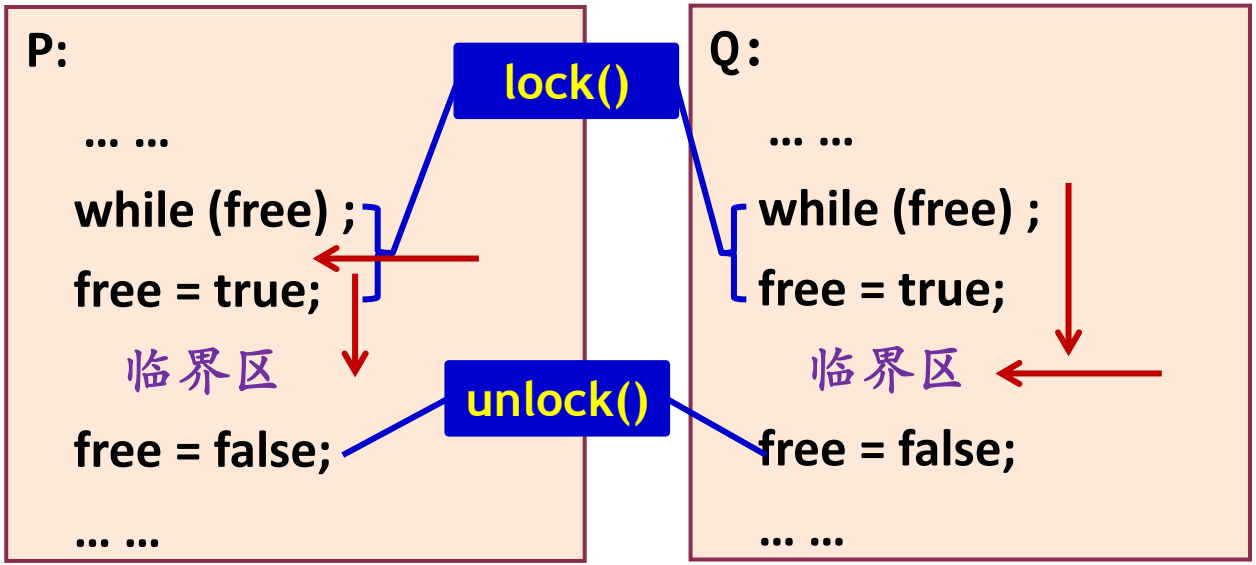
实现进程互斥的方案

- 软件方案
  - Dekker解法、Peterson解法
- 硬件方案
  - 屏蔽中断、TSL(XCHG)指令

Dekker解法、Peterson解法

进程互斥的软件解决方案

软件解法1



free: 临界区空闲标志
true: 有进程在临界区
false:无进程在临界区
初值： free为false

软件解法2

```
P:
    … …
   while (not turn) ;
      临界区
   turn = false;
   … …
```

```
Q:
    … …
   while (turn) ;
      临界区
   turn = true;
   … …
```

turn: 谁进临界区的标志
    true: P进程进临界区
    false: Q进程进临界区
初值任意

软件解法3

P:

… …

pturn = true;

while (qturn) ;

临界区

pturn = false;

… …

Q:

… …

qturn = true;

while (pturn) ;

临界区

qturn = false;

… …

pturn, qturn: 初值为false

P进入临界区的条件: pturn ∧ not qturn

Q进入临界区的条件: not pturn ∧ qturn

软件解法4——DEKKER算法

在解法3基础上
引入turn变量

P:

```
... ...
pturn = true;
while (qturn) {
    if (turn == 2) {
        pturn = false;
        while (turn == 2);
        pturn = true;
    }}
  临界区
turn = 2;
pturn = false;
... ...
```

循环

Q:

```
... ...
qturn = true;
while (pturn) {
    if (turn == 1) {
        qturn = false;
        while (turn == 1);
        qturn = true;
    }}
  临界区
turn = 1;
qturn = false;
... ...
```

第一个
1965

软件解法5——PETERSON算法

```
#define  FALSE  0
#define  TRUE   1
#define   N      2                  // 进程的个数
int  turn;                         // 轮到谁?
     int  interested[N];
   // 兴趣数组，初始值均为FALSE

void  enter_region ( int  process)
                        // process = 0 或 1
    {
         int  other;
                // 另外一个进程的进程号
         other  =  1  -  process;
         interested[process]  =  TRUE;
                // 表明本进程感兴趣
         turn  =  process;
                // 设置标志位
         while( turn == process &&
     interested[other] == TRUE);
    }
```

循环

```
void  leave_region ( int  process)
    {
        interested[process]  =  FALSE;
              // 本进程已离开临界区
    }
```

```
进程i:
    … …
    enter_region  ( i );
       临界区
    leave_region  ( i );
    … …
```

Peterson算法解决了互斥访问的问题，而且克服了强制轮流法的缺点，可以完全正常地工作（1981）

中断屏蔽、TSL指令、XCHG指令

进程互斥的硬件解决方案

硬件解法1—中断屏蔽方法

“开关中断”指令

执行“关中断”指令

　　临界区操作

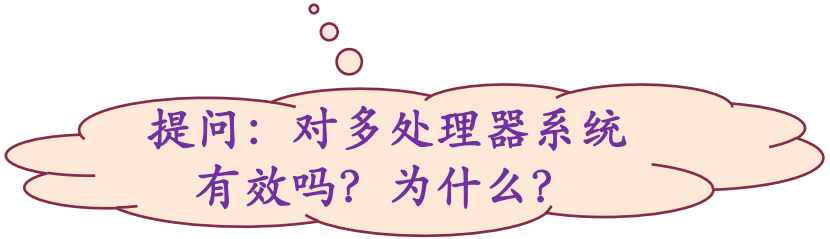
执行“开中断”指令

- 简单，高效
- 代价高，限制CPU并发能力（临界区大小）
- 不适用于多处理器
- 适用于操作系统本身，不适于用户进程

硬件解法2
—“测试并加锁”指令

TSL指令：TEST AND SET LOCK

```
enter_region:
        TSL REGISTER,LOCK      | 复制锁到寄存器并将锁置1
        CMP REGISTER,#0        | 判断寄存器内容是否是零?
        JNE enter_region       | 若不是零，跳转到enter_region
        RET                    | 返回调用者，进入了临界区

leave_region:
        MOVE LOCK,#0           | 在锁中置0
        RET                    | 返回调用者
```



硬件解法3—“交换”指令

XCHG指令：EXCHANGE

```
enter_region:
        MOVE REGISTER,#1          | 给寄存器中置1
        XCHG REGISTER,LOCK        | 交换寄存器与锁变量的内容
        CMP REGISTER,#0           | 判断寄存器内容是否是零?
        JNE enter_region          | 若不是零，跳转到enter_region
        RET                       | 返回调用者，进入了临界区

leave_region:
        MOVE LOCK,#0              | 在锁中置0
        RET                       | 返回调用者
```

小结

- 软件方法
  - 编程技巧
- 硬件方法
- 忙等待(busy waiting)

进程在得到临界区访问权之前，持续测试而不做其他事情

自旋锁 Spin lock (多处理器 √)

- 优先级反转（倒置）

协作关系

进程同步

进程的同步

进程同步：synchronization

指系统中多个进程中发生的事件存在某种时序关系，需要相互合作，共同完成一项任务

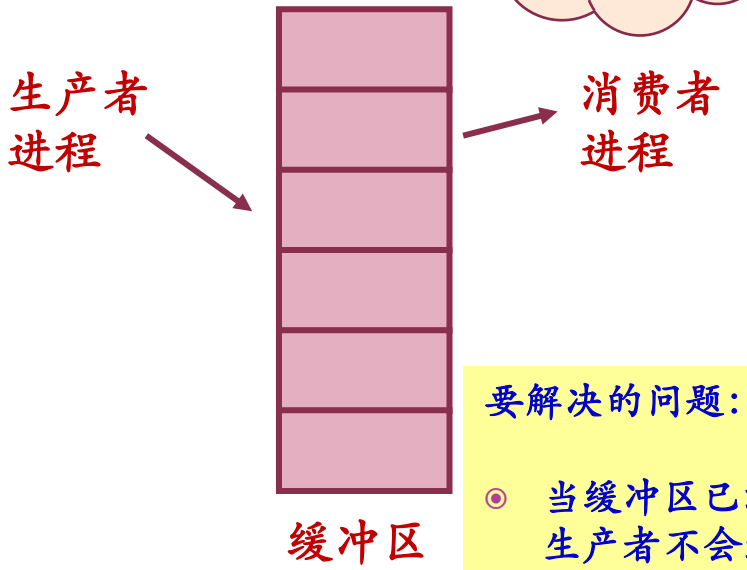
具体地说，一个进程运行到某一点时，要求另一伙伴进程为它提供消息，在未获得消息之前，该进程进入阻塞态，获得消息后被唤醒进入就绪态

生产者/消费者问题

又称为
有界缓冲
区问题

问题描述：

- 一个或多个生产者生产某种类型的数据放置在缓冲区中
- 有消费者从缓冲区中取数据，每次取一项
- 只能有一个生产者或消费者对缓冲区进行操作



要解决的问题：

- 当缓冲区已满时，生产者不会继续向其中添加数据；
- 当缓冲区为空时，消费者不会从中移走数据

- 避免忙等待

  睡眠 与 唤醒 操作(原语)

生产者/消费者问题

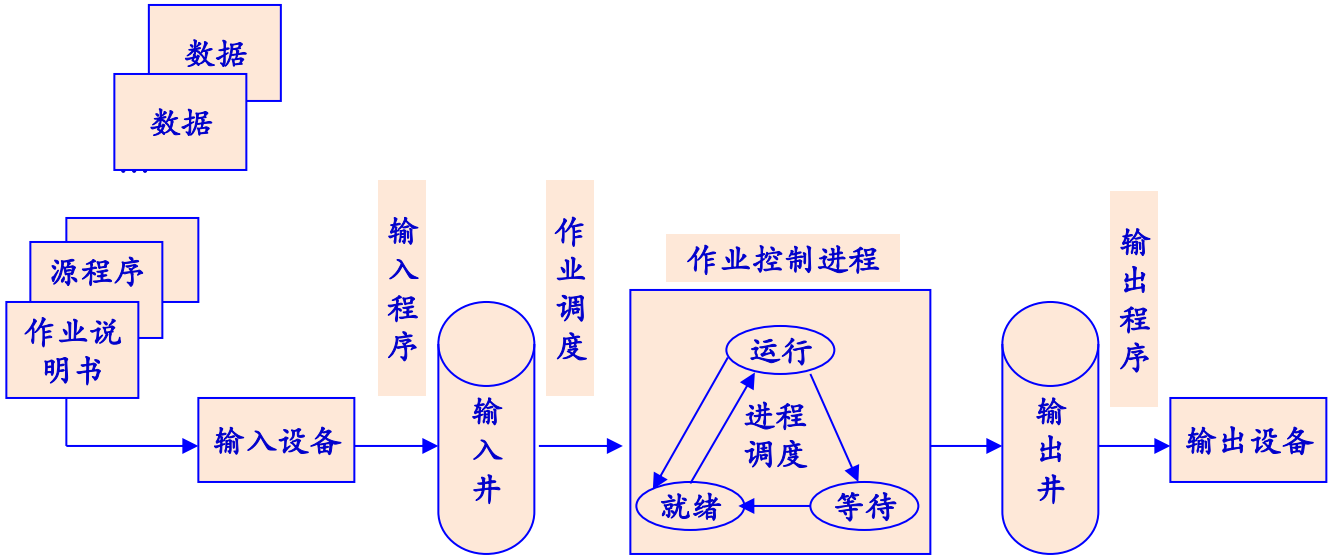
```
#define N 100
int count=0;

void producer(void)
{  int item;
   while(TRUE) {
      item=produce_item();
      if(count==N) sleep();
      insert_item(item);
      count=count+1;
      if(count==1)
       wakeup(consumer);
   }
}
```

```
void consumer(void)
{
  int item;
   while(TRUE) {
      if(count==0)sleep();
      item=remove_item();
      count=count-1;
      if(count==N-1)
       wakeup(producer);
      consume_item(item);
   }
}
```

检查count的值

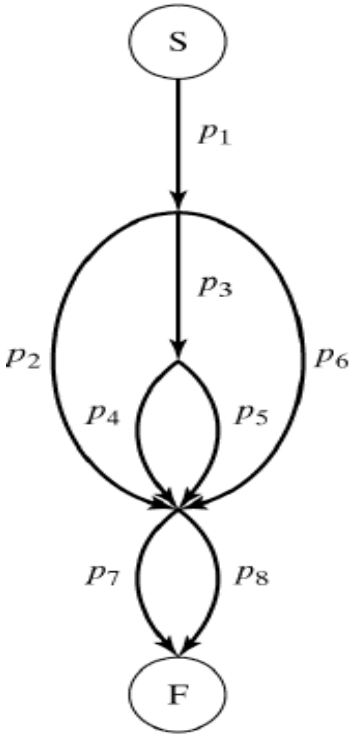
一种场景：消费者判断count=0后进入睡眠前被切换

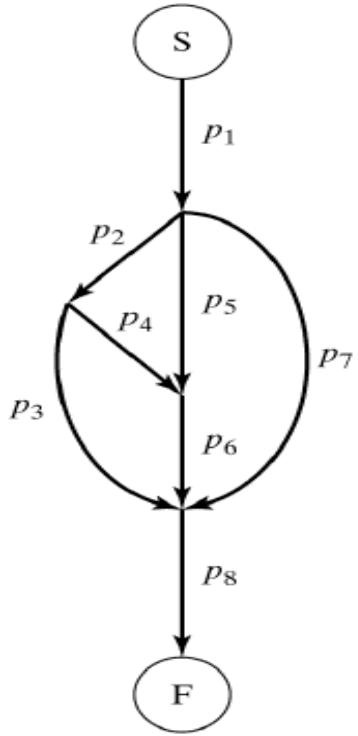
其他同步例子1



SPOOLing系统

其他同步例子2





一种经典的进程同步机制

信号量及P、V操作

信号量及PV操作

- 一个特殊变量
- 用于进程间传递信息的一个整数值
- 定义如下：

```
struc semaphore
{
        int count;
        queueType queue;
}
```

是一种卓有成效的进程同步机制

1965年，由荷兰学者Dijkstra提出

- 信号量说明：semaphore s;
- 对信号量可以实施的操作：初始化、P和V（P、V分别是荷兰语的test(proberen)和increment(verhogen)）

P、V操作定义

```
P(s)
{
   s.count --;
   if (s.count < 0)
  {
     该进程状态置为阻塞状态;
     将该进程插入相应的等待队列s.queue末尾;
     重新调度;
  }
}
```

down, semWait

```
V(s)
{
  s.count ++;
  if (s.count < = 0)
  {
     唤醒相应等待队列s.queue中等待的一个进程;
     改变其状态为就绪态，并将其插入就绪队列;
  }
}
```

up, semSignal

有关说明

- P、V操作为原语操作(primitive or atomic action)

- 在信号量上定义了三个操作

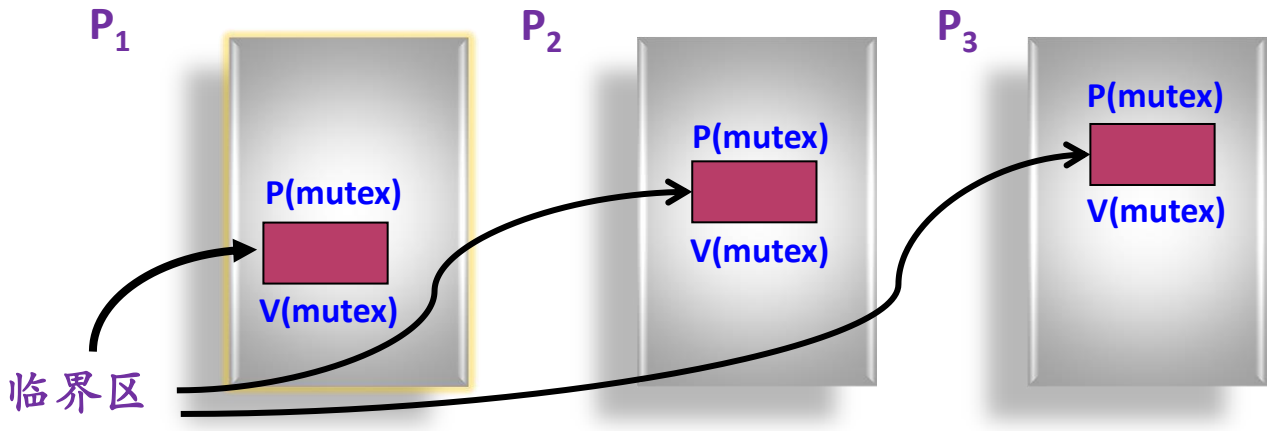
  初始化(非负数)、P操作、V操作

- 最初提出的是二元信号量（解决互斥）

  之后，推广到一般信号量（多值）或计数信号量（解决同步）

用PV操作解决进程间互斥问题

- 分析并发进程的关键活动，划定临界区
- 设置信号量 mutex，初值为1
- 在临界区前实施 P(mutex)
- 在临界区之后实施 V(mutex)



生产者消费者问题

用信号量解决生产者/消费者问题

```
void producer(void)
{   int item;
    while(TRUE) {
        item=produce_item();
        P(&empty);
        P(&mutex);
        insert_item(item);
        V(&mutex)
        V(&full);
    }
}
```

```
void consumer(void)
{   int item;
    while(TRUE) {
        P(&full);
        P(&mutex);
        item=remove_item();
        V(&mutex);
        V(&empty);
        consume_item(item);
    }
}
```

```
#define N 100                          /* 缓冲区个数 */
typedef int semaphore;                 /* 信号量是一种特殊的整型数据 */
semaphore mutex =1;                    /* 互斥信号量：控制对临界区的访问 */
semaphore empty =N;                    /* 空缓冲区个数 */
semaphore  full = 0;                   /* 满缓冲区个数 */
```

讨论一下

```
void producer(void)
{   int item;
    while(TRUE) {
            item=produce_item();
            P(&empty);
            P(&mutex);
            insert_item(item);
            V(&mutex)
            V(&full);
    }
}
```

```
void consumer(void)
{   int item;
    while(TRUE) {
            P(&full);
            P(&mutex);
            item=remove_item();
            V(&mutex);
            V(&empty);
            consume_item(item);
    }
}
```

思考：
若颠倒两个P
操作的顺序?

思考：
若颠倒两个V
操作的顺序?

顺序与
位置

读者写者问题

用信号量解决读者/写者问题

问题描述：

多个进程共享一个数据区，这些进程分为两组：

*读者进程：*只读数据区中的数据

*写者进程：*只往数据区写数据

要求满足条件：

- ✓ 允许多个读者同时执行读操作
- ✓ 不允许多个写者同时操作
- ✓ 不允许读者、写者同时操作

第一类读者写者问题：读者优先

如果读者执行：

- 无其他读者、写者，该读者可以读
- 若已有写者等，但有其他读者正在读，则该读者也可以读
- 若有写者正在写，该读者必须等

如果写者执行：

- 无其他读者、写者，该写者可以写
- 若有读者正在读，该写者等待
- 若有其他写者正在写，该写者等待

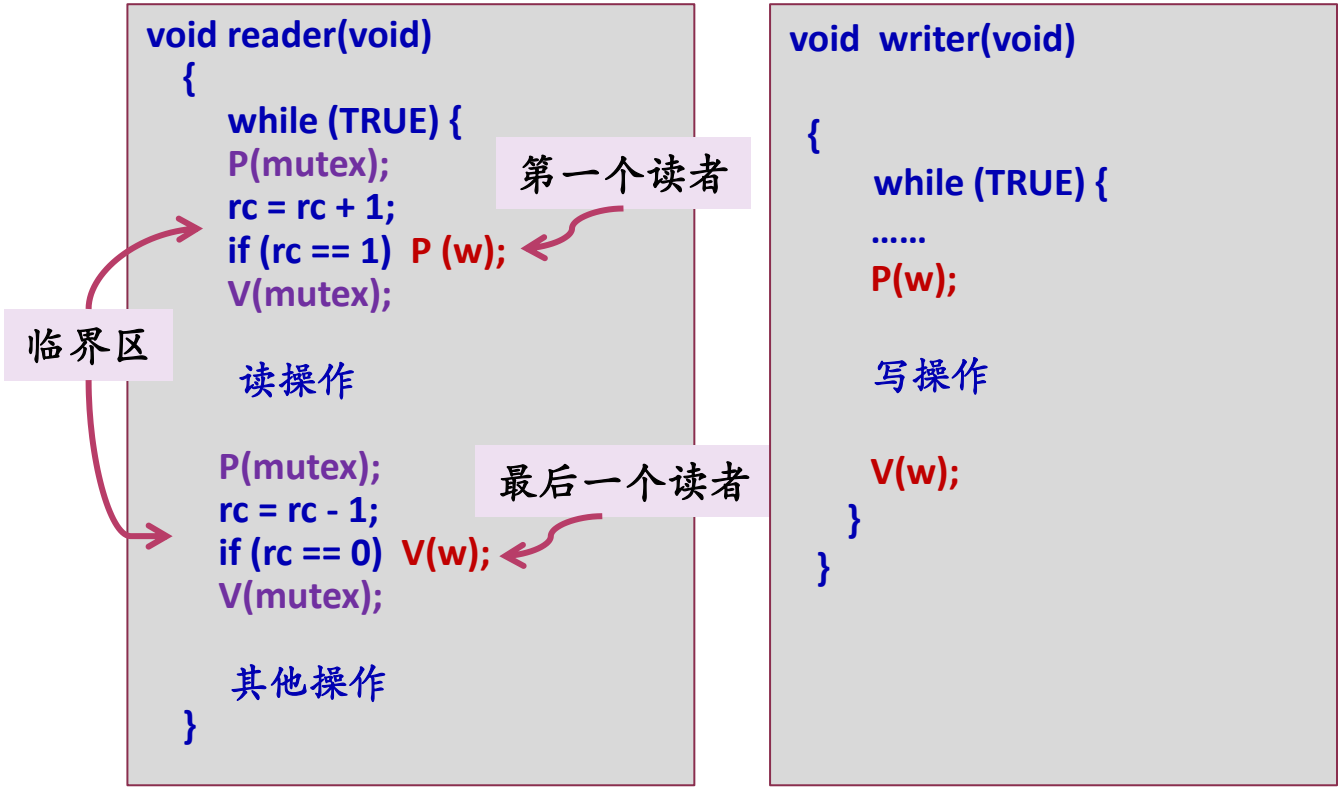
第一类读者-写者问题的解法

```
void reader(void)

{
      while (TRUE) {
      ……
      P (w);

       读操作

      V(w);

      ……
   }
}
```

不需要每个读者都做

```
void  writer(void)

 {
      while (TRUE) {
      ……
      P(w);

      写操作

      V(w);
      ……
   }
 }
```

第一类读者-写者问题的解法



LINUX提供的读写锁

- 应用场景

  如果每个执行实体对临界区的访问或者是读或者是写共享变量，但是它们都不会既读又写时，读写锁是最好的选择

- 实例：Linux的IPX路由代码中使用了读-写锁，用ipx_routes_lock的读-写锁保护IPX路由表的并发访问

要通过查找路由表实现包转发的程序需要请求读锁；需要添加和删除路由表中入口的程序必须获取写锁（由于通过读路由表的情况比更新路由表的情况多得多，使用读-写锁提高了性能）

本讲重点

- 基本概念
  - 竞争条件、临界区
  - 进程同步、进程互斥
  - 自旋锁（忙等待）
- 信号量、PV操作
- 经典问题模型及解决方案
  - 生产者-消费者问题、读者-写者问题

本周要求

- 重点阅读教材

  第2章相关内容：2.3.1~2.3.5，2.5.2

- 重点概念

竞争条件　与时间有关的错误　忙等待
临界资源　临界区　进程互斥　进程同步
信号量　P、V操作　锁　自旋锁
生产者消费者问题　读者写者问题

THANKS

The End