

## 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

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 知识总览

## 调度算法

先来先服务 (FCFS)

短作业优先 (SJF)

高响应比优先 (HRRN)

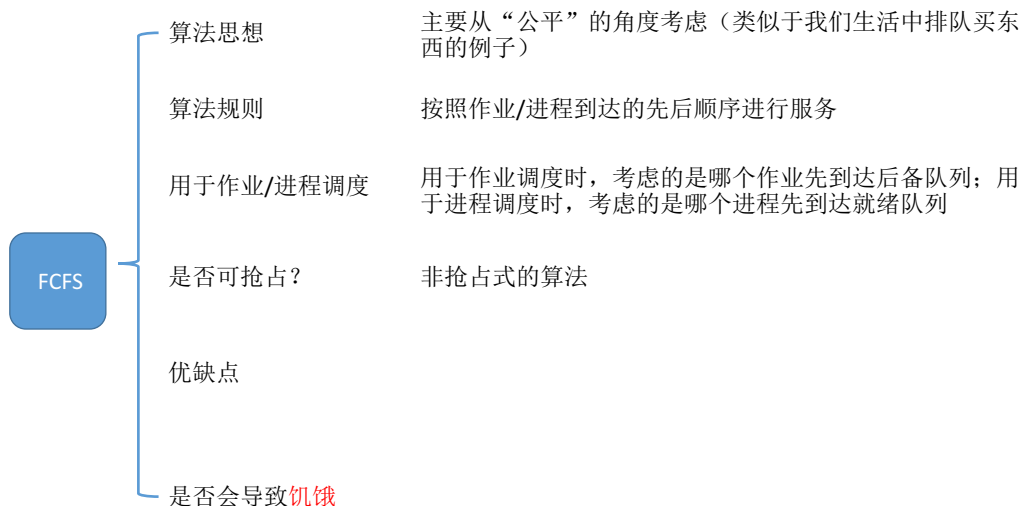
Tips: 各种调度算法的学习思路

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

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 先来先服务 (FCFS, First Come First Serve)



王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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 <b>对长作业有利，对短作业不利</b> （Eg：排队买奶茶...）
	某进程/作业长期得不到服务	
	是否会导致饥饿	不会

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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 <b>非抢占式</b> 的算法。但是 <b>也有抢占式的版本——最短剩余时间优先算法（SRTN, Shortest Remaining Time Next）</b>
	优缺点	
	是否会导致饥饿	

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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

王道考研/CSKAOYAN.COM

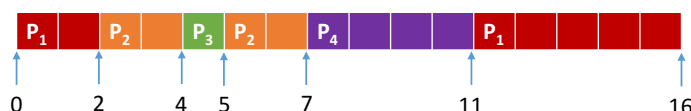
## 短作业优先 (SJF, Shortest Job First)

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)：P1 (7)

2时刻 (P2到达)：P1 (5)、P2 (4)

4时刻 (P3到达)：P1 (5)、P2 (2)、P3 (1)

5时刻 (P3完成且P4刚好到达)：P1 (5)、P2 (2)、P4 (4)

7时刻 (P2完成)：P1 (5)、P4 (4)

11时刻 (P4完成)：P1 (5)

王道考研/CSKAOYAN.COM

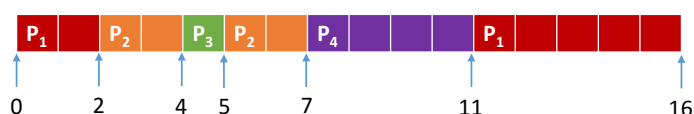
## 短作业优先 (SJF, Shortest Job First)

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

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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**, **SRTN**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

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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 <b>非抢占式</b> 的算法。但是 <b>也有抢占式的版本——最短剩余时间优先算法 (SRTN, Shortest Remaining Time Next)</b>
	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。 <b>对短作业有利, 对长作业不利</b> 。可能产生 <b>饥饿现象</b> 。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“ <b>饥饿</b> ”现象。如果一直得不到服务, 则称为“ <b>饿死</b> ”

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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

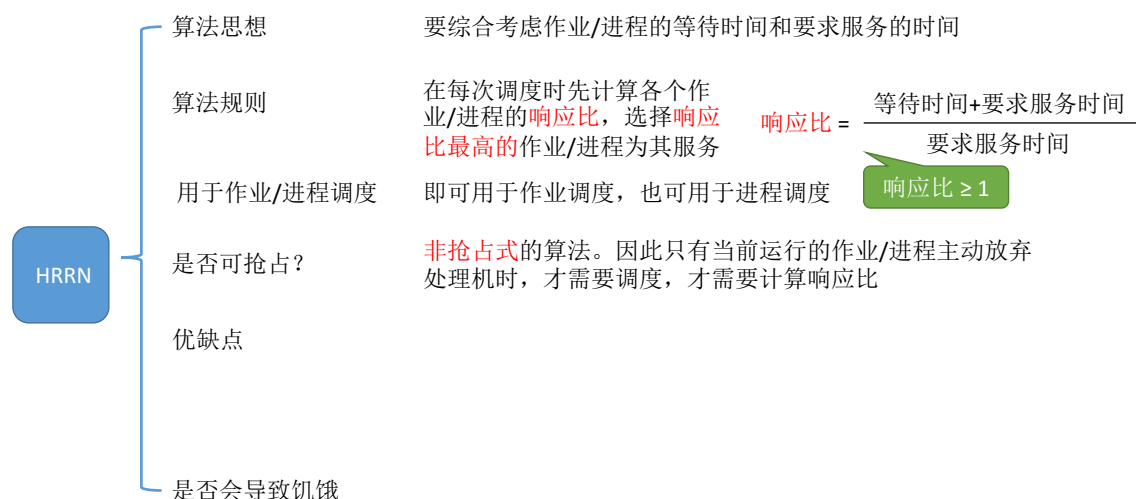
能不能设计一个算法, 即考虑到各个作业的等待时间, 也能兼顾运行时间呢?



高响应比优先算法

王道考研/CSKAOYAN.COM

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



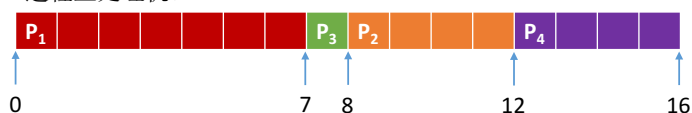
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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。



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

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<sub>1</sub> 到达就绪队列，P<sub>1</sub> 上处理机

7时刻（P<sub>1</sub>主动放弃CPU）：就绪队列中有 P<sub>2</sub>（响应比=(5+4)/4=2.25）、P<sub>3</sub>（(3+1)/1=4）、P<sub>4</sub>（(2+4)/4=1.5），

8时刻（P<sub>3</sub>完成）：P<sub>2</sub>(2.5)、P<sub>4</sub>(1.75)

12时刻（P<sub>2</sub>完成）：就绪队列中只剩下 P<sub>4</sub>

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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 <b>响应比</b> ，选择 <b>响应比最高的</b> 作业/进程为其服务
	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

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 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/S PF	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×	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。

王道考研/CSKAOYAN.COM