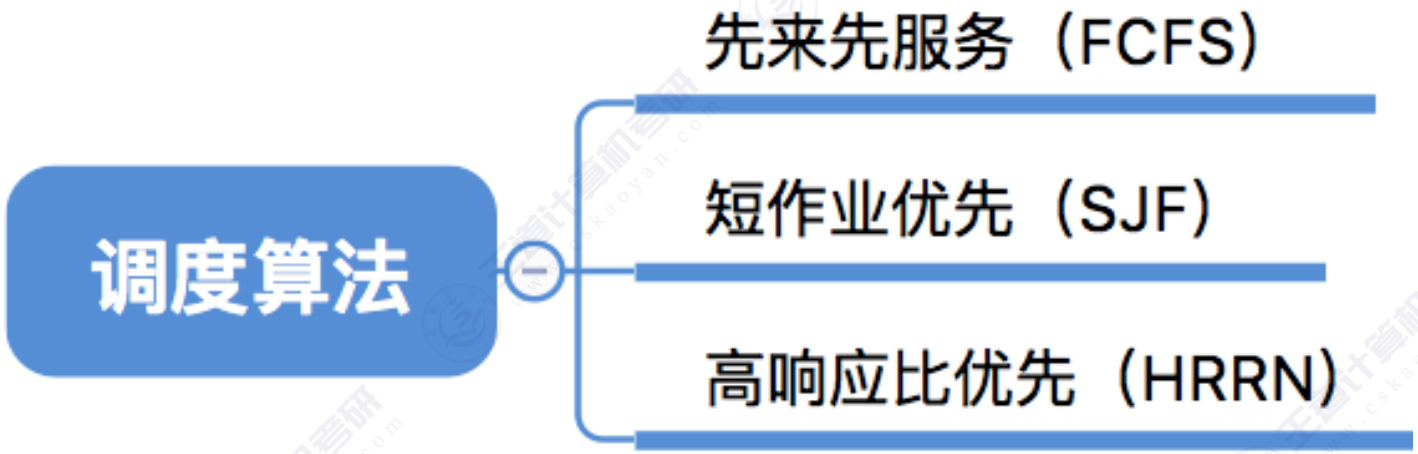
本节内容

调度算法

先来先服务
最短作业优先
最高响应比优先

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

先来先服务（FCFS, First Come First Serve）

FCFS

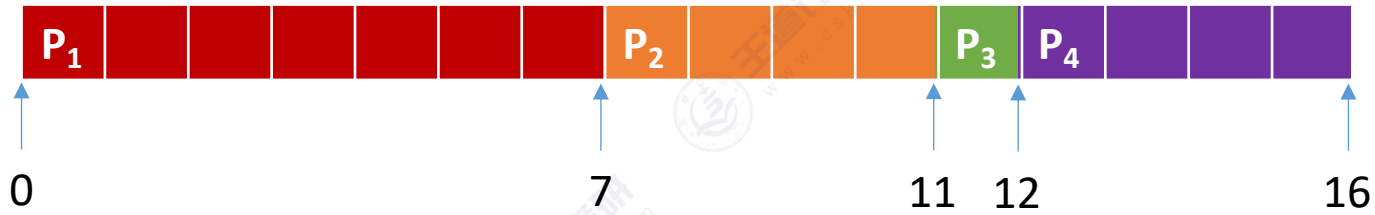
算法思想	主要从“公平”的角度考虑（类似于我们生活中排队买东西的例子）
算法规则	按照作业/进程到达的先后顺序进行服务
用于作业/进程调度	用于作业调度时，考虑的是哪个作业先到达后备队列；用于进程调度时，考虑的是哪个进程先到达就绪队列
是否可抢占？	非抢占式的算法
优缺点	
是否会导致饥饿	

先来先服务（FCFS, First Come First Serve）

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。使用先来先服务调度算法，计算各进程的等待时间、平均等待时间、周转时间、平均周转时间、带权周转时间、平均带权周转时间。

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

先来先服务调度算法：按照到达的先后顺序调度，事实上就是等待时间越久的越优先得到服务。
因此，调度顺序为：P1 → P2 → P3 → P4



周转时间 = 完成时间 - 到达时间　　P1=7-0=7；P2=11-2=9；P3=12-4=8；P4=16-5=11

带权周转时间 = 周转时间/运行时间　　P1=7/7=1；P2=9/4=2.25；P3=8/1=8；P4=11/4=2.75

等待时间 = 周转时间 – 运行时间　　P1=7-7=0；P2=9-4=5；P3=8-1=7；P4=11-4=7

平均周转时间 = (7+9+8+11)/4 = 8.75
平均带权周转时间 = (1+2.25+8+2.75)/4 = 3.5
平均等待时间 = (0+5+7+7)/4 = 4.75

注意：本例中的进程都是纯计算型的进程，一个进程到达后要么在等待，要么在运行。如果是又有计算、又有I/O操作的进程，其等待时间就是周转时间 - 运行时间 - I/O操作的时间

先来先服务（FCFS, First Come First Serve）

FCFS

算法思想	主要从“公平”的角度考虑（类似于我们生活中排队买东西的例子）
算法规则	按照作业/进程到达的先后顺序进行服务
用于作业/进程调度	用于作业调度时，考虑的是哪个作业先到达后备队列；用于进程调度时，考虑的是哪个进程先到达就绪队列
是否可抢占？	非抢占式的算法
优缺点	优点：公平、算法实现简单 缺点：排在长作业（进程）后面的短作业需要等待很长时间，带权周转时间很大，对短作业来说用户体验不好。即，FCFS算法对长作业有利，对短作业不利（Eg：排队买奶茶...）
是否会导致饥饿	不会

某进程/作业长期得不到服务

短作业优先（SJF, Shortest Job First）

SJF

- 算法思想：追求最少的平均等待时间，最少的平均周转时间、最少的平均平均带权周转时间
- 算法规则：最短的作业/进程优先得到服务（所谓“最短”，是指要求服务时间最短）
- 用于作业/进程调度：即可用于作业调度，也可用于进程调度。用于进程调度时称为“短进程优先（SPF, Shortest Process First）算法”
- 是否可抢占？：SJF和SPF是非抢占式的算法。但是也有抢占式的版本——最短剩余时间优先算法（SRTN, Shortest Remaining Time Next）
- 优缺点
- 是否会导致饥饿

短作业优先（SJF, Shortest Job First）

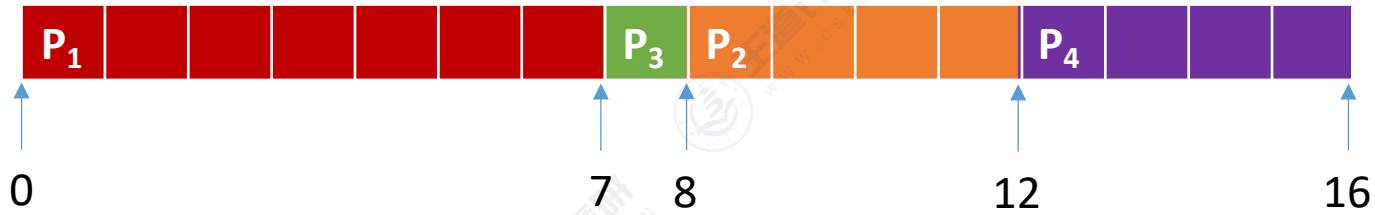
严格来说，用于进程调度应该称为*短进程优先调度算法（SPF）*

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。使用非抢占式的短作业优先调度算法，计算各进程的等待时间、平均等待时间、周转时间、平均周转时间、带权周转时间、平均带权周转时间。

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

短作业/进程优先调度算法：每次调度时选择当前已到达且运行时间最短的作业/进程。

因此，调度顺序为：P1 → P3 → P2 → P4



周转时间 = 完成时间 - 到达时间　　P1=7-0=7；P3=8-4=4；P2=12-2=10；P4=16-5=11

带权周转时间 = 周转时间/运行时间　　P1=7/7=1；P3=4/1=4；P2=10/4=2.5；P4=11/4=2.75

等待时间 = 周转时间 – 运行时间　　P1=7-7=0；P3=4-1=3；P2=10-4=6；P4=11-4=7

平均周转时间 = (7+4+10+11)/4 = 8
平均带权周转时间 = (1+4+2.5+2.75)/4 = 2.56
平均等待时间 = (0+3+6+7)/4 = 4

8.75
3.5
4.75

对比FCFS算法的结果，显然SPF算法的平均等待/周转/带权周转时间都要更低

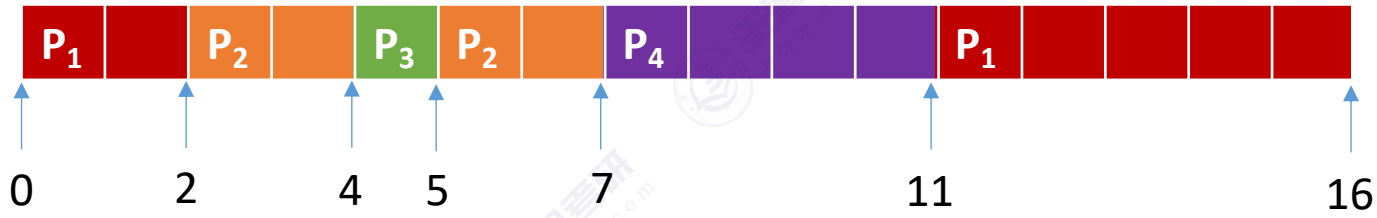
短作业优先（SJF, Shortest Job First）

抢占式的短作业优先算法又称“最短剩余时间优先算法（SRTN）”

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。使用抢占式的短作业优先调度算法，计算各进程的等待时间、平均等待时间、周转时间、平均周转时间、带权周转时间、平均带权周转时间。

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

最短剩余时间优先算法：每当有进程加入就绪队列改变时就需要调度，如果新到达的进程剩余时间比当前运行的进程剩余时间更短，则由新进程抢占处理机，当前运行进程重新回到就绪队列。另外，当一个进程完成时也需要调度



需要注意的是，当有新进程到达时就绪队列就会改变，就要按照上述规则进行检查。以下 P_n（m）表示当前 P_n 进程剩余时间为 m。各个时刻的情况如下：

0时刻（P1到达）：P_1（7）

2时刻（P2到达）：P_1（5）、P_2（4）

4时刻（P3到达）：P_1（5）、P_2（2）、P_3（1）

5时刻（P3完成且P4刚好到达）：P_1（5）、P_2（2）、P_4（4）

7时刻（P2完成）：P_1（5）、P_4（4）

11时刻（P4完成）：P_1（5）

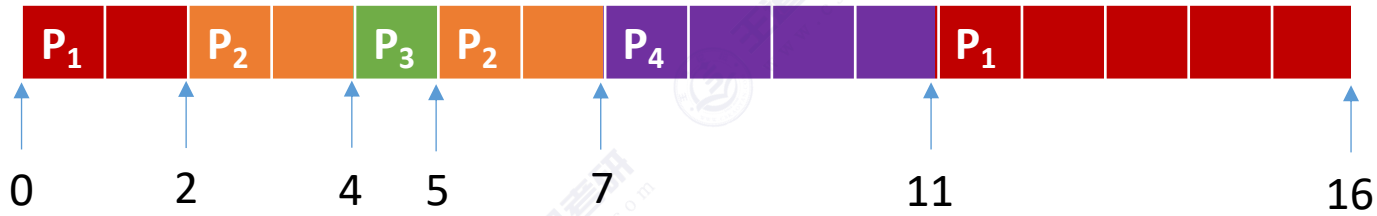
短作业优先（SJF, Shortest Job First）

抢占式的短作业优先算法又称“最短剩余时间优先算法（SRTN）”

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。使用抢占式的短作业优先调度算法，计算各进程的等待时间、平均等待时间、周转时间、平均周转时间、带权周转时间、平均带权周转时间。

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

最短剩余时间优先算法：每当有进程加入就绪队列改变时就需要调度，如果新到达的进程剩余时间比当前运行的进程剩余时间更短，则由新进程抢占处理机，当前运行进程重新回到就绪队列。另外，当一个进程完成时也需要调度



周转时间 = 完成时间 - 到达时间　　P1=16-0=16；P2=7-2=5；P3=5-4=1；P4=11-5=6

带权周转时间 = 周转时间/运行时间　　P1=16/7=2.28；P2=5/4=1.25；P3=1/1=1；P4=6/4=1.5

等待时间 = 周转时间 – 运行时间　　P1=16-7=9；P2=5-4=1；P3=1-1=0；P4=6-4=2

平均周转时间 = (16+5+1+6)/4 = 7
平均带权周转时间 = (2.28+1.25+1+1.5)/4 = 1.50
平均等待时间 = (9+1+0+2)/4 = 3

8
2.56
4

对比非抢占式的短作业优先算法，显然抢占式的这几个指标又要更低

短作业优先（SJF, Shortest Job First）

注意几个小细节：

1. 如果题目中未特别说明，所提到的“短作业/进程优先算法”默认是非抢占式的

2. 很多书上都会说“SJF 调度算法的平均等待时间、平均周转时间最少”
严格来说，这个表述是错误的，不严谨的。之前的例子表明，最短剩余时间优先算法得到的平均等待时间、平均周转时间还要更少
应该加上一个条件“在所有进程同时可运行时，采用SJF调度算法的平均等待时间、平均周转时间最少”；
或者说“在所有进程都几乎同时到达时，采用SJF调度算法的平均等待时间、平均周转时间最少”；

如果不加上述前提条件，则应该说“抢占式的短作业/进程优先调度算法（最短剩余时间优先, SRNT算法）的平均等待时间、平均周转时间最少”

3. 虽然严格来说，SJF的平均等待时间、平均周转时间并不一定最少，但相比于其他算法（如 FCFS），SJF依然可以获得较少的平均等待时间、平均周转时间

4. 如果选择题中遇到“SJF 算法的平均等待时间、平均周转时间最少”的选项，那最好判断其他选项是不是有很明显的错误，如果没有更合适的选项，那也应该选择该选项

短作业优先（SJF, Shortest Job First）

SJF

算法思想	追求最少的平均等待时间，最少的平均周转时间、最少的平均平均带权周转时间
算法规则	最短的作业/进程优先得到服务（所谓“最短”，是指要求服务时间最短）
用于作业/进程调度	即可用于作业调度，也可用于进程调度。用于进程调度时称为“短进程优先（SPF, Shortest Process First）算法”
是否可抢占？	SJF和SPF是非抢占式的算法。但是也有抢占式的版本——最短剩余时间优先算法（SRTN, Shortest Remaining Time Next）
优缺点	优点：“最短的”平均等待时间、平均周转时间 缺点：不公平。对短作业有利，对长作业不利。可能产生饥饿现象。另外，作业/进程的运行时间是由用户提供的，并不一定真实，不一定能做到真正的短作业优先
是否会导致饥饿	会。如果源源不断地有短作业/进程到来，可能使长作业/进程长时间得不到服务，产生“饥饿”现象。如果一直得不到服务，则称为“饿死”

对FCFS和SJF两种算法的思考...

FCFS 算法是在每次调度的时候选择一个等待时间最长的作业（进程）为其服务。但是没有考虑到作业的运行时间，因此导致了对短作业不友好的问题

SJF 算法是选择一个执行时间最短的作业为其服务。但是又完全不考虑各个作业的等待时间，因此导致了对长作业不友好的问题，甚至还会造成饥饿问题

能不能设计一个算法，即考虑到各个作业的等待时间，也能兼顾运行时间呢？

高响应比优先算法

高响应比优先（HRRN, Highest Response Ratio Next）

HRRN

- 算法思想：要综合考虑作业/进程的等待时间和要求服务的时间
- 算法规则：在每次调度时先计算各个作业/进程的响应比，选择响应比最高的作业/进程为其服务

$$响应比 = \frac{等待时间+要求服务时间}{要求服务时间}$$

响应比 ≥ 1

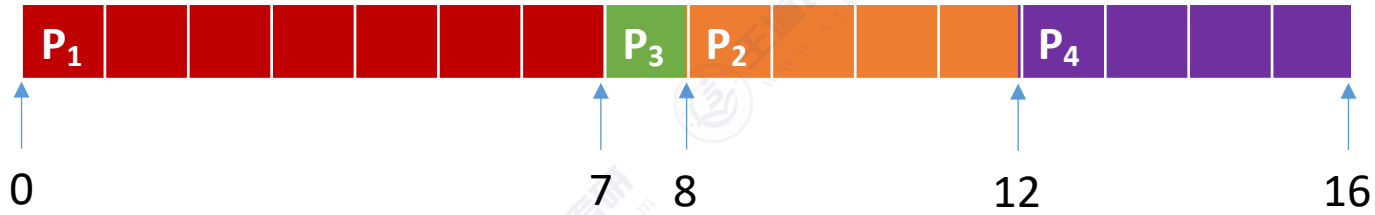
- 用于作业/进程调度：即可用于作业调度，也可用于进程调度
- 是否可抢占？非抢占式的算法。因此只有当前运行的作业/进程主动放弃处理机时，才需要调度，才需要计算响应比
- 优缺点
- 是否会导致饥饿

高响应比优先（HRRN）

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。使用高响应比优先调度算法，计算各进程的等待时间、平均等待时间、周转时间、平均周转时间、带权周转时间、平均带权周转时间。

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

高响应比优先算法：非抢占式的调度算法，只有当前运行的进程主动放弃CPU时（正常/异常完成，或主动阻塞），才需要进行调度，调度时计算所有就绪进程的响应比，选响应比最高的进程上处理机。



$$响应比 = \frac{等待时间+要求服务时间}{要求服务时间}$$

P2和P4要求服务时间一样，但P2等待时间长，所以必然是P2响应比更大

0时刻：只有 P_1 到达就绪队列，P_1上处理机

7时刻（P1主动放弃CPU）： 就绪队列中有 P_2(响应比=(5+4)/4=2.25)、 P_3((3+1)/1=4)、 P_4((2+4)/4=1.5)，

8时刻（P3完成）： P_2(2.5)、 P_4(1.75)

12时刻（P2完成）： 就绪队列中只剩下 P_4

高响应比优先（HRRN, Highest Response Ratio Next）

HRRN

- **算法思想**：要综合考虑作业/进程的等待时间和要求服务的时间
- **算法规则**：在每次调度时先计算各个作业/进程的响应比，选择响应比最高的作业/进程为其服务

$$\text{响应比} = \frac{\text{等待时间+要求服务时间}}{\text{要求服务时间}}$$

响应比 ≥ 1

- **用于作业/进程调度**：即可用于作业调度，也可用于进程调度
- **是否可抢占？**：非抢占式的算法。因此只有当前运行的作业/进程主动放弃处理机时，才需要调度，才需要计算响应比
- **优缺点**：
  综合考虑了等待时间和运行时间（要求服务时间）
  等待时间相同时，要求服务时间短的优先（SJF 的优点）
  要求服务时间相同时，等待时间长的优先（FCFS 的优点）
  对于长作业来说，随着等待时间越来越久，其响应比也会越来越大，从而避免了长作业饥饿的问题
- **是否会导致饥饿**：不会

知识回顾与重要考点

算法	思想&规则	可抢占？	优点	缺点	考虑到等待时间&运行时间？	会导致饥饿？
FCFS	自己回忆	非抢占式	公平；实现简单	对短作业不利	等待时间√ 运行时间×	不会
SJF/SPF	自己回忆	默认为非抢占式，也有SJF的抢占式版本最短剩余时间优先算法（SRTN）	“最短的”平均等待/周转时间；	对长作业不利，可能导致饥饿；难以做到真正的短作业优先	等待时间× 运行时间√	会
HRRN	自己回忆	非抢占式	上述两种算法的权衡折中，综合考虑的等待时间和运行时间		等待时间√ 运行时间√	不会

注：这几种算法主要关心对用户的公平性、平均周转时间、平均等待时间等评价系统整体性能的指标，但是不关心“响应时间”，也并不区分任务的紧急程度，因此对于用户来说，交互性很糟糕。因此这三种算法一般适合用于早期的批处理系统，当然，FCFS算法也常结合其他的算法使用，在现在也扮演着很重要的角色。而适合用于交互式系统的调度算法将在下个小节介绍...

提示：一定要动手做课后习题！这些算法特性容易考小题，算法的使用常结合调度算法的评价指标在大题中考察。

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