用 PV 操作实现进程互斥与同步

王玉巧

(浙江科技学院信息学院，浙江 杭州 310023)

摘 要：介绍了操作系统中进程互斥与同步的基本概念，给出了用 PV 操作实现进程互斥与同步的基本方法，并对软件设计师考试中出现的相关试题进行了解析。

关键词：进程；互斥；同步；信号量；PV 操作

1 引言

操作系统的基本特征是并发(Concurrent)和共享(Sharing)。进程(Process)是指正在运行的程序。在单处理机环境中，并发进程从宏观上看是并行的(同时执行)，即都已调入内存运行；而从微观上看仍是串行的(交叉执行)，即任何时刻占用处理机的只能是一个进程。并发进程的互斥与同步作为操作系统中的重要内容，经常出现在软件设计师的试题中。

2 互斥与同步

互斥(Mutual Exclusion)是指一组并发进程中的一个或多个程序段，因共享某一公有资源而导致它们必须以一个不允许交叉执行的单位执行。互斥关系亦称间接制约关系是由并发进程竞争使用公有资源所产生的制约关系。一个不允许并发进程交叉执行的程序段称为临界区(critical region)，互斥临界区的管理要求是：有空则进；无空则等；两者择一；有限等待。

同步(Synchronization)是指一组并发进程因需要协调它们的工作而相互等待、相互交换信息，使得各进程按一定的速度执行的过程。同步关系亦称直接制约关系是由并发进程互相共享对方的私有资源所引起的制约关系。

3 信号量与 PV 操作

信号量与 PV 操作是荷兰计算机科学家 E.W.Dijkstra 提出来的。信号量(Semaphore)其实就是用来代表资源的整型变量，对信号量的操作只有 3 种：赋初值，P 操作和 V 操作。P 操作用来申请资源，若申请不到资源，进程就变为等待状态，因而 P 操作又称为等待(Wait)操作；V 操作用来释放资源，同时唤醒等待该资源的进程，因而 V 操作又称为唤醒(Signal)操作。此外，由于申请一个资源就少一个资源；释放一个资源就多一个资源，PV 操作又分别被称为减 1(Down)操作和加 1(Up)操作。

P 操作(Wait)和 V 操作(Signal)可用 C 语言描述如下：

```
typedef int semaphore;
wait(semaphore s)
{ while (s <= 0);
  s--;
}
signal(semaphore s)
{ s++;
}
```

用 PV 操作实现进程的互斥与同步时，互斥使用的信号量代表公有资源称为公有信号量；同步使用的信号量代表私有资源称为私有信号量。

4 生产者 - 消费者问题

生产者 - 消费者问题(The Producer-Consumer Problem)是一个用 PV 操作实现互斥与同步的经典问题。该问题描述为生产者将生产的产品放入容器(Buffer)，消费者从容器中取出产品消费。显然，容器中有空间生产者才能放产品；容器中有产品消费者才能取产品。下面分 4 种类型分析用 PV 操作解决生产者 - 消费者问题时的信号量设置。

类型 1：1 个生产者进程；1 个消费者进程；Buffer=1(容器中只能放 1 个产品)。

在这种情形下，只需要设置 2 个信号量 Empty (生产者私有)和 full(消费者私有)来实现生产者与消费者之间的同步。由于容器中只能放 1 个产品，该同步已包含了生产者与消费者之间放和取的互斥，即不可同时放和取。

类型 2：1 个生产者进程；1 个消费者进程；Buffer=n(容器中能放 n 个产品)。

在这种情形下，假定 Buffer 的数据结构采用具有头指针和尾指针的队列，生产者放产品和消费者取产品分别执行入队和出队操作。如果允许生产者和消费者可同时放和取，当然这是从宏观上看，从微观上看即放和取的过程可交叉执行。这样，也只需要 2 个同步信号量 empty(生产者私有)和 full(消费者私有)就行了，此时，生产者与消费者之间不存在互斥。

但是，若 Buffer 的数据结构采用只有尾指针的环形队列，那末在生产者与消费者之间就存在互斥。这里将这种情形归入类型 3。

类型 3：m 个生产者进程；k 个消费者进程；Buffer=n。

在这种情形下，假定 Buffer 的数据结构采用只有尾指针的环形队列。先看 m 和 k 大于 1 的情况，由于 Buffer 只有单个指针，因而存在着 3 种互斥：生产者之间、消费者之间、生产者与消费者之间。为此设置 1 个互斥信号量 mutex(生产者和消费者公有)，mutex 的初值为 1，表明在任何时候只能有一个进程对 Buffer 进行操作。再看 m 和 k 等于 1 的情况，即在分析类型 2 时最后提到的情况。这种情况虽不存在生产者之间的互斥和消费者之间的互斥，但生产者与消费者之间的互斥依然存在，也

需要互斥信号量 mutex，故将此情况也归入类型 3。类型 3 同步信号量的设置与类型 2 相同。

类型 4：m 个生产者进程；k 个消费者进程；Buffer=n。

在这种情形下，假定 Buffer 的数据结构采用具有头指针和尾指针的队列。由于生产者放产品使用尾指针、消费者取产品使用头指针，故不存在生产者与消费者之间的互斥。但对于存在着的 2 种互斥：生产者之间的互斥和消费者之间的互斥，需要设置 2 个互斥信号量 pmutex(生产者公有)和 cmutex(消费者公有)。类型 4 同步信号量的设置与类型 2 和类型 3 相同。

上述分析总结如表 1 所示。

表 1 生产者－消费者问题信号量的设置

类型	生产者	消费者	Buffer	信号量	注释
1	1	1	1	empty=1; full=0;	不可同时放和取
2	1	1	n	empty=n; full=0;	可同时放和取

3	m	k	n	empty=n;
				full=0;
				mutex=1;
					不可同时放和取

4	m	k	n	empty=n;
				full=0;
				pmutex=1;
				cmutex=1;
					可同时放和取

5 试题解析

下面是 2005 年下半年软件设计师上午试题中有关操作系统的试题。

题目： 某仓库有两名发货员，一名审核员。当顾客提货时，只要发货员空闲，允许顾客进入仓库提货，顾客离开时，审核员检验顾客提货是否正确。其工作流程如下图所示。为了利用 PV 操作正确地协调他们之间的工作，设置了两个信号量 S1 和 S2，且 S1 的初值为 2，S2 的初值为 1。图中的 a 应填写 (25) ；图中的 b、c、d 应分别填写 (26) 。

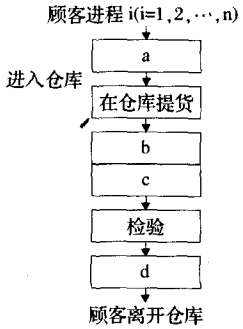

图 1 2005 年下半年软件设计师操作系统试题图

(25) A.P(S1) B.P(S2) C.V(S1) D.V(S2)

(26) A.P(S2)、V(S2)和 V(S1) B.P(S1)、V(S1)和 V(S2)
C.V(S1)、P(S2)和 V(S2) D.V(S2)、P(S1)和 V(S1)

这是一个简单的进程互斥的问题。对于顾客进程，发货员和审核员是两类公有资源，因此设置了两个互斥信号量 S1 和 S2。S1 和 S2 的初值分别为 2 和 1，所以分别代表发货员和审核员。顾客在仓库提货前，需要查看有没有空闲的发货员(申请资源 S1)；提完货后，为该顾客服务的发货员又变为空闲(释放资源 S1)。同理，顾客在离开仓库前，需要审核员检验货物(申请资源 S2)；检验完毕后，该审核员又可为其他顾客检验货物(释放资源 S2)。经过上述分析，得出以下答案：(25) A，(26) C。

下面给出一个进程互斥与同步的问题，这是 2003 年软件设计师上午试题中有关操作系统的试题。

题目： 在某超市里有一个收银员，且同时最多允许有 n 个顾客购物，我们可以将顾客和收银员看成是两类不同的进程，且工作流程如下图所示。为了利用 PV 操作正确地协调这两类进程之间的工作，设置了三个信号量 S1、S2 和 Sn，且初值分别为 0、0 和 n。这样图中的 a 应填写 (24) ，图中的 b1、b2 应分别填写 (25) ，图中的 c1、c2 应分别填写 (26) 。

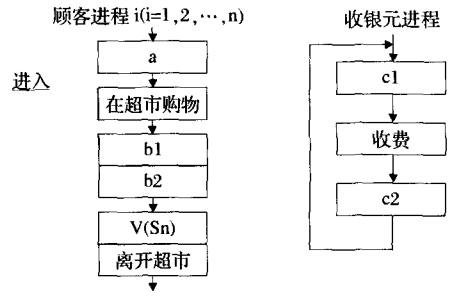

图 2 2003 年软件设计师操作系统试题图

(24) A.P(S1) B.P(S2) C.P(Sn) D.P(Sn)、P(S1)

(25) A.P(Sn)、V(S2) B.P(Sn)、V(S1)
C.P(S2)、V(S1) D.V(S1)、P(S2)

(26) A.P(S1)、V(S2) B.P(Sn)、V(S1)
C.P(S2)、V(S1) D.V(S1)、P(S2)

因超市里同时最多允许有 n 个顾客进入，故需要 1 个互斥信号量且其初值为 n，从题目中可知该信号量为 Sn，顾客在进入和离开超市前须分别执行 P(Sn)和 V(Sn)。为协调顾客进程和收银员进程之间的工作，需要 2 个用来同步的信号量，1 个为顾客私有，1 个为收银员私有。顾客购物完毕后，应发消息通知收银员，即对收银员私有信号量进行 V 操作；接着对自己的私有信号量进行 P 操作，看能否得到收银员的服务，若收银员正忙，则顾客进程变为等待状态。至此，从 b1 和 b2 的候选答案中已可看出 S1 为收银员的私有信号量；S2 为顾客的私有信号量。经过上述分析，得出以下答案：(24) C，(25) D，(26) A。

6 结束语

从以上分析中可以看出，用 PV 操作实现进程的互斥与同步的关键是弄清什么是进程的公有资源和私有资源。一般情况下，公有资源的类型数即互斥信号量的个数，互斥信号量的初值即该类公有资源的个数；私有资源的类型数即同步信号量的个数，同步信号量的初值即该类私有资源的个数。另外须注意的是在某些情况下同步已包含了互斥，这时就不需要设置专门的互斥信号量了。

参考文献：

[1] 张尧学，史美林.计算机操作系统教程.清华大学出版社，2000.

[2] Andrew S. Tanenbaum.现代操作系统.机械工业出版社，2002.