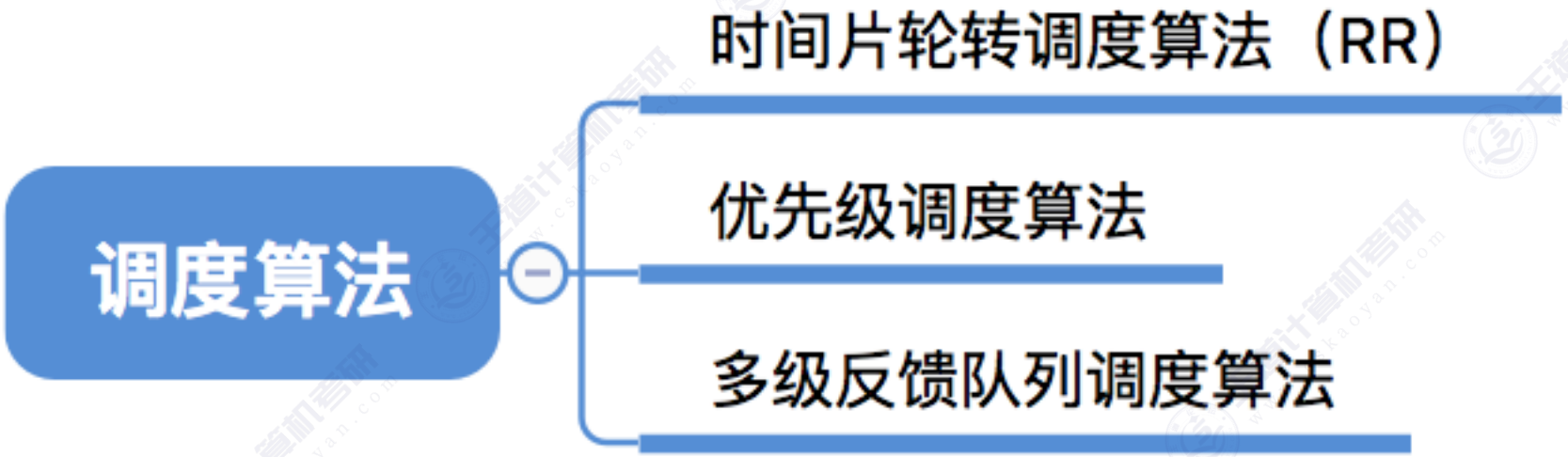
本节内容

调度算法

时间片轮转
优先级调度
多级反馈队列

知识总览



Tips：各种调度算法的学习思路

1. 算法思想
2. 算法规则
3. 这种调度算法是用于 作业调度 还是 进程调度？
4. 抢占式？非抢占式？
5. 优点和缺点
6. 是否会导致饥饿

某进程/作业长期得不到服务

时间片轮转（RR, Round-Robin）

时间片轮转

- 算法思想：公平地、轮流地为各个进程服务，让每个进程在一定时间间隔内都可以得到响应
- 算法规则：按照各进程到达就绪队列的顺序，轮流让各个进程执行一个时间片（如 100ms）。若进程未在一个时间片内执行完，则剥夺处理机，将进程重新放到就绪队列队尾重新排队。
- 用于作业/进程调度：用于进程调度（只有作业放入内存建立了相应的进程后，才能被分配处理机时间片）
- 是否可抢占？：若进程未能在时间片内运行完，将被强行剥夺处理机使用权，因此时间片轮转调度算法属于抢占式的算法。由时钟装置发出时钟中断来通知CPU时间片已到
- 优缺点
- 是否会导致饥饿

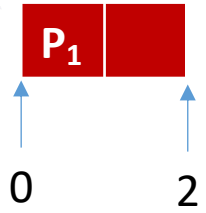
时间片轮转（RR, Round-Robin）

常用于分时操作系统，更注重“响应时间”，因而此处不计算周转时间

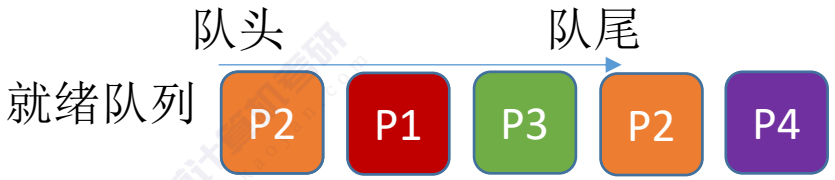
例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间如下表所示。使用时间片轮转调度算法，分析时间片大小分别是2、5时的进程运行情况。

进程	到达时间	运行时间
P1	0	5
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	6

时间片轮转调度算法：轮流让就绪队列中的进程依次执行一个时间片（每次选择的都是排在就绪队列队头的进程）



时间片大小为 2 （注：以下括号内表示当前时刻就绪队列中的进程、进程的剩余运行时间）



0时刻（P1(5)）:0时刻只有P1到达就绪队列，让P1上处理机运行一个时间片

2时刻（P2(4) → P1(3)）:2时刻P2到达就绪队列，P1运行完一个时间片，被剥夺处理机，重新放到队尾。此时P2排在队头，因此让P2上处理机。（注意： 2时刻，P1下处理机，同一时刻新进程P2到达，如果在题目中遇到这种情况，*默认*新到达的进程先进入就绪队列）

4时刻（P1(3) → P3(1) → P2(2)）:4时刻，P3到达，先插到就绪队尾，紧接着，P2下处理机也插到队尾

5时刻（P3(1) → P2(2) → P4(6)）:5时刻，P4到达插到就绪队尾（注意：由于P1的时间片还没用完，因此暂时不调度。另外，此时P1处于运行态，并不在就绪队列中）

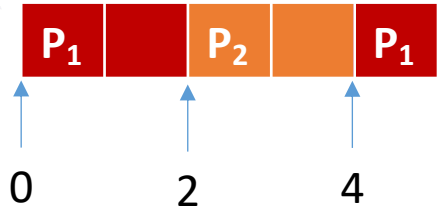
时间片轮转（RR, Round-Robin）

常用于分时操作系统，更注重“响应时间”，因而此处不计算周转时间

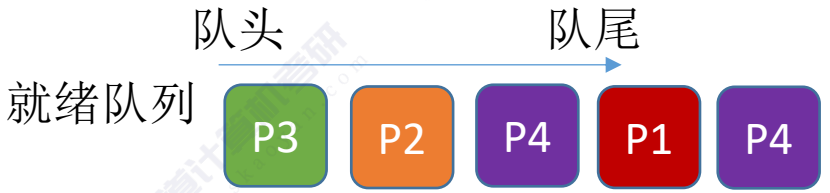
例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间如下表所示。使用时间片轮转调度算法，分析时间片大小分别是2、5时的进程运行情况。

进程	到达时间	运行时间
P1	0	5
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	6

时间片轮转调度算法：轮流让就绪队列中的进程依次执行一个时间片（每次选择的都是排在就绪队列队头的进程）



时间片大小为 2 （注：以下括号内表示当前时刻就绪队列中的进程、进程的剩余运行时间）



6时刻（P3(1) → P2(2) → P4(6) → P1(1)）：6时刻，P1时间片用完，下处理机，重新放回就绪队尾，发生调度

7时刻（P2(2) → P4(6) → P1(1)）：虽然P3的时间片没用完，但是由于P3只需运行1个单位的时间，运行完了会主动放弃处理机，因此也会发生调度。队头进程P2上处理机。

9时刻（P4(6) → P1(1)）：进程P2时间片用完，并刚好运行完，发生调度，P4上处理机

11时刻（P1(1) → P4(4) ）：P4时间片用完，重新回到就绪队列。P1上处理机

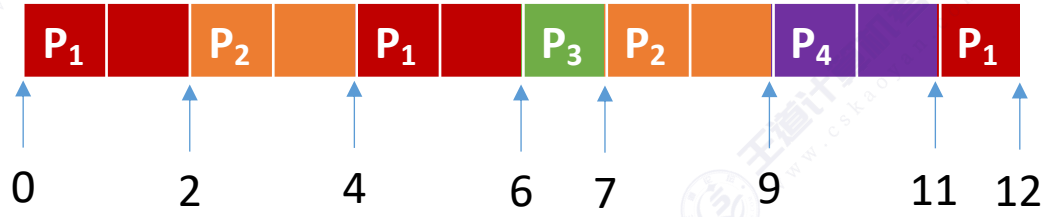
时间片轮转（RR, Round-Robin）

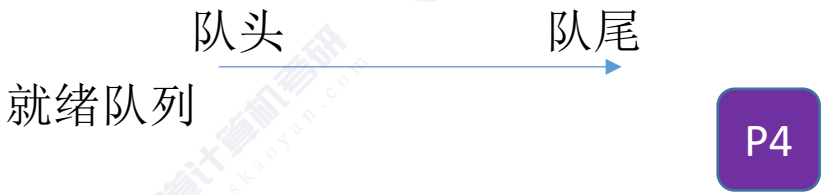
常用于分时操作系统，更注重“响应时间”，因而此处不计算周转时间

例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间如下表所示。使用时间片轮转调度算法，分析时间片大小分别是2、5时的进程运行情况。

进程	到达时间	运行时间
P1	0	5
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	6

时间片轮转调度算法：轮流让就绪队列中的进程依次执行一个时间片（每次选择的都是排在就绪队列队头的进程）





时间片大小为 2 （注：以下括号内表示当前时刻就绪队列中的进程、进程的剩余运行时间）

12时刻（P4(4) ）：P1运行完，主动放弃处理机，此时就绪队列中只剩P4，P4上处理机

14时刻（）：就绪队列为空，因此让P4接着运行一个时间片。

16时刻：所有进程运行结束

时间片轮转（RR, Round-Robin）

常用于分时操作系统，更注重“响应时间”，因而此处不计算周转时间

例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间如下表所示。使用时间片轮转调度算法，分析时间片大小分别是2、5时的进程运行情况。

进程	到达时间	运行时间
P1	0	5
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	6

时间片轮转调度算法：轮流让就绪队列中的进程依次执行一个时间片（每次选择的都是排在就绪队列队头的进程）

时间片大小为 5

0时刻（P1(5)）：只有P1到达，P1上处理机。
2时刻（P2(4)）：P2到达，但P1时间片尚未结束，因此暂不调度
4时刻（P2(4) → P3(1)）：P3到达，但P1时间片尚未结束，因此暂不调度
5时刻（P2(4) → P3(1) → P4(6)）：P4到达，同时，P1运行结束。发生调度，P2上处理机。
9时刻（P3(1) → P4(6)）：P2运行结束，虽然时间片没用完，但是会主动放弃处理机。发生调度。
10时刻（P4(6)）：P3运行结束，虽然时间片没用完，但是会主动放弃处理机。发生调度。
15时刻（）：P4时间片用完，但就绪队列为空，因此会让P4继续执行一个时间片。
16时刻（）：P4运行完，主动放弃处理机。所有进程运行完。

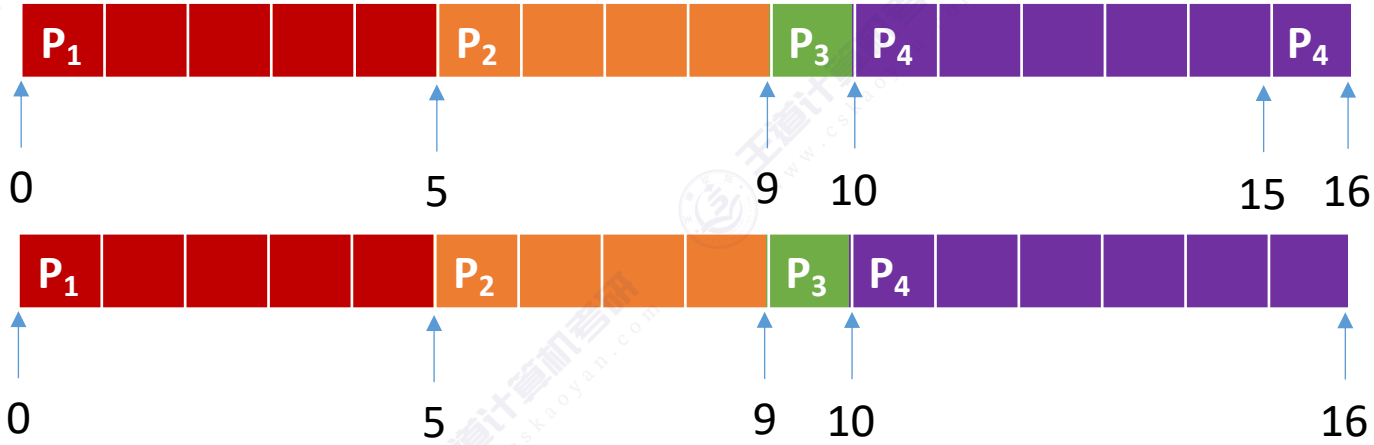
时间片轮转（RR, Round-Robin）

常用于分时操作系统，更注重“响应时间”，因而此处不计算周转时间

例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间如下表所示。使用时间片轮转调度算法，分析时间片大小分别是2、5时的进程运行情况。

进程	到达时间	运行时间
P1	0	5
P2	2	4
P3	4	1
P4	5	6

时间片轮转调度算法：轮流让就绪队列中的进程依次执行一个时间片（每次选择的都是排在就绪队列队头的进程）



若按照先来先服务调度算法...

一般来说，设计时间片时要让切换进程的开销占比不超过1%

如果时间片大小恰好等于进程都可以在一个时间片内就完成，则时间片轮转调度算法退化为先来先服务调度算法，会增大进程响应时间。因此时间片不能太大。

另一方面，进程调度、切换是有时间代价的（保存、恢复运行环境），因此如果时间片太小，会导致进程执行的时间比

比如：系统中有10个进程在并发执行，如果时间片为1秒，则一个进程被响应可能需要等9秒...也就是说，如果用户在自己进程的时间片外通过键盘发出调试命令，可能需要等待9秒才能被系统响应

时间片轮转（RR, Round-Robin）

优先级调度

算法思想	公平地、轮流地为各个进程服务，让每个进程在一定时间间隔内都可以得到响应
算法规则	按照各进程到达就绪队列的顺序，轮流让各个进程执行一个时间片（如 100ms）。若进程未在一个时间片内执行完，则剥夺处理机，将进程重新放到就绪队列队尾重新排队。
用于作业/进程调度	用于进程调度（只有作业放入内存建立了相应的进程后，才能被分配处理机时间片）
是否可抢占？	若进程未能在时间片内运行完，将被强行剥夺处理机使用权，因此时间片轮转调度算法属于抢占式的算法。由时钟装置发出时钟中断来通知CPU时间片已到
优缺点	优点：公平；响应快，适用于分时操作系统； 缺点：由于高频率的进程切换，因此有一定开销；不区分任务的紧急程度。
是否会导致饥饿	不会
补充	时间片太大或太小分别有什么影响？

优先级调度算法

优先级调度

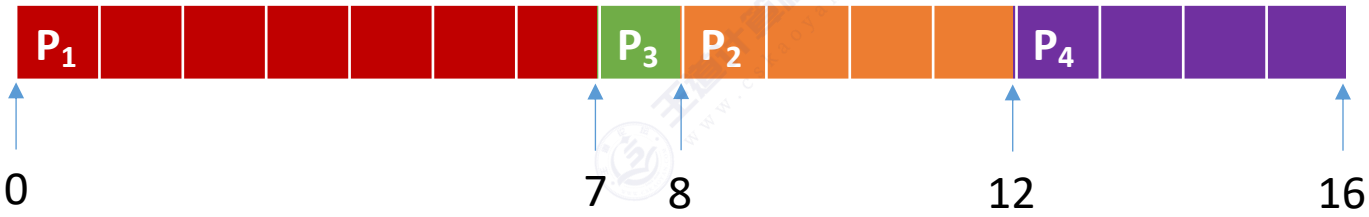
- 算法思想：随着计算机的发展，特别是实时操作系统的出现，越来越多的应用场景需要根据任务的紧急程度来决定处理顺序
- 算法规则：每个作业/进程有各自的优先级，调度时选择优先级最高的作业/进程
- 用于作业/进程调度：既可用于作业调度，也可用于进程调度。甚至，还会用于在之后会学习的I/O调度中
- 是否可抢占？：抢占式、非抢占式都有。做题时的区别在于：非抢占式只需在进程主动放弃处理机时进行调度即可，而抢占式还需在就绪队列变化时，检查是否会发生抢占。
- 优缺点
- 是否会导致饥饿

优先级调度算法

例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间、进程优先数如下表所示。使用非抢占式的优先级调度算法，分析进程运行情况。（注：优先数越大，优先级越高）

进程	到达时间	运行时间	优先数
P1	0	7	1
P2	2	4	2
P3	4	1	3
P4	5	4	2

非抢占式的优先级调度算法：每次调度时选择当前已到达且优先级最高的进程。当前进程主动放弃处理机时发生调度。



注：以下括号内表示当前处于就绪队列的进程

0时刻（P1）：只有P1到达，P1上处理机。

7时刻（P2、P3、P4）：P1运行完成主动放弃处理机，其余进程都已到达，P3优先级最高，P3上处理机。

8时刻（P2、P4）：P3完成，P2、P4优先级相同，由于P2先到达，因此P2优先上处理机

12时刻（P4）：P2完成，就绪队列只剩P4，P4上处理机。

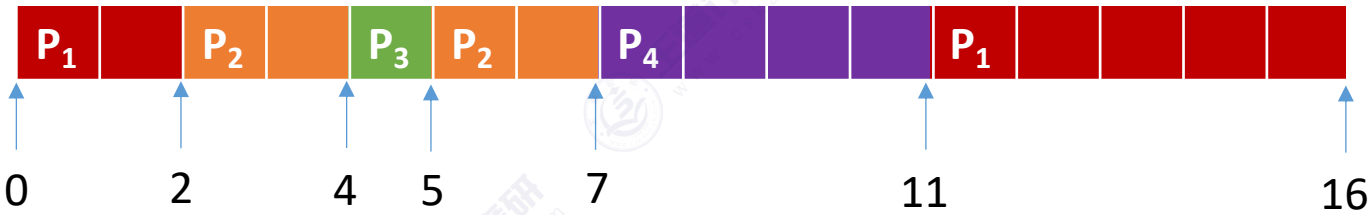
16时刻（ ）：P4完成，所有进程都结束

优先级调度算法

例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间、进程优先数如下表所示。使用抢占式的优先级调度算法，分析进程运行情况。（注：优先数越大，优先级越高）

进程	到达时间	运行时间	优先数
P1	0	7	1
P2	2	4	2
P3	4	1	3
P4	5	4	2

抢占式的优先级调度算法：每次调度时选择当前已到达且优先级最高的进程。当前进程主动放弃处理机时发生调度。另外，当就绪队列发生改变时也需要检查是会发生抢占。



注：以下括号内表示当前处于就绪队列的进程

0时刻（P1）：只有P1到达，P1上处理机。

2时刻（P2）：P2到达就绪队列，优先级比P1更高，发生抢占。P1回到就绪队列，P2上处理机。

4时刻（P1、P3）：P3到达，优先级比P2更高，P2回到就绪队列，P3抢占处理机。

5时刻（P1、P2、P4）：P3完成，主动释放处理机，同时，P4也到达，由于P2比P4更先进入就绪队列，因此选择P2上处理机

7时刻（P1、P4）：P2完成，就绪队列只剩P1、P4，P4上处理机。

11时刻（P1）：P4完成，P1上处理机

16时刻（）：P1完成，所有进程均完成

优先级调度算法

补充：
就绪队列未必只有一个，可以按照不同优先级来组织。另外，也可以把优先级高的进程排在更靠近队头的位置
根据优先级是否可以动态改变，可将优先级分为静态优先级和动态优先级两种。
静态优先级：创建进程时确定，之后一直不变。
动态优先级：创建进程时有一个初始值，之后会根据情况动态地调整优先级。

I/O设备和CPU可以*并行*工作。如果优先让I/O繁忙型进程优先运行的话，则越有可能让I/O设备尽早地投入工作，则资源利用率、系统吞吐量都会得到提升

如何合理地设置各类进程的优先级？

通常：　系统进程优先级 高于 用户进程
　　前台进程优先级 高于 后台进程
　　操作系统更偏好 I/O型进程（或称 I/O繁忙型进程）
注：与I/O型进程相对的是计算型进程（或称 CPU繁忙型进程）

如果采用的是动态优先级，什么时候应该调整？

可以从追求公平、提升资源利用率等角度考虑
如果某进程在就绪队列中等待了很长时间，则可以适当提升其优先级
如果某进程占用处理机运行了很长时间，则可适当降低其优先级
如果发现一个进程频繁地进行I/O操作，则可适当提升其优先级

优先级调度算法

优先级调度

算法思想	随着计算机的发展，特别是实时操作系统的出现，越来越多的应用场景需要根据任务的紧急程度来决定处理顺序
算法规则	调度时选择优先级最高的作业/进程
用于作业/进程调度	既可用于作业调度，也可用于进程调度。甚至，还会用于在之后会学习的I/O调度中
是否可抢占？	抢占式、非抢占式都有。做题时的区别在于：非抢占式只需在进程主动放弃处理机时进行调度即可，而抢占式还需在就绪队列变化时，检查是否会发生抢占。
优缺点	优点：用优先级区分紧急程度、重要程度，适用于实时操作系统。可灵活地调整对各种作业/进程的偏好程度。 缺点：若源源不断地有高优先级进程到来，则可能导致饥饿
是否会导致饥饿	会

思考...

FCFS算法的优点是公平

SJF 算法的优点是能尽快处理完短作业，平均等待/周转时间等参数很优秀

时间片轮转调度算法可以让各个进程得到及时的响应

优先级调度算法可以灵活地调整各种进程被服务的机会

能否对其他算法做个折中权衡？得到一个综合表现优秀平衡的算法呢？

多级反馈队列调度算法

多级反馈队列调度算法

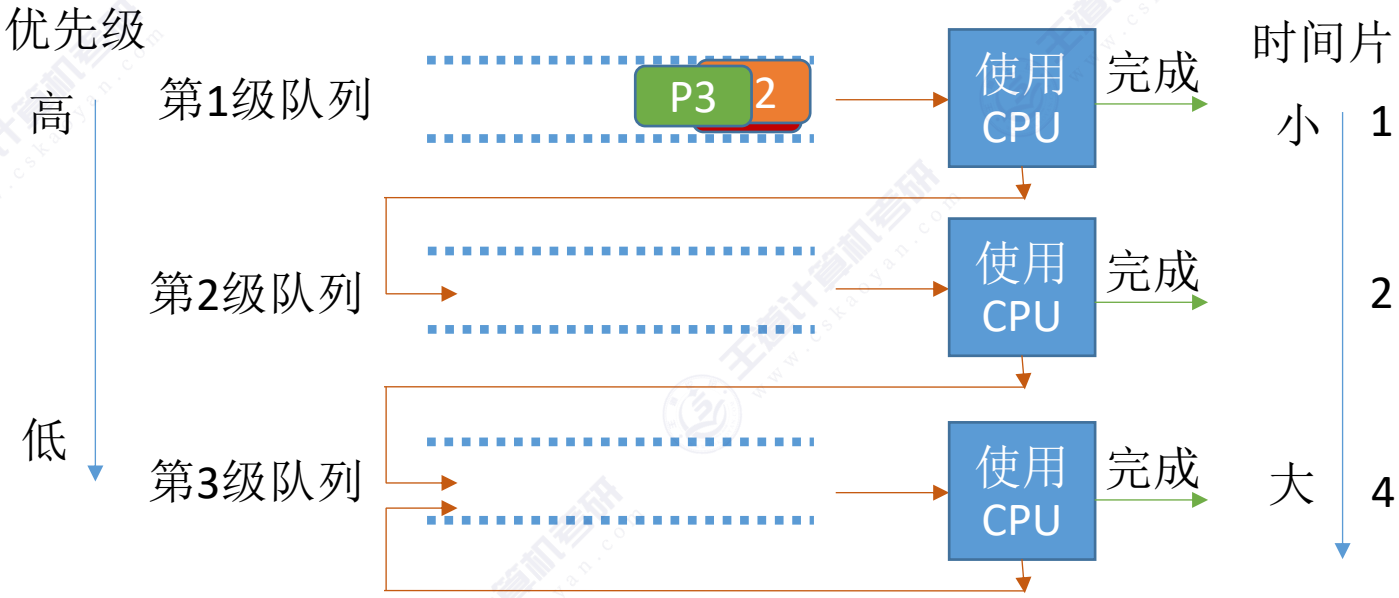
多级反馈队列

- 算法思想：对其他调度算法的折中权衡
- 算法规则：
  1. 设置多级就绪队列，各级队列优先级从高到低，时间片从小到大
  2. 新进程到达时先进入第1级队列，按FCFS原则排队等待被分配时间片，若用完时间片进程还未结束，则进程进入下一级队列队尾。如果此时已经是在最下级的队列，则重新放回该队列队尾
  3. 只有第 k 级队列为空时，才会为 k+1 级队头的进程分配时间片
- 用于作业/进程调度：用于进程调度
- 是否可抢占？：抢占式的算法。在 k 级队列的进程运行过程中，若更上级的队列（1~k-1级）中进入了一个新进程，则由于新进程处于优先级更高的队列中，因此新进程会抢占处理机，原来运行的进程放回 k 级队列队尾。
- 优缺点
- 是否会导致饥饿

多级反馈队列调度算法

例题：各进程到达就绪队列的时间、需要的运行时间如下表所示。使用多级反馈队列调度算法，分析进程运行的过程。

进程	到达时间	运行时间
P1	0	8
P2	1	4
P3	5	1



P1(1) —> P2(1) —> P1(2)

—> P2(1) —> P3(1) —> P2(2)

—> P1(4) —> P1(1)

设置多级就绪队列，各级队列优先级从高到低，时间片从小到大

新进程到达时先进入第1级队列，按FCFS原则排队等待被分配时间片。若用完时间片进程还未结束，则进程进入下一级队列队尾。如果此时已经在最下级的队列，则重新放回最下级队列队尾

只有第 k 级队列为空时，才会为 k+1 级队头的进程分配时间片

被抢占处理机的进程重新放回原队列队尾

多级反馈队列调度算法

多级反馈队列

算法思想	对其他调度算法的折中权衡
算法规则	1. 设置多级就绪队列，各级队列优先级从高到低，时间片从小到大 2. 新进程到达时先进入第1级队列，按FCFS原则排队等待被分配时间片，若用完时间片进程还未结束，则进程进入下一级队列队尾。如果此时已经是在最下级的队列，则重新放回该队列队尾 3. 只有第 k 级队列为空时，才会为 k+1 级队头的进程分配时间片
用于作业/进程调度	用于进程调度
是否可抢占？	抢占式的算法。在 k 级队列的进程运行过程中，若更上级的队列（1~k-1级）中进入了一个新进程，则由于新进程处于优先级更高的队列中，因此新进程会抢占处理机，原来运行的进程放回 k 级队列队尾。
优缺点	对各类型进程相对公平（FCFS的优点）；每个新到达的进程都可以很快就得到响应（RR的优点）；短进程只用较少的时间就可完成（SPF的优点）；不必实现估计进程的运行时间（避免用户作假）；可灵活地调整对各类进程的偏好程度，比如CPU密集型进程、I/O密集型进程（拓展：可以将因I/O而阻塞的进程重新放回原队列，这样I/O型进程就可以保持较高优先级）
是否会导致饥饿	会

知识回顾与重要考点

算法	思想&规则	可抢占？	优点	缺点	会导致饥饿？	补充
时间片轮转		抢占式	公平，适用于分时系统	频繁切换有开销，不区分优先级	不会	时间片太大或太小有何影响？
优先级调度		有抢占式的，也有非抢占式的。注意做题时的区别	区分优先级，适用于实时系统	可能导致饥饿	会	动态/静态优先级。 各类型进程如何设置优先级？如何调整优先级？
多级反馈队列	较复杂，注意理解	抢占式	平衡优秀666	一般不说它有缺点，不过可能导致饥饿	会	

注：比起早期的批处理操作系统来说，由于计算机造价大幅降低，因此之后出现的交互式操作系统（包括分时操作系统、实时操作系统等）更注重系统的响应时间、公平性、平衡性等指标。而这几种算法恰好也能较好地满足交互式系统的需求。因此这三种算法适合用于交互式系统。（比如UNIX使用的就是多级反馈队列调度算法）

提示：一定要动手做课后习题！

公众号：王道在线

b站：王道计算机教育

抖音：王道计算机考研