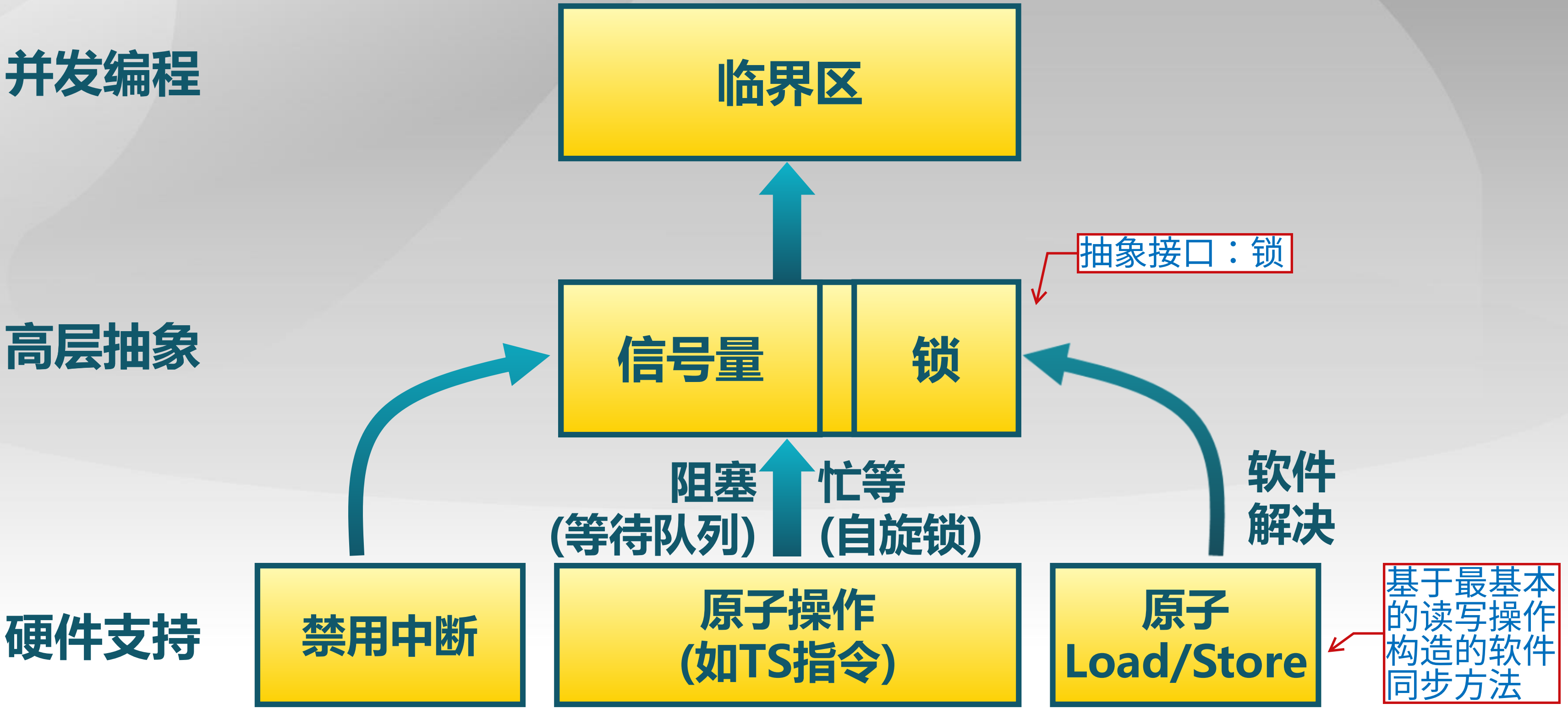
操作系统

Operating Systems

回顾

- 并发问题
  - 多线程并发导致资源竞争
- 同步概念
  - 协调多线程对共享数据的访问
  - 任何时刻只能有一个线程执行临界区代码
- 确保同步正确的方法
  - 底层硬件支持
  - 高层次的编程抽象

基本同步方法



并发编程
临界区
抽象接口：锁
高层抽象
信号量
锁
阻塞
(等待队列)
忙等
(自旋锁)
软件
解决
硬件支持
禁用中断
原子操作
(如TS指令)
原子
Load/Store
基于最基本的读写操作构造的软件同步方法

信号量(semaphore)

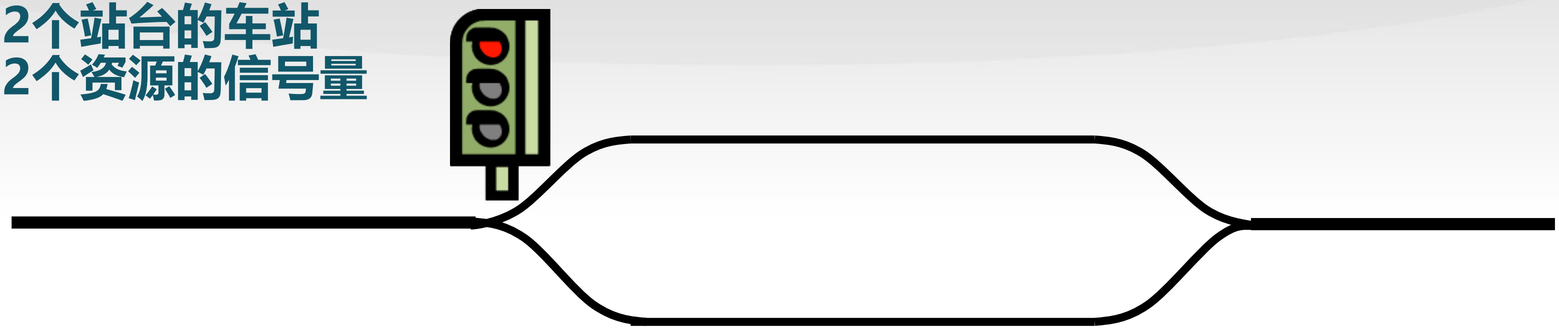
- 信号量是操作系统提供的一种协调共享资源访问的方法
  - 软件同步是平等线程间的一种同步协商机制
  - OS是管理者，地位高于进程
  - 用信号量表示系统资源的数量
- 由Dijkstra在20世纪60年代提出
- 早期的操作系统的主要同步机制
  - 现在很少用（但还是非常重要在计算机科学研究）

信号量(semaphore)

- 信号量是一种抽象数据类型
  - 由一个**整形 (sem)变量**和**两个原子操作**组成
  - P() (Prolaag （荷兰语尝试减少）)
    - sem减1
    - 如sem<0, 进入等待, 否则继续

  申请资源时使用

  - V() (Verhoog （荷兰语增加）)
    - sem加1
    - 如sem≤0,唤醒一个等待进程
- 信号量与铁路的类比
  - 2个站台的车站
  - 2个资源的信号量



信号量的特性

- 信号量是**被保护**的**整数**变量
  - 初始化完成后，只能通过P()和V()操作修改
  - 由操作系统保证，PV操作是原子操作
- **P() 可能阻塞**，V()不会阻塞
- 通常假定信号量是“公平的”
  - 线程不会被无限期阻塞在P()操作
  - 假定信号量等待按先进先出排队

由于操作系统的作用，实际应用时会设置等待最长时限的参数，超时错误返回

等待队列FIFO

自旋锁能否实现先进先出?

不能，需要占用CPU随时查

信号量的实现

```
classSemaphore {
int sem;
WaitQueue q;
}
```

现在由操作系统保护
这段代码不会被中断

```
Semaphore::P() {
    sem--;
    if (sem < 0) {
        Add this thread t to q;
        block(p);
    }
}
```

```
Semaphore::V() {
    sem++;
    if (sem<=0) {
        Remove a thread t from q;
        wakeup(t);
    }
}
```

操作系统

Operating Systems

操作系统
Operating Systems

信号量分类

- 可分为两种信号量
  - **二进制信号量**：资源数目为0或1
  - **资源信号量**:资源数目为任何非负值
  - 两者等价
    - 基于一个可以实现另一个
- 信号量的使用
  - 互斥访问
    - 临界区的互斥访问控制
  - 条件同步
    - 线程间的事件等待

用信号量实现临界区的互斥访问

每个临界区设置一个信号量，其初值为1

```
mutex = new Semaphore(1);
```

```
mutex->P();
Critical Section;
mutex->V();
```

- 必须**成对使用**P()操作和V()操作
  - P()操作保证互斥访问临界资源
  - V()操作在使用后释放临界资源
  - PV操作**不能次序错误、重复或遗漏**

用信号量实现条件同步

每个条件同步设置一个信号量，其初值为0

```
condition = new Semaphore(0);
```

线程A

```
… M …
condition->P();
… N …
```

线程B

```
… X …
condition->V();
… Y …
```

实现条件等待：
线程B执行完X模块，
线程A才能执行N模块

生产者-消费者问题

- 有界缓冲区的生产者-消费者问题描述
  - 一个或多个**生产者**在生成数据后放在一个缓冲区里
  - 单个**消费者**从缓冲区取出数据处理
  - 任何时刻**只能有一个**生产者或消费者可访问缓冲区

用信号量解决生产者-消费者问题

缓冲区是临界区

- 问题分析
  - 任何时刻只能有一个线程操作缓冲区（**互斥访问**）
  - 缓冲区空时，消费者必须等待生产者（**条件同步**）
  - 缓冲区满时，生产者必须等待消费者（**条件同步**）

- 用信号量描述每个约束
  - 二进制信号量mutex 对应互斥关系
  - 资源信号量fullBuffers
  - 资源信号量emptyBuffers

用信号量解决生产者-消费者问题

```
Class BoundedBuffer {
     mutex = new Semaphore(1);
     fullBuffers = new Semaphore(0);
     emptyBuffers = new Semaphore(n);
}
```

```
BoundedBuffer::Deposit(c) {
     emptyBuffers->P();
     mutex->P();
     Add c to the buffer;
     mutex->V();
     fullBuffers->V();
}
```

```
BoundedBuffer::Remove(c) {
     fullBuffers->P();
     mutex->P();
     Remove c from buffer;
     mutex->V();
     emptyBuffers->V();
}
```

- P、V操作的顺序有影响吗?

有影响，若调换顺序会造成死锁。
因为要先检查空或满再申请互斥访问；
若先申请互斥访问，已经占用了临界资源

使用信号量的困难

- 读/开发代码比较困难
  - 程序员需要能运用信号量机制
- 容易出错
  - 使用的信号量已经被另一个线程占用
  - 忘记释放信号量
- 不能够处理死锁问题

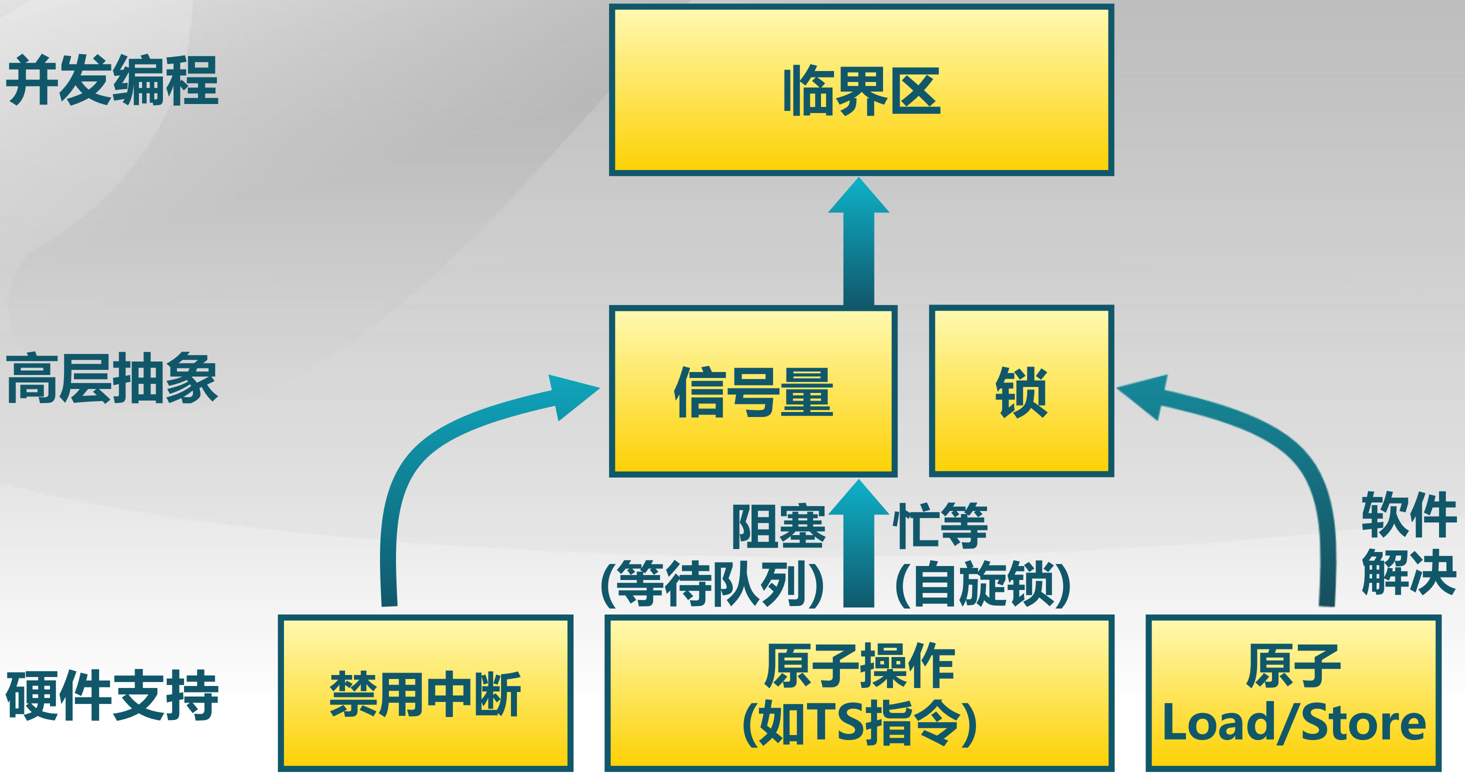
必须在写程序时处理此问题

操作系统
Operating Systems

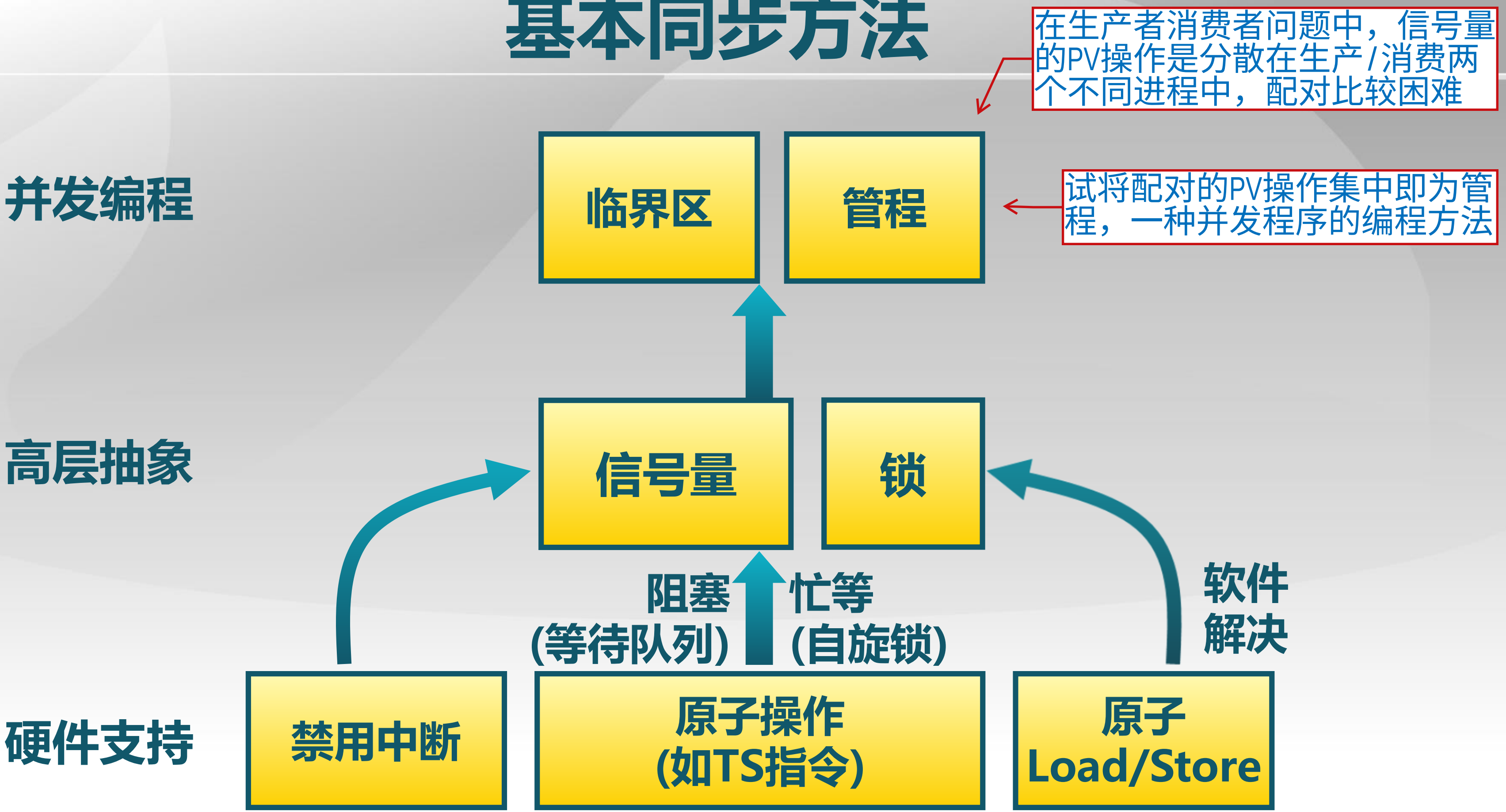
操作系统

Operating Systems

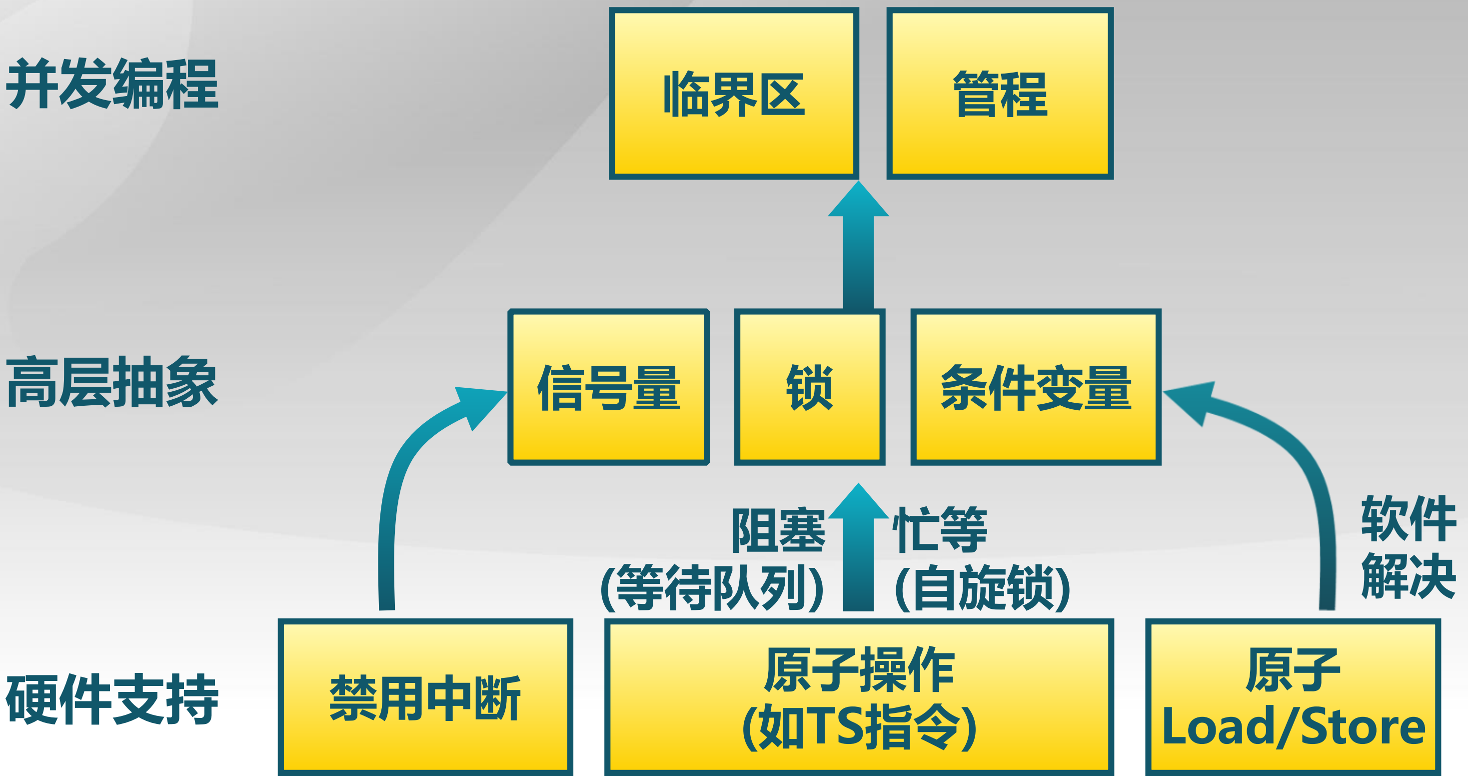
基本同步方法


并发编程
高层抽象
硬件支持
临界区
信号量
锁
阻塞
(等待队列)
忙等
(自旋锁)
软件
解决
禁用中断
原子操作
(如TS指令)
原子
Load/Store

基本同步方法


在生产者消费者问题中，信号量的PV操作是分散在生产/消费两个不同进程中，配对比较困难
并发编程
临界区
管程
试将配对的PV操作集中即为管程，一种并发程序的编程方法
高层抽象
信号量
锁
阻塞
(等待队列)
忙等
(自旋锁)
软件
解决
硬件支持
禁用中断
原子操作
(如TS指令)
原子
Load/Store

基本同步方法

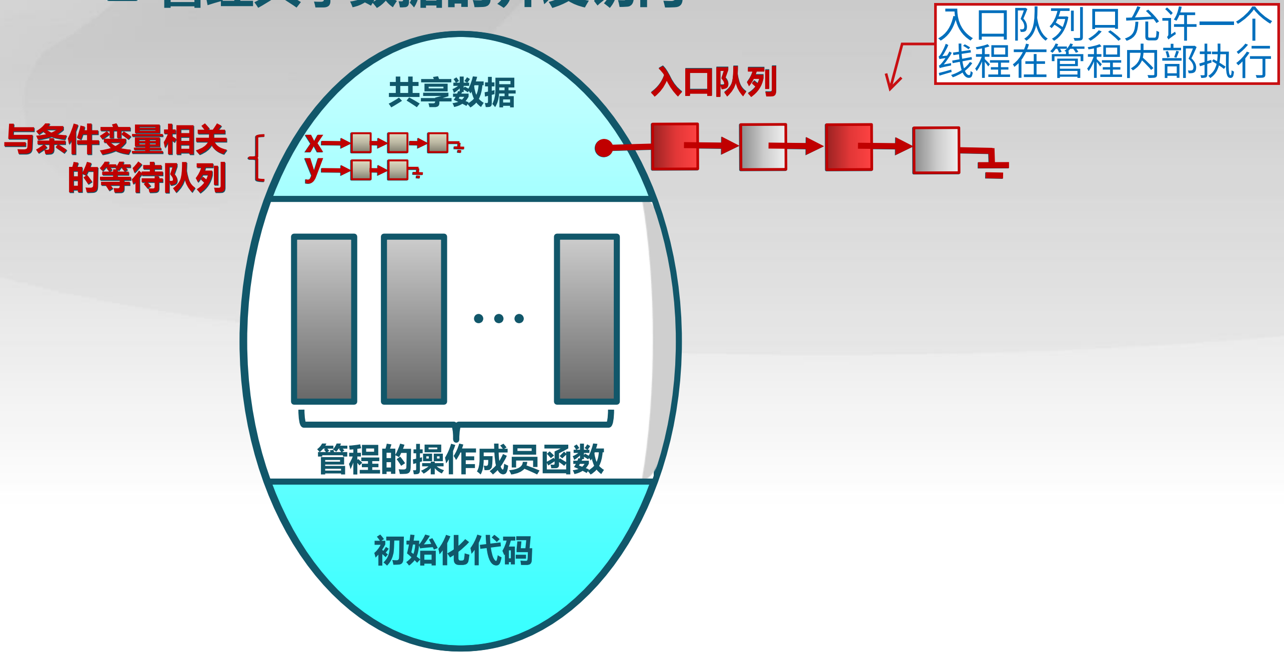

并发编程
临界区
管程
高层抽象
信号量
锁
条件变量
阻塞
(等待队列)
忙等
(自旋锁)
软件
解决
硬件支持
禁用中断
原子操作
(如TS指令)
原子
Load/Store

管程（Moniter）

- 管程是一种用于多线程互斥访问共享资源的程序结构
  - 采用面向对象方法，简化了线程间的同步控制
  - 任一时刻最多只有一个线程执行管程代码
  - 正在管程中的线程可临时放弃管程的互斥访问，等待事件出现时恢复
- 管程的使用
  - 在对象/模块中，收集相关共享数据
  - 定义访问共享数据的方法

管程的组成

- 一个锁
  - 控制管程代码的互斥访问
- 0或者多个条件变量
  - 管理共享数据的并发访问



条件变量（Condition Variable）

- 条件变量是管程内的等待机制
  - 进入管程的线程因资源被占用而进入等待状态
  - 每个条件变量表示一种等待原因，对应一个等待队列
- Wait()操作
  - 将自己阻塞在等待队列中
  - 唤醒一个等待者或释放管程的互斥访问
- Signal()操作
  - 将等待队列中的一个线程唤醒
  - 如果等待队列为空，则等同空操作

条件变量实现

```
Class Condition {
     int numWaiting = 0;
     WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){



}
```

```
Condition::Signal(){



}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
     int numWaiting = 0;
     WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
     numWaiting++;

}
```

```
Condition::Signal(){

}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
     int numWaiting = 0;
     WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
     numWaiting++;
     Add this thread t  to q;



}
```

```
Condition::Signal(){





}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
    int numWaiting = 0;
    WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
    numWaiting++;
    Add this thread t  to q;
    release(lock);
    schedule(); //need mutex

}
```

```
Condition::Signal(){




}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
    int numWaiting = 0;
    WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
    numWaiting++;
    Add this thread t  to q;
    release(lock);
    schedule(); //need mutex
    require(lock);
}
```

```
Condition::Signal(){


}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
    int numWaiting = 0;
    WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
    numWaiting++;
    Add this thread t  to q;
    release(lock);
    schedule(); //need mutex
    require(lock);
}
```

```
Condition::Signal(){
    if (numWaiting > 0) {



    }
}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
    int numWaiting = 0;
    WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
    numWaiting++;
    Add this thread t  to q;
    release(lock);
    schedule(); //need mutex
    require(lock);
}
```

```
Condition::Signal(){
    if (numWaiting > 0) {
        Remove a thread t from q;


    }
}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
    int numWaiting = 0;
    WaitQueue q;
}
```

```
Condition::Wait(lock){
    numWaiting++;
    Add this thread t  to q;
    release(lock);
    schedule(); //need mutex
    require(lock);
}
```

```
Condition::Signal(){
    if (numWaiting > 0) {
        Remove a thread t from q;
        wakeup(t); //need mutex

    }
}
```

条件变量实现

```
Class Condition {
    int numWaiting = 0;
    WaitQueue q;
}
```

释放管程的互斥访问权

```
Condition::Wait(lock){
    numWaiting++;
    Add this thread t  to q;
    release(lock);
    schedule(); //need mutex
    require(lock);
}
```

执行调度切换到其他进/线程执行

返回后再请求管程的访问权限

所有语句在if中，如果条件不成立，相当于空操作；条件成立意味着有其他进程在此条件变量的等待队列中

```
Condition::Signal(){
    if (numWaiting > 0) {
        Remove a thread t from q;
        wakeup(t); //need mutex
        numWaiting--;
    }
}
```

用管程解决生产者-消费者问题

初始化：一个入口锁（入口等待队列）+两个条件变量

```
classBoundedBuffer {
    …
    Lock lock;
    int count = 0;
    Condition notFull, notEmpty;
}
```

写入缓冲区的数据数目

```
BoundedBuffer::Deposit(c) {




    Add c to the buffer;
    count++;


}
```

管程的封装作用

```
BoundedBuffer::Remove(c) {




    Remove c from buffer;
    count--;


}
```

核心操作代码

用管程解决生产者-消费者问题

```
classBoundedBuffer {
    …
    Lock lock;
    int count = 0;
    Condition notFull, notEmpty;
}
```

```
BoundedBuffer::Deposit(c) {
    lock->Acquire();


    Add c to the buffer;
    count++;

    lock->Release();
}
```

管程的申请和释放，这两个函数是构成管程的内部代码

```
BoundedBuffer::Remove(c) {
    lock->Acquire();


    Remove c from buffer;
    count--;

    lock->Release();
}
```

用管程解决生产者-消费者问题

这里与信号量做法不同，调换了检查顺序。因为管程内部检查时若不成功可以放弃管程的互斥访问权

申请到管程的互斥访问权后再检查是否已经写满

```
classBoundedBuffer {
    …
    Lock lock;
    int count = 0;
    Condition notFull, notEmpty;
}
```

```
BoundedBuffer::Deposit(c) {
    lock->Acquire();
    while (count == n)
        notFull.Wait(&lock);
    Add c to the buffer;
    count++;

    lock->Release();
}
```

```
BoundedBuffer::Remove(c) {
    lock->Acquire();


    Remove c from buffer;
    count--;
    notFull.Signal();
    lock->Release();
}
```

用管程解决生产者-消费者问题

```
classBoundedBuffer {
    …
    Lock lock;
    int count = 0;
    Condition notFull, notEmpty;
}
```

```
BoundedBuffer::Deposit(c) {
    lock->Acquire();
    while (count == n)
        notFull.Wait(&lock);
    Add c to the buffer;
    count++;
    notEmpty.Signal();
    lock->Release();
}
```

```
BoundedBuffer::Remove(c) {
    lock->Acquire();
    while (count == 0)
      notEmpty.Wait(&lock);
    Remove c from buffer;
    count--;
    notFull.Signal();
    lock->Release();
}
```

管程条件变量的释放处理方式

正占用管程处于执行状态的进程优先

- Hansen管程
  - 主要用于真实OS和Java中

```
l.acquire()
…
x.wait()
```

T1进入等待

连续执行效率更高

T2进入管程

```
l.acquire()
…
x.signal()
…
l.release()
```

释放后继续执行直到放弃管程互斥访问权限

T2退出管程

```
…
l.release()
```

T1恢复管程执行

等待条件变量的进程优先级更高

- Hoare管程
  - 主要见于教材中

```
l.acquire()
…
x.wait()
```

T1进入等待

T1等待条件一旦出现，T2立即放弃管程互斥访问权，唤醒T1

T2进入管程

```
l.acquire()
…
x.signal()
```

T2进入等待

```
…
l.release()
```

T1恢复管程执行

T1 结束

T2恢复管程执行

```
…
l.release()
```

Hansen 管程与 Hoare 管程

```
Hansen-style :Deposit(){
  lock->acquire();
  while (count == n) {
        notFull.wait(&lock);
  }
  Add  thing;
  count++;
  notEmpty.signal();
  lock->release();
}
```

```
Hoare-style: Deposit(){
  lock->acquire();
  if (count == n) {
        notFull.wait(&lock);
  }
  Add thing;
  count++;
  notEmpty.signal();
  lock->release();
}
```

- Hansen管程
  - 条件变量释放仅是一个提示
  - 需要重新检查条件

相当于重新排队

- 特点
  - 高效

- Hoare管程
  - 条件变量释放同时表示放弃管程访问
  - 释放后条件变量的状态可用
- 特点
  - 低效

多一次切换，
但确定性更好

操作系统
Operating Systems

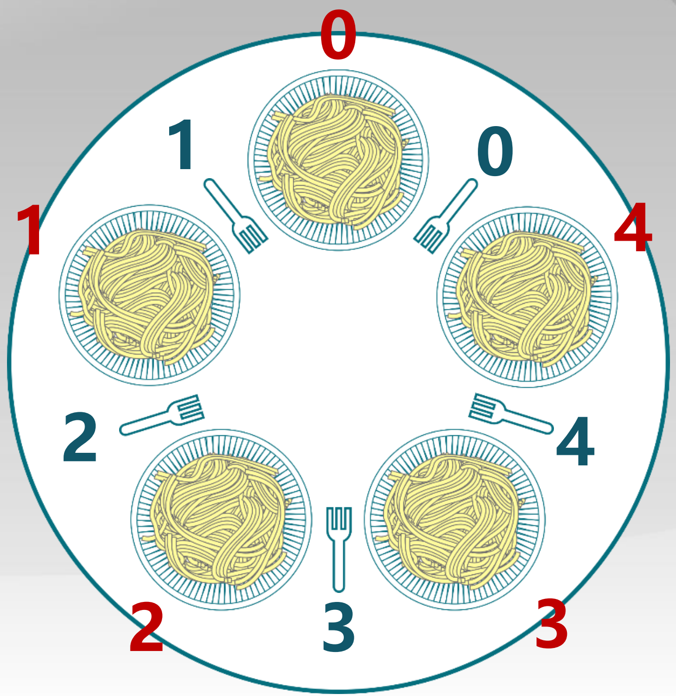
操作系统
Operating Systems

哲学家就餐问题

问题描述：

- 5个哲学家围绕一张圆桌而坐
  - 桌子上放着5支叉子
  - 每两个哲学家之间放一支
- 哲学家的动作包括思考和进餐
  - 进餐时需同时拿到左右两边的叉子
  - 思考时将两支叉子放回原处

- 如何保证哲学家们的动作有序进行？
  如：不出现有人永远拿不到叉子



方案1

```
#define N 5                          // 哲学家个数
semaphore fork[5];                   // 信号量初值为1
void  philosopher(int  i)            // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE)
    {
      think( );                      // 哲学家在思考
      P(fork[i]);                    // 去拿左边的叉子
      P(fork[(i + 1) % N]);          // 去拿右边的叉子
      eat( );                        // 吃面条中….
      V(fork[i]);                    // 放下左边的叉子
      V(fork[(i + 1) % N ]);         // 放下右边的叉子
    }
```

不正确，可能导致死锁

若所有哲学家同时拿起左边的叉子，则所有人进入无限期等待

方案2

```
#define   N   5                      // 哲学家个数
semaphore fork[5];                   // 信号量初值为1
semaphore   mutex;                   // 互斥信号量，初值1
```

方案2

```
#define   N   5                      // 哲学家个数
semaphore fork[5];                   // 信号量初值为1
semaphore  mutex;                    // 互斥信号量，初值1
void  philosopher(int   i)           // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE){
        think( );                    // 哲学家在思考



        eat( );                      // 吃面条中....



    }
```

方案2

```
#define   N   5                              // 哲学家个数
semaphore fork[5];                           // 信号量初值为1
semaphore   mutex;                           // 互斥信号量，初值1
void   philosopher(int   i)                  // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE){
        think( );                            // 哲学家在思考
        P(mutex);                            // 进入临界区


        eat( );                              // 吃面条中….


        V(mutex);                            // 退出临界区
    }
```

方案2

```
#define   N   5                                  // 哲学家个数
semaphore fork[5];                               // 信号量初值为1
semaphore   mutex;                               // 互斥信号量，初值1
void   philosopher(int   i)                      // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE){
        think( );                                // 哲学家在思考
        P(mutex);                                // 进入临界区
        P(fork[i]);                              // 去拿左边的叉子
        P(fork[(i + 1) % N]);                    // 去拿右边的叉子
        eat( );                                  // 吃面条中….


        V(mutex);                                // 退出临界区
    }
```

方案2

```
#define   N   5                           // 哲学家个数
semaphore fork[5];                        // 信号量初值为1
semaphore  mutex;                         // 互斥信号量，初值1
void  philosopher(int   i)                // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE){
        think( );                         // 哲学家在思考
        P(mutex);                         // 进入临界区
        P(fork[i]);                       // 去拿左边的叉子
        P(fork[(i + 1) % N]);             // 去拿右边的叉子
        eat( );                           // 吃面条中….
        V(fork[i]);                       // 放下左边的叉子
        V(fork[(i + 1) % N]);             // 放下右边的叉子
        V(mutex);                         // 退出临界区
    }
```

只有申请到二进制信号量的进程才能进入临界区，每一时刻只有一个进程能进入，后面的申请都不会出现问题

互斥访问正确，但每次只允许一人进餐

通常期望资源利用效率高，但若无法有序做到，将所有资源作为一个包，只允许一个进程访问，那么保证了有序，但效率较低

方案3

```
#define    N    5                    // 哲学家个数
semaphore fork[5];                   // 信号量初值为1
```

方案3

```
#define   N   5                          // 哲学家个数
semaphore fork[5];                       // 信号量初值为1
void   philosopher(int   i)              // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE)
    {
        think( );                        // 哲学家在思考




        eat( );                          // 吃面条中....


    }
```

方案3

```
#define   N   5                                   // 哲学家个数
semaphore fork[5];                                // 信号量初值为1
void   philosopher(int   i)                       // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE)
    {
        think( );                                 // 哲学家在思考
        if (i%2 == 0) {


        } else {


        }
        eat( );                                   // 吃面条中….


    }
```

方案3

```
#define   N   5                        // 哲学家个数
semaphore fork[5];                     // 信号量初值为1
void   philosopher(int   i)            // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE)
    {
        think( );                      // 哲学家在思考
        if (i%2 == 0) {
            P(fork[i]);                // 去拿左边的叉子
            P(fork[(i + 1) % N]);      // 去拿右边的叉子
        } else {


        }
        eat( );                        // 吃面条中….


    }
```

方案3

```
#define   N   5                              // 哲学家个数
semaphore fork[5];                           // 信号量初值为1
void   philosopher(int   i)                  // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE)
    {
        think( );                            // 哲学家在思考
        if (i%2 == 0) {
            P(fork[i]);                      // 去拿左边的叉子
            P(fork[(i + 1) % N]);            // 去拿右边的叉子
        } else {
            P(fork[(i + 1) % N]);            // 去拿右边的叉子
            P(fork[i]);                      // 去拿左边的叉子
        }
        eat( );                              // 吃面条中….


    }
```

方案3

不用全局锁将所有叉子都设为临界区

```
#define   N   5                          // 哲学家个数
semaphore fork[5];                       // 信号量初值为1
void   philosopher(int   i)              // 哲学家编号：0 - 4
    while(TRUE)
    {
        think( );                        // 哲学家在思考
        if (i%2 == 0) {
            P(fork[i]);                  // 去拿左边的叉子
            P(fork[(i + 1) % N]);        // 去拿右边的叉子
        } else {
            P(fork[(i + 1) % N]);        // 去拿右边的叉子
            P(fork[i]);                  // 去拿左边的叉子
        }
        eat( );                          // 吃面条中….
        V(fork[i]);                      // 放下左边的叉子
        V(fork[(i + 1) % N]);            // 放下右边的叉子
    }
```

针对方案1的死锁情况，设置分支结构，根据编号不同采取不同动作，让哲学家之间拿刀叉有差异，不构成环路，总有先后，最终保证所有人的顺利就餐，通常可有两人同时就餐

偶数编号先左后右；奇数编号先右后左

释放操作不会堵塞，不需要分情况

没有死锁，可有多人同时就餐

操作系统

Operating Systems

操作系统
Operating Systems

读者-写者问题描述

- 共享数据的两类使用者
  - 读者：只读取数据，不修改
  - 写者：读取和修改数据
- 读者-写者问题描述：对共享数据的读写
  - “读 - 读”允许
    - 同一时刻，允许有多个读者同时读
  - “读 - 写”互斥
    - 没有写者时读者才能读
    - 没有读者时写者才能写
  - “写 - 写”互斥
    - 没有其他写者时写者才能写

用信号量解决读者-写者问题

- 用信号量描述每个约束
  - 信号量WriteMutex
    - 控制读写操作的互斥
    - 初始化为1
  - 读者计数Rcount
    - 正在进行读操作的读者数目
    - 初始化为0
  - 信号量CountMutex
    - 控制对读者计数的互斥修改
    - 初始化为1

保证一时刻只有一个线程能修改读者计数

用信号量解决读者-写者问题

Writer

```
write;
```

Reader

```
read;
```

用信号量解决读者-写者问题

Writer

```
P(WriteMutex);
  write;
V(WriteMutex);
```

Reader

```
   P(WriteMutex);

read;

   V(WriteMutex);
```

用信号量解决读者-写者问题

Writer

```
P(WriteMutex);

  write;

V(WriteMutex);
```

Reader

```
  if (Rcount == 0)
    P(WriteMutex);
  ++Rcount;


read;



    V(WriteMutex);
```

用信号量解决读者-写者问题

Writer

```
P(WriteMutex);

  write;

V(WriteMutex);
```

Reader

```
  if (Rcount == 0)
    P(WriteMutex);
  ++Rcount;


read;


  --Rcount;
  if (Rcount == 0)
   V(WriteMutex);
```

用信号量解决读者-写者问题

Writer

```
P(WriteMutex);

  write;

V(WriteMutex);
```

Reader

```
P(CountMutex);
 if (Rcount == 0)
   P(WriteMutex);
 ++Rcount;
V(CountMutex);

read;


 --Rcount;
 if (Rcount == 0)
  V(WriteMutex);
```

用信号量解决读者-写者问题

Writer

写者可认为完全是临界区问题

互斥保护

核心操作

```
P(WriteMutex);

  write;

V(WriteMutex);
```

此实现中，读者优先

读者读时新读者可以进来，但写者要等到所有读者离开

Reader

读者计数的修改也需要保护

只有第一个读者需要申请互斥访问，第二个只需要计数+1

```
P(CountMutex);
 if (Rcount == 0)
   P(WriteMutex);
 ++Rcount;
V(CountMutex);

read;

P(CountMutex);
 --Rcount;
 if (Rcount == 0)
   V(WriteMutex);
V(CountMutex)
```

仅最后一个离开的读者需要释放读写互斥信号量，其他计数-1即可

读者/写者问题：优先策略

- 读者优先策略
  - 只要有读者正在读状态，后来的读者都能直接进入
  - 如读者持续不断进入，则写者就处于饥饿
- 写者优先策略
  - 只要有写者就绪，写者应尽快执行写操作 后来的读者必须阻塞
  - 如写者持续不断就绪，则读者就处于饥饿

如何实现?

用管程解决读者-写者问题

- 两个基本方法

```
Database::Read() {
        Wait until no writers;
        read database;
        check out - wake up waiting writers;
}
```

```
Database::Write() {
        Wait until no readers/writers;
        write database;
        check out - wake up waiting readers/writers;
}
```

- 管程的状态变量

```
AR = 0;            // # of active readers
AW = 0;            // # of active writers
WR = 0;            // # of waiting readers
WW = 0;            // # of waiting writers
```

用管程解决读者-写者问题

- **两个基本方法**

```
Database::Read() {
        Wait until no writers;
        read database;
        check out – wake up waiting writers;
}
```

```
Database::Write() {
        Wait until no readers/writers;
        write database;
        check out – wake up waiting readers/writers;
}
```

- **管程的状态变量**

AR/AW只有一个>0

```
AR = 0;             // # of active readers
AW = 0;             // # of active writers
WR = 0;             // # of waiting readers
WW = 0;             // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
   //Wait until no writers;
   StartRead();
   read database;
   //check out – wake up waiting writers;
   DoneRead();
}
```

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();





    lock.Release();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();




    AR++;
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();
    while (???) {
        WR++;
        okToRead.wait(&lock);
        WR--;
    }
    AR++;
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+WW) > 0) {
        WR++;
        okToRead.wait(&lock);
        WR--;
    }
    AR++;
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+WW) > 0) {
        WR++;
        okToRead.wait(&lock);
        WR--;
    }
    AR++;
    lock.Release();
}
```

```
Private Database::DoneRead() {
    lock.Acquire();
    AR--;



    lock.Release();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+WW) > 0) {
        WR++;
        okToRead.wait(&lock);
        WR--;
    }
    AR++;
    lock.Release();
}
```

```
Private Database::DoneRead() {
    lock.Acquire();
    AR--;
    if (???) {
        okToWrite.signal();
    }
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：读者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Read() {
  //Wait until no writers;
  StartRead();
  read database;
  //check out – wake up waiting writers;
  DoneRead();
}
```

申请管程的互斥访问

```
Private Database::StartRead() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+WW) > 0) {
        WR++;
        okToRead.wait(&lock);
        WR--;
    }
    AR++;
    lock.Release();
}
```

判断条件体现读/写优先

```
Private Database::DoneRead() {
    lock.Acquire();
    AR--;
    if (AR ==0 && WW > 0) {
        okToWrite.signal();
    }
    lock.Release();
}
```

最后一个读者且有写者等待

解决方案详情：写者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Write() {
  //Wait until no readers/writers;
  StartWrite();
  write database;
  //check out-wake up waiting readers/writers;
  DoneWrite();
}
```

```
Private Database::StartWrite() {
    lock.Acquire();




    AW++;
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：写者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Write() {
  //Wait until no readers/writers;
  StartWrite();
  write database;
  //check out-wake up waiting readers/writers;
  DoneWrite();
}
```

```
Private Database::StartWrite() {
    lock.Acquire();
    while (???)  {
        WW++;
        okToWrite.wait(&lock);
        WW--;
    }
    AW++;
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：写者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Write() {
  //Wait until no readers/writers;
  StartWrite();
  write database;
  //check out-wake up waiting readers/writers;
  DoneWrite();
}
```

```
Private Database::StartWrite() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+AR) > 0)  {
        WW++;
        okToWrite.wait(&lock);
        WW--;
    }
    AW++;
    lock.Release();
}
```

解决方案详情：写者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Write() {
  //Wait until no readers/writers;
  StartWrite();
  write database;
  //check out-wake up waiting readers/writers;
  DoneWrite();
}
```

```
Private Database::StartWrite() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+AR) > 0)  {
        WW++;
        okToWrite.wait(&lock);
        WW--;
    }
    AW++;
    lock.Release();
}
```

```
Private Database::DoneWrite() {
    lock.Acquire();
    AW--;




    lock.Release();
}
```

解决方案详情：写者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Write() {
  //Wait until no readers/writers;
  StartWrite();
  write database;
  //check out-wake up waiting readers/writers;
  DoneWrite();
}
```

```
Private Database::StartWrite() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+AR) > 0)  {
        WW++;
        okToWrite.wait(&lock);
        WW--;
    }
    AW++;
    lock.Release();
}
```

```
Private Database::DoneWrite() {
    lock.Acquire();
    AW--;
    if (WW > 0) {
        okToWrite.signal();
    }


    lock.Release();
}
```

解决方案详情：写者

```
AR = 0;    // # of active readers
AW = 0;    // # of active writers
WR = 0;    // # of waiting readers
WW = 0;    // # of waiting writers
Lock lock;
Condition okToRead;
Condition okToWrite;
```

```
Public Database::Write() {
  //Wait until no readers/writers;
  StartWrite();
  write database;
  //check out-wake up waiting readers/writers;
  DoneWrite();
}
```

```
Private Database::StartWrite() {
    lock.Acquire();
    while ((AW+AR) > 0)  {
        WW++;
        okToWrite.wait(&lock);
        WW--;
    }
    AW++;
    lock.Release();
}
```

WR>0时不等待
->写者优先

```
Private Database::DoneWrite() {
    lock.Acquire();
    AW--;
    if (WW > 0) {
        okToWrite.signal();
    }
    else if (WR > 0) {
        okToRead.broadcast();
    }
    lock.Release();
}
```

优先唤醒等待的写者
->写者优先

操作系统

Operating Systems