临界资源与临界区

考虑网络订票软件：

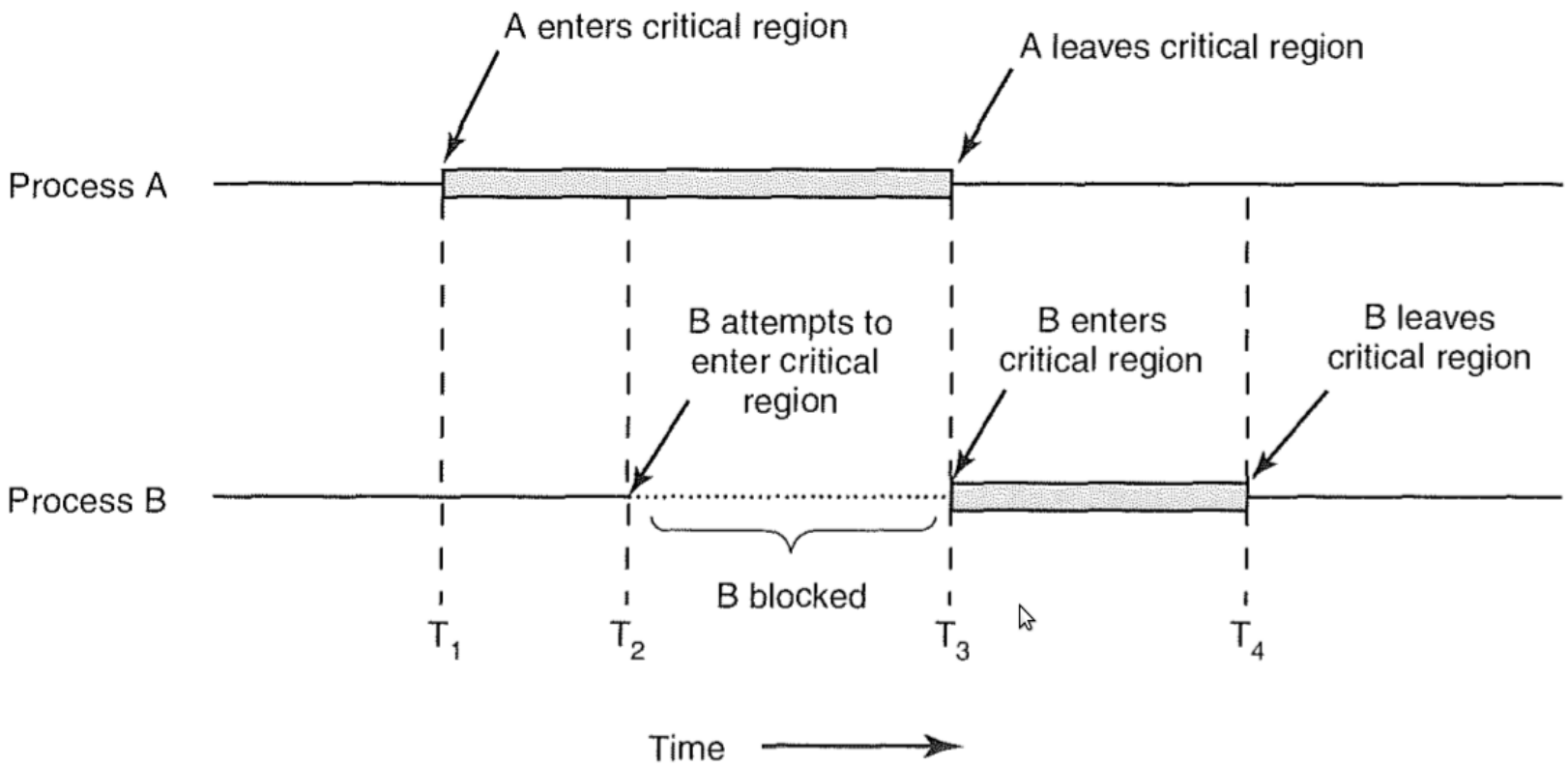
- 进程A发现3号车10C座位空闲
- 此时操作系统调度进程B运行
- 进程B同样发现该位子的票尚未售出，于是将该票买给旅客
- 进程A重新运行后，再次将3-10C售出

对临界资源的互斥访问

理想的互斥方案需要满足4个条件：

1. 两个进程不能同时进入临界区
2. 不能依赖CPU数目或者运行速度
3. 不在临界区的进程，不能妨碍其他进程进入临界区
4. 任一进程需在有限时间内能够进入临界区

对临界资源的互斥访问


A enters critical region
A leaves critical region
Process A
B attempts to enter critical region
B enters critical region
B leaves critical region
Process B
B blocked
T1
T2
T3
T4
Time

对临界资源的互斥访问: 方法1 – 交替进入临界区

```
while (TRUE) {
    while (turn != 0)        /* loop */ ;
    critical_region( );
    turn = 1;
    noncritical_region( );
}
```

(a)

```
while (TRUE) {
    while (turn != 1)        /* loop */ ;
    critical_region( );
    turn = 0;
    noncritical_region( );
}
```

(b)

缺陷：违反条件3 (设想进程A循环体运行1秒，进程B运行100秒)
进程A与B必须锁步(交替)进入临界区

对临界资源的互斥访问: 方法2 – 忙等待

- 需要硬件支持TSL指令
- 进程进入临界区前，调用enter_region
- 离开临界区时，调用leave_region
- 这是一个正确的解决方法，但是...

```
enter_region:
        TSL REGISTER,LOCK
        CMP REGISTER,#0
        JNE enter_region
        RET

leave_region:
        MOVE LOCK,#0
        RET
```

对临界资源的互斥访问: 方法2 – 忙等待

两个缺点：

- 缺点1：忙等待浪费了CPU时间
- 缺点2：优先级反转问题
  - 进程H优先级高于进程L, 二者同时需要某临界资源
  - 假设当进程L在临界区时，进程H可以运行
  - 结局：进程L永远无法离开临界区，H永远忙等待

为了克服这些缺点，增加sleep和wakeup系统调用

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);
        }
}
```

缺陷: 测试count==0成功后，消费者进程调用sleep之前，调度生产者进程运行...

信号量机制(Semaphores)

为了解决唤醒信号丢失的问题，引入信号量，它是一种特殊的整型变量。在信号量上定义两个原子操作：

down 如果信号量值大于0，则将其减1然后返回；否则，进程在该信号量上进入睡眠

up 如果有进程在该信号量上睡眠，则选择其中一个唤醒；否则，信号量加1

用信号量解决生产者–消费者问题

```
#define N 100
typedef int semaphore;
semaphore mutex = 1;
semaphore empty = N;
semaphore full = 0;

void producer(void)
{
        int item;

        while (TRUE) {
                item = produce_item( );
                down(&empty);
                down(&mutex);
                insert_item(item);
                up(&mutex);
                up(&full);
        }
}
```

```
void consumer(void)
{
        int item;

        while (TRUE) {
                down(&full);
                down(&mutex);
                item = remove_item( );
                up(&mutex);
                up(&empty);
                consume_item(item);
        }
}
```

该方案中，信号量empty和full具有计数和同步功能，而mutex仅有互斥功能。

专门用来实现互斥的特殊信号量– 互斥锁

互斥锁只有两种状态：locked (1) / unlocked (0)

```
mutex_lock:
        TSL REGISTER,MUTEX
        CMP REGISTER,#0
        JZE ok
        CALL thread_yield
        JMP mutex_lock
ok:     RET

mutex_unlock:
        MOVE MUTEX,#0
        RET
```

互斥锁与忙等待的区别

```
mutex_lock:
        TSL REGISTER,MUTEX
        CMP REGISTER,#0
        JZE ok
        CALL thread_yield
        JMP mutex_lock
ok:     RET
```

```
mutex_unlock:
        MOVE MUTEX,#0
        RET
```

```
enter_region:
        TSL REGISTER,LOCK
        CMP REGISTER,#0
        JNE enter_region
        RET
```

```
leave_region:
        MOVE LOCK,#0
        RET
```

后者：不断利用CPU指令测试临界资源，直至时间片用光被从CPU上撤下来

信号量的危险情形— 管程机制的引入

```
#define N 100
typedef int semaphore;
semaphore mutex = 1;
semaphore empty = N;
semaphore full = 0;

void producer(void)
{
        int item;

        while (TRUE) {
                item = produce_item( );
                down(&empty);
                down(&mutex);
                insert_item(item);
                up(&mutex);
                up(&full);
        }
}
```

```
void consumer(void)
{
        int item;

        while (TRUE) {
                down(&full);
                down(&mutex);
                item = remove_item( );
                up(&mutex);
                up(&empty);
                consume_item(item);
        }
}
```

危险:如果程序员不小心把producer中的down(empty)和down(mutex)顺序颠倒，则当缓冲区满时，会发生什么?

信号量的危险情形— 管程机制的引入

- 发生死锁。
- 因此，最好由编译器自动处理这种容易出错的程序段。—引入管程。
- 对比：C++中构造函数与析构函数

管程:解决生产者–消费者问题

```
monitor ProducerConsumer
    condition full, empty;
    integer count;

    procedure insert(item: integer);
    begin
        if count = N then wait(full);
        insert_item(item);
        count := count + 1;
        if count = 1 then signal(empty)
    end;

    function remove: integer;
    begin
        if count = 0 then wait(empty);
        remove = remove_item;
        count := count - 1;
        if count = N - 1 then signal(full)
    end;

    count := 0;
end monitor;
```

```
procedure producer;
begin
    while true do
    begin
        item = produce_item;
        ProducerConsumer.insert(item)
    end
end;

procedure consumer;
begin
    while true do
    begin
        item = ProducerConsumer.remove;
        consume_item(item)
    end
end;
```

注意概念: 条件变量empty, full以及wait, signal

此外，insert与remove之间的互斥由编译器完成

管程:解决生产者–消费者问题

- 管程内程序段之间的互斥（自动）
- 进程同步问题?：条件变量及wait, signal实现
  - wait: 将当前进程阻塞，并允许其他进程进入管程
  - signal: 将被相应条件变量阻塞的进程唤醒
- 上述方法中，signal必须是最后一条指令，为什么?

消息传递机制：解决不同机器上进程间同步问题

```
#define N 100

void producer(void)
{
        int item;
        message m;

        while (TRUE) {
                item = produce_item( );
                receive(consumer, &m);
                build_message(&m, item);
                send(consumer, &m);
        }
}
```

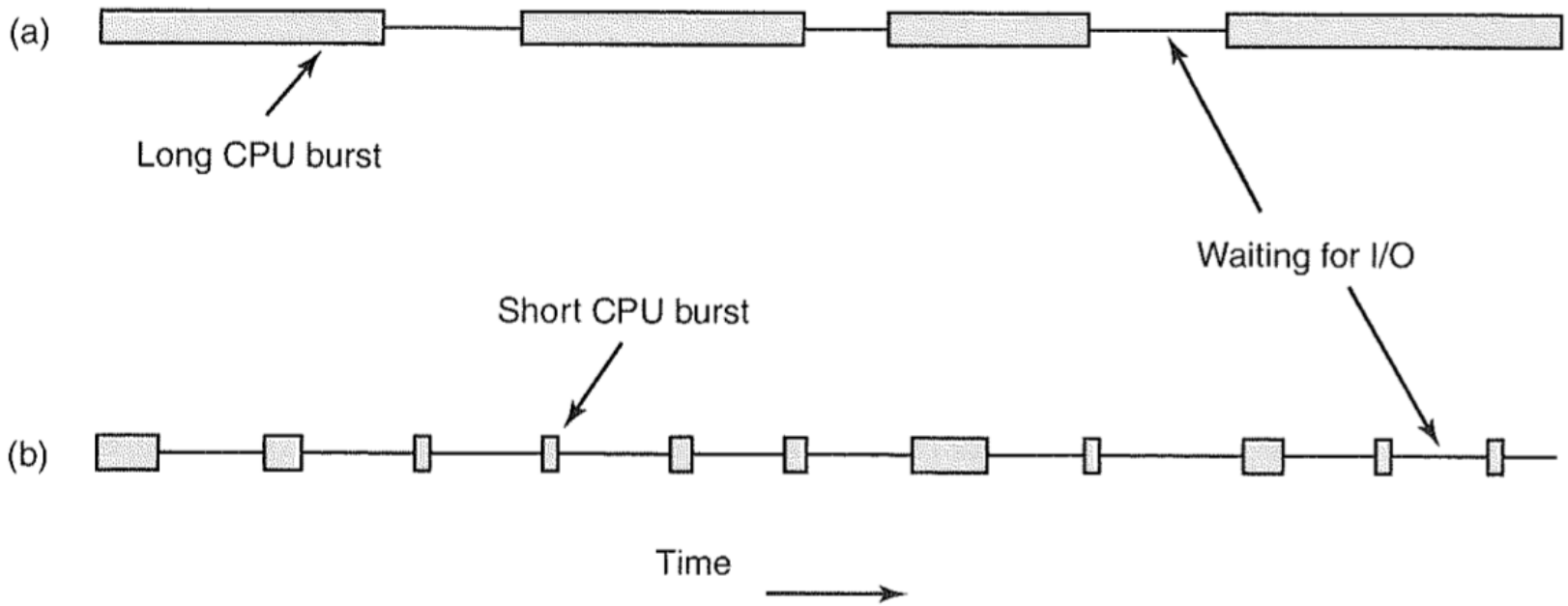
```
void consumer(void)
{
        int item, i;
        message m;

        for (i = 0; i < N; i++) send(producer, &m);
        while (TRUE) {
                receive(producer, &m);
                item = extract_item(&m);
                send(producer, &m);
                consume_item(item);
        }
}
```

进程（线程）调度

当系统中有多个进程或线程处于就绪态时，操作系统需要从中选择一个放到CPU上运行。这就是进程调度问题。实现该任务的部件称作调度器。

进程的典型行为: CPU密集型与IO密集型进程



思考：两种进程举例?

二者关键区别：不是I/O时间长度，而是CPU时间长度

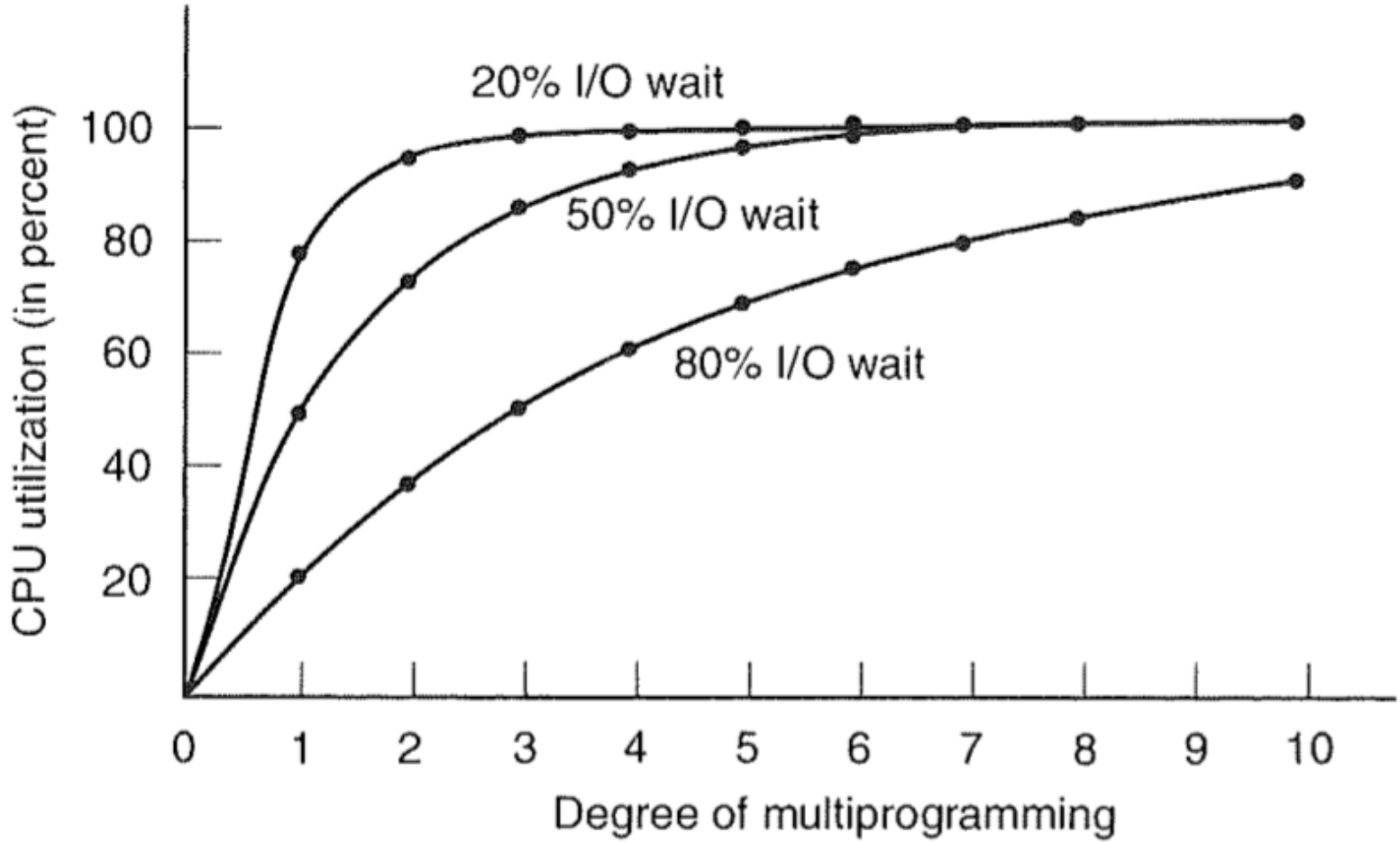
进程的典型行为: CPU密集型与IO密集型进程

CPU速度增长快于I/O速度增长，因此随着技术发展，进程倾向于越来越I/O密集。后果：I/O密集型进程的调度显得越来越关键。

进程的典型行为: CPU密集型与IO密集型进程

基本想法：如果某I/O进程处于就绪态，则应该努力优先让其运行。为什么？(这里有个深刻原因)
思考2：如何动态识别某进程是CPU密集型还是I/O密集型?

进程的典型行为: CPU密集型与IO密集型进程



进程调度的时机：何时调度?

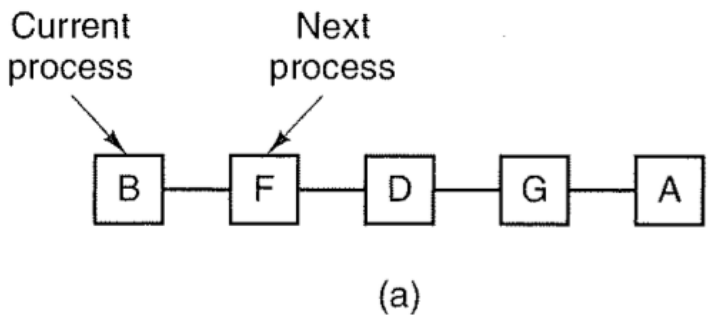
1. 新进程创建时，是继续运行父进程，还是运行新创建的子进程?
2. 当前进程退出时，CPU空闲，此时需从就绪态进程集合中选择一个运行
3. 当前进程阻塞时（I/O或者信号量引起）
4. 当发生I/O中断时，由此I/O信号导致阻塞的进程进入就绪态

抢占式调度与非抢占式调度

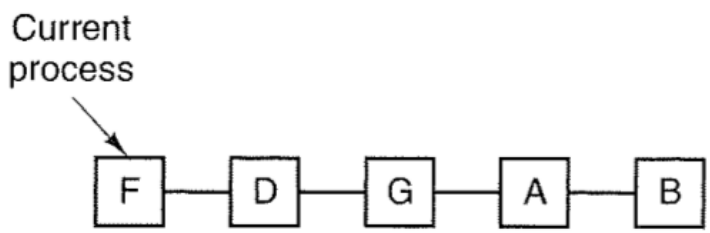
- 时钟硬件中断信号的频率大约为50～60Hz
- 在1个或者K个时钟中断信号处，强迫终止当前运行的进程。这类调度称为抢占式调度
- 非抢占式调度：进程一旦运行，则除非它阻塞或者自愿放弃CPU，不剥夺其CPU使用权。
- 抢占式调度用于分时系统；需要时钟硬件的支持

时间片轮转调度算法

- 最简单、最古老、最公平、广泛使用
- 时间片长度设置:
  - 时间片不能太短，否则进程切换开销比例太大
  - 时间片太长，则导致交互式使用时等待时间过久



(a)

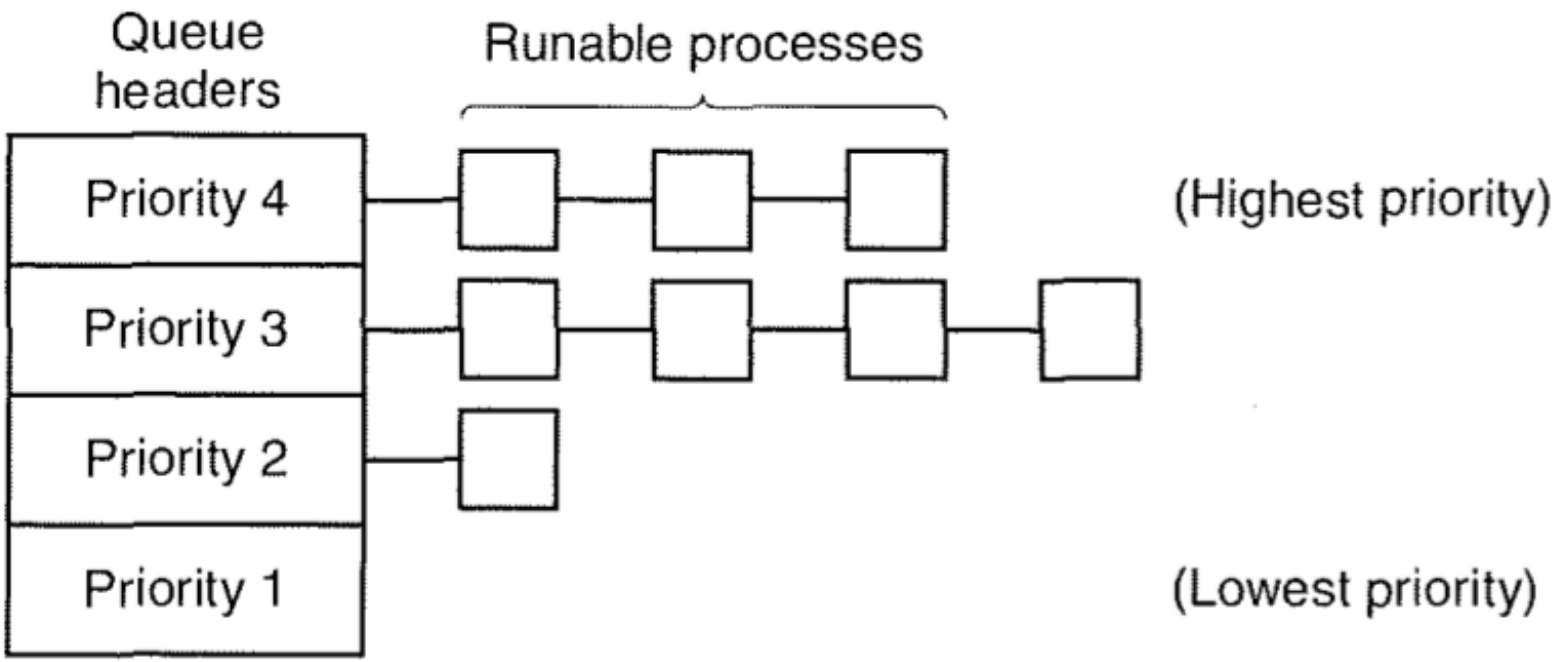


(b)

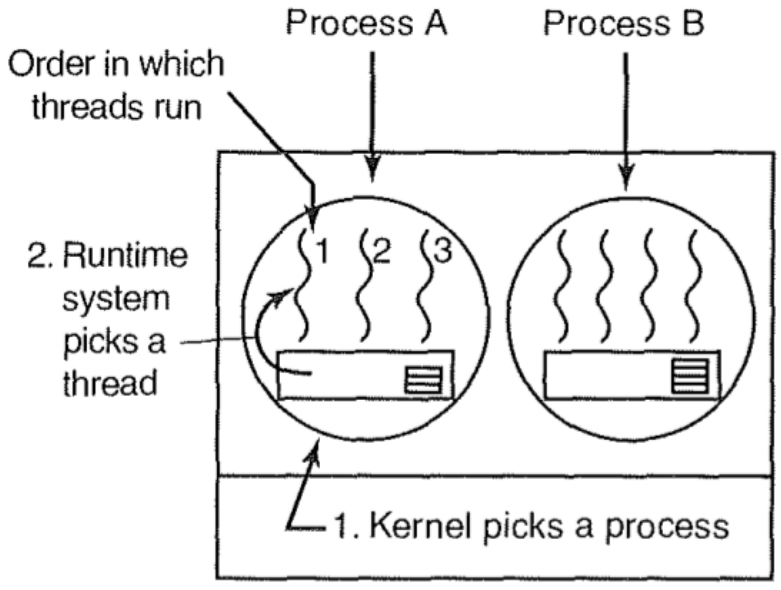
基于优先级的调度算法

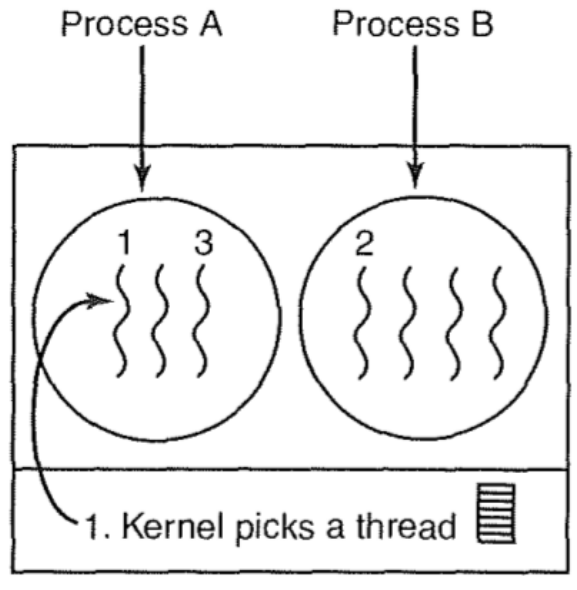
- 时间片轮转算法的假设：所有进程都同等重要
- 有时，有些进程比较重要（校长、院长、主任、教授、秘书、清洁工、学生）
- 优先级调度算法：从就绪进程集合中选择优先级最高的进程运行
- 关键数据结构：优先队列
- 为避免优先级高的进程独霸CPU，可以动态调整优先级
- 为照顾I/O密集型进程，优先级可以设置为1/f, 其中f为进程在上一时间片中实际占用CPU的时间比例

优先级调度与时间片轮转相结合的调度算法



线程调度


Process A
Process B
Order in which threads run
2. Runtime system picks a thread
1
2
3
1. Kernel picks a process
Possible: A1, A2, A3, A1, A2, A3
Not possible: A1, B1, A2, B2, A3, B3
(a)


Process A
Process B
1
3
2
1. Kernel picks a thread
Possible: A1, A2, A3, A1, A2, A3
Also possible: A1, B1, A2, B2, A3, B3
(b)