

操作系统

Xia Tian

Renmin University of China

March 27, 2019

CH2 进程管理



- 2.1 进程的基本概念
- 2.2 进程控制
- 2.3 进程同步
- 2.4 经典进程同步问题
- 2.5 管程机制
- 2.6 进程通信
- 2.7 线程



2.1 进程的基本概念

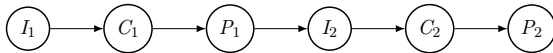
- 未配置 OS 的系统：程序顺序执行
 - * 程序的顺序执行及其特征
- 现代多道程序环境下：程序并发执行
 - * 程序的并发执行及其特征



2.1 进程的基本概念

● 2.1.1 程序的顺序执行及特征

* 1. 程序执行有固定的时序



* 2. 程序顺序执行时的特征

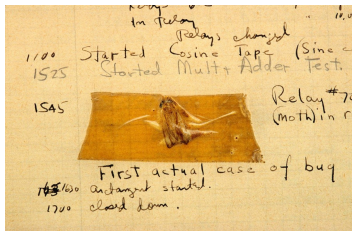
- 顺序性：操作的前后依赖性
- 封闭型：独占资源，资源状态只有本程序更改
- 可再现性：初始环境和条件，结果相同

程序顺序执行的优点

- 符合人的直觉
- 有利于错误调试
 - * DEMO
 - * BUG vs DEBUG

格蕾丝·赫柏 (Grace Murray Hopper)

赫柏是一位为美国海军工作的电脑专家。1945 年的一天，赫柏对 Harvard Mark II 设置好 17000 个继电器进行编程后，技术人员在进行整机运行时，它突然停止了工作。于是他们爬上去找原因，发现这台巨大的计算机内部一组继电器的触点之间有一只飞蛾，这显然是由于飞蛾受光和热的吸引，飞到了触点上，然后被高电压击死。所以在报告中，赫柏用胶条贴上飞蛾，并把“bug”来表示“一个在电脑程序里的错误”。





2.1.2 程序的并发执行

- 特征
 - * 间断性:
 - 如打印程序等待计算程序完成之后方可继续
 - 执行—暂停—执行… …
 - * 失去封闭性
 - 主要由共享资源引起，资源的状态将由多个程序改变；
 - * 不可再现性
 - 计算结果与并发程序的执行速度有关



例子 — 课堂讨论

- 有 2 个循环程序 A 和 B ，共享一个变量 N (设 N 的初值为 n)
 - 程序 A 每执行一次时，都要做 $N := N + 1$
 - 程序 B 每次要执行 $Print(N)$ ，然后再做 $N := 0$
-
- 若程序 A, B 以不同的速度运行，其结果将会是？
 - 注意，代码采用了类 Pascal 语言

例子



- $N := N + 1$ 在 $\text{print}(N)$ 和 $N := 0$ 之前, 则 N 值分别为 $n+1, n+1, 0$.
- $N := N + 1$ 在 $\text{print}(N)$ 和 $N := 0$ 之后, 则 N 值分别为 $n, 0, 1$.
- $N := N + 1$ 在 $\text{print}(N)$ 和 $N := 0$ 之间, 则 N 值分别为 $n, n+1, 0$.

Python 代码示例



```
from multiprocessing import Process
def f1(i):
    while i<10:
        i = i+1
    print 'f1 finished '
```

```
def f2(i):
    while i>-10:
        i=i-1
    print 'f2 finished!'
```

```
if __name__ == '__main__':
    Process(target=f1,args=(0,)).start()
    Process(target=f2,args=(0,)).start()
```

多次运行结果



- Run 1:
 - * f1 finished
 - * f2 finished!
- Run 2:
 - * f1 finished
 - * f2 finished!
- Run 3:
 - * f2 finished!
 - * f1 finished



- 在多道程序环境下，程序执行属于并发执行，具有 3 个典型特性（哪 3 个？）
- 结果的不可再现性的问题
- 要保证结果的再现性，就需要对并发执行的程序加以描述和控制，其结果就是引入了“进程”概念
- 进程 = 程序 + 执行
- 在 Multics OS 之前，主要采用 IBM 的“作业（job）”概念，之后，改为进程（Process）



2.1.3 进程的特征和状态

- 进程的定义
 - * 程序的一次执行过程
 - * 进程是程序实体的执行过程，是系统进行资源分配与调度的独立单位。



进程的特征

- 1. 结构特征
 - * 进程：由程序段、数据段及进程控制块三部分构成，总称“进程映像（Unix 中）”。
- 2. 动态性：进程实体的一次执行过程
 - * 由“创建”而产生，由“调度”而执行；由得不到资源而阻塞；由撤消而消亡。（而程序是静态的）。
- 3. 并发性：只有建立了进程，才能并发执行
 - * 如同时浏览多个网页
- 4. 独立性：独立运行，独立获得资源。资源分配与调度的基本单位
 - * 浏览器邮箱登陆实例
- 5. 异步性：
 - * 各进程以不可预知的速度向前推进
 - * 间断性

进程的状态

- 进程执行的间断性，使得进程具有多种不同的状态
- 进程的三种基本状态
 - * 就绪
 - * 执行
 - * 阻塞

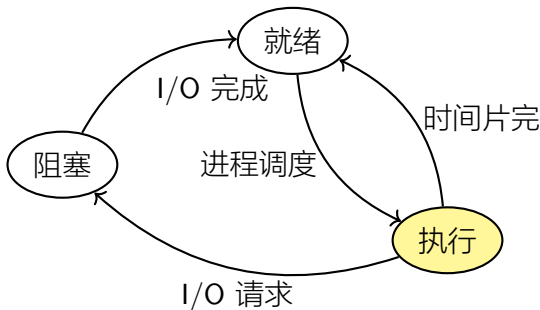


Figure: 进程的三种基本状态及其转换



挂起状态（被换出内存的状态）

- 引入原因
 - * 终端用户请求
 - * 父进程请求
 - * 负荷调节需要
 - * 操作系统需要
- 挂起演示
 - * vi, CTRL+z; debugging
- 进程状态的转换
 - * 活动就绪 \Rightarrow 静止就绪
 - * 活动阻塞 \Rightarrow 静止阻塞
 - * 静止就绪 \Rightarrow 活动就绪
 - * 静止阻塞 \Rightarrow 活动阻塞

具有挂起状态的进程状态图

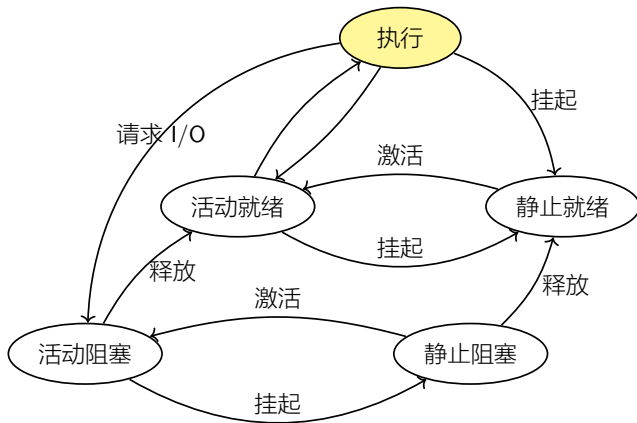


Figure: 具有挂起状态的进程状态及其转换

- 写一个程序描述进程状态迁移过程。
- 要求：
 - * 提供导致进程状态变化的调用接口，包括创建、删除、调度、阻塞、时间到、挂起、激活等。
 - * 实现进程列表显示的接口。
 - * 注：这里设计的进程是一个假设的对象实体，是由程序自己创建和删除，不是系统维护的进程。



2.1.4 进程控制块

1. 进程控制块的作用

- ▶ 使不能独立运行的程序变为能独立运行的基本单位
- ▶ 是进程存在的唯一标志
- ▶ PCB (Process Control Block) 常驻内存

2. 进程控制块中的信息

- ▶ 标识、处理机状态，进程调度信息，进程控制信息

pid
进程状态
现场
优先级
阻塞原因
程序地址
同步机制
资源清单
链接指针

- 进程标识符
 - * 内部标识符与外部标识符 (下页 top 示例)
- 处理机状态
 - * 能在断点恢复运行
 - * 通用寄存器、指令计数器、程序状态字 PSW、用户栈指针
- 进程调度信息
 - * 进程状态、优先级、与调度有关的其他信息 (如等待时间)、事件 (阻塞事件)
- 进程控制信息
 - * 程序和数据的地址
 - * 进程同步和通信机制: 消息队列指针、信号量
 - * 资源清单
 - * 在 PCB 队列中的链接指针

Linux top command



1/1 + [] []

Tilix: Xiatian

Q : ● ● ●

top - 13:33:57 up 1:07, 1 user, load average: 0.55, 0.39, 0.37
Tasks: 255 total, 2 running, 253 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 9.2 us, 2.1 sy, 0.0 ni, 88.2 id, 0.5 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
KiB Mem : 7886976 total, 2994160 free, 2547388 used, 2345428 buff/cache
KiB Swap: 2097148 total, 2097148 free, 0 used. 4729760 avail Mem

PID	USER	PR	NI	VIRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
1787	xiatian	20	0	3886836	333840	112680	R	17.9	4.2	3:05.84	gnome-shell
4408	xiatian	20	0	656520	51892	30608	S	7.3	0.7	0:01.19	gnome-screensho
3819	xiatian	20	0	739252	90124	59532	S	5.6	1.1	0:09.41	tilix
939	avahi	20	0	52544	6684	3300	S	5.0	0.1	1:37.38	avahi-daemon
2926	xiatian	20	0	3313920	266972	139544	S	4.3	3.4	2:04.26	chromium-browse
3081	xiatian	20	0	2145048	103784	60536	S	1.3	1.3	0:40.53	chromium-browse
387	root	-51	0	0	0	0	S	1.0	0.0	0:40.33	irq/29-iwlwifi
2268	xiatian	20	0	1424464	287048	63492	S	0.7	3.6	1:13.73	albert
1	root	20	0	220312	8556	6276	S	0.3	0.1	0:02.55	systemd
8	root	20	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:06.61	rcu_sched
194	root	-2	0	0	0	0	S	0.3	0.0	0:00.68	i915/signal:0
1066	systemd+	20	0	66016	6300	5264	S	0.3	0.1	0:19.60	systemd-resolve
1702	root	20	0	926700	48128	36488	S	0.3	0.6	0:10.66	dockerd
1809	root	20	0	924092	23252	14036	S	0.3	0.3	0:09.96	docker-containe
2032	xiatian	20	0	372408	10780	8088	S	0.3	0.1	0:18.23	ibus-daemon
2427	xiatian	20	0	363424	20020	17364	S	0.3	0.3	0:06.63	ibus-engine-rim
3193	xiatian	20	0	2256032	164568	79448	S	0.3	2.1	0:43.77	chromium-browse
3301	xiatian	20	0	2280856	179728	94272	S	0.3	2.3	0:17.23	chromium-browse
2	root	20	0	0	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	kthreadd
4	root	0	-20	0	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	kworker/0:0H
6	root	0	-20	0	0	0	S	0.0	0.0	0:00.00	mm_percpu_wq

PCB 的组织: 链接方式

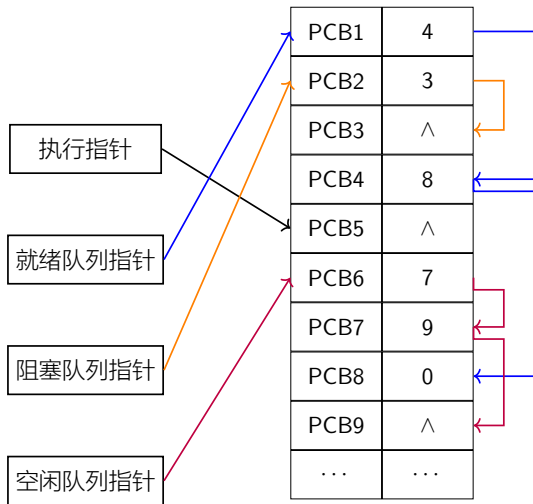


Figure: PCB 链接组织方式

PCB 的组织: 索引方式

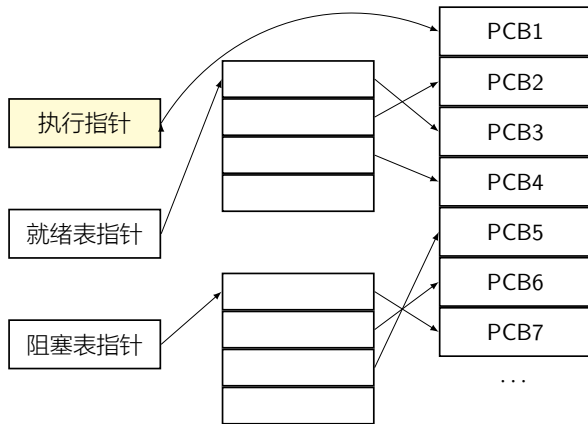


Figure: PCB 索引组织方式



- 指针和链表的概念
 - * E.g. 从链表中移除我的下一个：
 - 我的下一个是（变成）我的下一个的下一个
 - * E.g. 从链表中移除我本身
 - 我的上一个的下一个是我的下一个
- PCB 和进程的代码数据放在一起吗？
 - * 系统态和用户态
 - * 系统空间 and 用户空间
- 系统调用和普通调用的区别？
 - * 系统调用会引起从用户态进入核心态

Review last lesson



- 什么是 PCB，操作系统采用哪些方式对 PCB 进行组织和管理？



2.2 进程控制

- 2.2.1 进程的创建
- 2.2.2 进程的终止
- 2.2.3 进程的阻塞与唤醒
- 2.2.4 进程的挂起与激活



2.2.1 进程的创建

- 进程图:
- 引起创建进程的事件:
- 进程的创建

进程图



- * 描述了进程的家族关系
- * 子进程可继承父的资源，撤消时应归还给父进程，父的撤消会撤消全部子进程。



引起创建进程的事件

- * 1. 用户登录:
 - 为终端用户建立一进程
- * 2. 作业调度:
 - 为被调度的作业建立进程
- * 3. 提供服务:
 - 如要打印时建立打印进程
- * 4. 应用请求:
 - 由应用程序建立多个进程

进程的创建



- (create 原语)
 - * 1. 申请空白 PCB (一个系统的 PCB 是有限的)
 - * 2. 为新进程分配资源 (不同于一般的分配, PCB-LIST 在一个特殊区域)
 - * 3. 初始化 PCB
 - * 4. 将新进程插入就绪队列。



2.2.2 进程的终止

- 引起进程终止的事件
- 进程的终止过程



引起进程终止的事件

- 1. 正常结束：如 Halt、logoff
- 2. 异常结束：如 Protect error、overtime 等
- 3. 外界干预：
 - * a. 系统员 kill 进程；（Linux 演示）
 - * b. 父进程终止；（impressive 打开 pdf 文件演示）
 - * c. 父进程请求。



进程的终止过程

- 1. 检查进程状态;
- 2. 执行态 \rightarrow 中止, 且置调度标志为真。
- 3. 有无子孙需终止。
- 4. 归还资源给其父进程或系统。
- 5. 从 PCB 队列中移出 PCB.



2.2.3 进程的阻塞与唤醒

- Content:
 - * 引起进程阻塞和唤醒的事件
 - * 进程阻塞过程
 - * 进程唤醒过程



引起进程阻塞和唤醒的事件

- 1. 请求系统服务而得不到满足时，如向系统请求打印。
- 2. 启动某种操作而需同步时：如该操作和请求该操作的进程需同步运行（即非异步操作）。
- 3. 新数据尚未到达：如进程 A 写，进程 B 读，则 A 未写完 B 不能读。
- 4. 无新工作可做。

阻塞过程



- 是进程自身的一种主动行为
 - * a. 调 block 原语
 - * b. 停止执行，修改 PCB 入阻塞队列（一个或多个），并转调度。



唤醒过程

- 其它相关进程完成。
 - * a.wakeup 原语
 - * b. 修改 PCB，入就绪队列
 - * 可见，有 block 原语，在其它进程中就应有 wakeup 原语。



2.2.4 进程的挂起与激活

- 进程的挂起过程
 - * 由进程自己或其父进程调 `suspend` 原语完成，将该进程 PCB 移到指定区域，注意状态的改变，有可能要重新调度。
- 进程的激活过程。
 - * `active` 原语（如在外存，调入内存，改变状态，根据情况看是否调度，如抢先或非抢先）。
- 阻塞、唤醒一般由 OS 实现，而挂起与激活可由用户干预。



2.3 进程同步

- 并发提高了资源利用率和系统吞吐量，但也会给系统造成混乱。
- 同步：
 - * 并发进程在执行次序上的协调，以达到有效的资源共享和相互合作，使程序执行有可再现性。



2.3.1 进程同步的基本概念

- 1. 两种形式的制约关系
 - * 资源共享关系: (进程间接制约)
 - 如争用一台打印机
 - 需互斥地访问临界资源。
 - * 相互合作关系: (进程直接制约)
 - 如 A 的输出作为 B 的输入
 - 需要同步解决
- 2. 临界资源: (一次仅允许一个进程访问的资源)
 - * 引起不可再现性是因为临界资源没有互斥访问。



生产者 - 消费者问题

```
var n, integer; //变量定义
Type item=...;
var buffer:array[0,1,...,n-1] of item;
in, out: 0,1, ..., n-1;
counter: 0,1,...,n;
```


生产者 - 消费者问题



producer:

repeat

 produce an item **in** nextp;

 ...

while counter=n **do** no-op;

buffer[**in**]:=nextp;

in:=(**in**+1)**mod** n;

counter:=counter+1;

until false;

consumer:

repeat

while counter=0 **do** no-op;

 nextc:=buffer[out];

 out:=(out+1) **mod** n;

 counter:=counter-1;

 consumer the item **in** nextc;

until false;

Question



- 两个进程共享变量 counter
- counter 会导致结果不确定



生产者 - 消费者问题 (2)

- 设 counter 的初值为 5

```
register1:=counter;  
register1 :=register1+1;  
counter :=register1;
```

```
register2:=counter;  
register2:=register2-1;  
counter :=register2;
```

register1:=counter;	(register1:=5)
register1 :=register1+1;	(register1:=6)
register2:=counter;	(register2:=5)
register2 :=register2-1;	(register2:=4)
counter :=register1;	(counter:=6)
counter :=register2;	(counter:=4)



3. 临界区

- 定义：进程访问临界资源的那段代码称为临界区
- 访问临界资源的描述：
 - * 进入区：检查有无进程进入
 - * 临界区：
 - * 退出区：将访问标志复位

Repeat

Entry section

Critical section

Exit section

Until false



4. 同步机制应遵循的准则

- 1. 空闲让进
- 2. 忙则等待
- 3. 有限等待
 - * 应保证为有限等待，避免“死等”。
- 4. 让权等待
 - * 不能进入临界区的执行进程应放弃 CPU 执行权。避免“忙等”



2.3.2 信号量机制

- Edsger Wybe Dijkstra(1930 年 5 月 11 日-2002 年 8 月 6 日)
 - * 毕业于 Leiden 大学
 - * 1972 年获得图灵奖
 - * 1989 年计算机科学教育杰出贡献奖
 - * 2002 年 ACM PODC 最具影响力论文奖
- 与 Knuth 并称为我们这个时代最伟大的计算机科学家的人。
 - * 提出“goto 有害论”；
 - * 1965 年，提出信号量和 PV 原语；
 - * 解决了有趣的“哲学家聚餐”问题；
 - * 最短路径算法 (SPF) 和银行家算法的创造者；
 - * 第一个 Algol 60 编译器的设计者和实现者；
 - * THE 操作系统的设计者和开发者；





2.3.2 信号量机制

- 1 整型信号量

- * 是一个整型量，通过 2 个原子操作wait(s) 和 signal(s) 来访问。

- * Wait(s):

- while $s \leq 0$ do no-op;

- s:=s-1;

- * Signal(s):

- s:=s+1;



2 记录型信号量

```
type semaphore=record
    value:integer;
    L: list of process;
end
procedure wait(s)
    var s: semaphore
begin
    s.value:=s.value - 1;
    if s.value < 0 then block (s, L)
end
procedure signal (s)
    var s:semaphore
begin
    s.value:=s.value + 1
    if s.value<=0 then wakeup(s.L)
end
```

- L: 为进程链表, 用于链接所有等待该类资源进程。
- 用 wait(s) 和 signal(s) 实现同步与互斥。
- 在记录型信号量机制中:
- s.value 初值: 表示系统中某类资源的数目。
- s.value<0: 表该信号量链表中已阻塞进程的数目。
- Question: 为什么叫“记录型”信号量?

PV 操作



- Wait(s): 也用 $P(s)$ 或者 $Down(s)$ 表示, 相当于申请资源
- Signal(s): 也用 $V(s)$ 或者 $Up(s)$ 表示, 相当于释放资源
- 例如:
 - * 在公共电话厅打电话



3 AND 型信号量

- 当不用它时，有可能发生系统死锁。
- 死锁：在无外力作用下的一种僵持状态。
- 特点：要么全分配，要么一个也不分配。

3 AND 型信号量



process A: wait(Dmutex); wait(Emutex);	process B: wait(Emutex); wait(Dmutex);
----------------------------------------------	----------------------------------------------

若两个进程交替执行，则死锁

3 AND 型信号量



Swait(s_1, s_2, \dots, s_n)

if $s_1 \geq 1$ and \dots and $s_n \geq 1$ then

for $i:=1$ to n do $s_i:=s_i-1$; endfor

else

place the process in the waiting queue with the first s_i found with $s_i < 1$,
and set the program count of this process to the beginning of swait
operation

end if

Ssignal(s_1, s_2, \dots, s_n)

for $i:=1$ to n do $s_i:=s_i+1$;

remove all the process waiting in the queue associated with s_i into the ready
queue

endfor



4 信号量集

- 某进程需要 100 个临界资源 X 时：
 - * wait(x);
 - *
 - * wait(x)
- 有些情况下，只有系统空闲资源数量大于等于一定数值，才予以分配。



4 信号量集

- 为提高效率而对 AND 信号的扩充。
 - * $\text{Swait}(S, t, d)$: t 为下限制, d 为需求值
- 三种特例:
 - * (1) $\text{Swait}(S, d, d)$: 允许每次申请 d 个资源。
 - 当资源数少于 d 时, 不予分配。
 - * (2) $\text{Swait}(S, 1, 1)$: $S > 1$, 记录型信号量。
 - $S=1$ 时, 互斥型信号量。
 - * (3) $\text{Swait}(S, 1, 0)$, 可控开关, 当 $S \geq 1$ 时, 允许进入, $S < 1$ 时, 不能进入。

利用信号量实现互斥



```
var mutex: semaphore:=1
```

```
parbegin
```

```
  process1:begin
```

```
    repeat
```

```
      wait(mutex);
```

```
      critical setion
```

```
      signal(mutex);
```

```
      remainder section
```

```
    until false;
```

```
  end
```

```
process2: begin
```

```
  repeat
```

```
    wait(mutex);
```

```
    critical setion
```

```
    signal(mutex);
```

```
    remainder section
```

```
  until false;
```

```
end
```

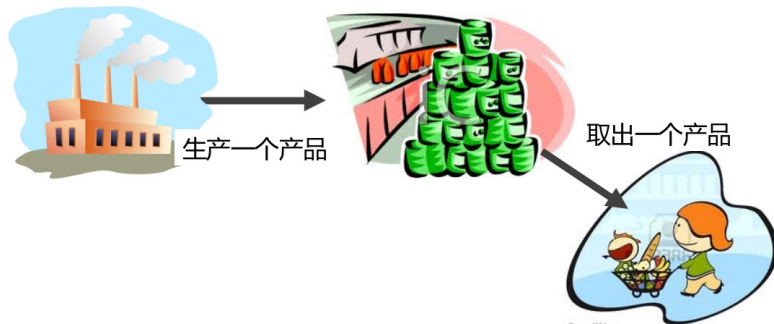
```
parend
```



2.4 经典进程同步问题

- * 2.4.1 生产者—消费者问题
- * 2.4.2 哲学家进餐问题
- * 2.4.3 读者—写者问题

生产者—消费者问题





生产者—消费者问题

- 定义两个同步信号量：
 - * empty—表示缓冲区中空缓冲区的数量，初值为 n (n 个缓冲区)。
 - * full—表示缓冲区中满的数量，初值为 0。
 - * mutex—使诸进程互斥地访问缓冲区

记录型信号量解决生产者—消费者问题



```
var mutex,empty,full:Semaphore:=1,n,0;  
    buffer:array[0,1, ...,n-1] of item;  
    in, out: integer: =0,0;
```

```
producer: begin  
    repeat  
        ...  
        Produce an item in nextp;  
        wait(empty);  
        wait(mutex);  
        buffer(in):=nextp;  
        in:=(in+1) mod n;  
        signal(mutex);  
        signal(full);  
    until false;  
end
```

```
consumer:begin  
    repeat  
        wait(full);  
        wait(mutex);  
        nextc:=buffer(out);  
        out:=(out+1) mod n;  
        signal(mutex);  
        signal(empty);  
        Consumer the item in nextc;  
    until false;  
end
```

利用 AND 信号量解决生产者—消费者问题



```
var mutex, empty, full: semaphore:=1,n,0;  
    buffer:array[0, ...,n-1] of item;  
    in out: integer :=0,0;
```

```
producer: begin  
    repeat  
        ...  
        Produce an item in nextp;  
        Swait(empty, mutex);  
        buffer(in):=nextp;  
        in:=(in+1) mod n;  
        Ssignal(mutex, full);  
    until false;  
end
```

```
consumer:begin  
    repeat  
        Swait(full, mutex);  
        nextc:=buffer(out);  
        out:=(out+1) mod n;  
        Ssignal(mutex, empty);  
        consumer the item in nextc;  
    until false;  
end
```

2.4.2 哲学家进餐问题

有五个哲学家围坐在一圆桌旁，桌中央有一盘通心面，每人面前有一只空盘子，每两人之间放一把叉子。每个哲学家思考、饥饿、然后吃通心面。为了吃面，每个哲学家必须获得两把叉子，且每人只能直接从自己左边或右边去取叉子。



哲学家进餐问题解决思路



- 1、每一把叉子都是必须互斥使用的，所以，必须为每一把叉子设置一个互斥信号量 S_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4$);
- 2、初值都为 1;
- 3、当一个哲学家吃面时必须获得自己左边和右边的两把叉子，即执行两个 P 操作 (*wait*); 吃完面后，必须放下两个叉子，即执行两个 V 操作 (*signal*)。

利用记录型信号量解决哲学家进餐问题



第 i 个哲学家:

```
var chopstick: array[0, ..., 4] of semaphore;
```

```
repeat
```

```
    wait(chopstick[i]);
```

```
    wait(chopstick[(i+1) mod 5]);
```

```
    ...
```

```
    eat
```

```
    ...
```

```
    signal(chopstick[i]);
```

```
    signal(chopstick[(i+1) mod 5]);
```

```
    ...
```

```
    think;
```

```
until false
```



利用 AND 信号量解决哲学家进餐问题

```
var chopstick: array[0, ..., 4] of semaphore:=(1,1,1,1,1);  
processi  
  repeat  
    think;  
    Sswait(chopstick[(i+1) mod 5],chopstick[i]);  
    eat  
    Ssignal(chopstick[(i+1) mod 5],chopstick[i]);  
  until false
```


课堂练习



- 请利用记录型信号量写出一个不会死锁的哲学家进餐问题的算法。



2.4.3 读者—写者问题

- 读者写者问题
 - * 有两组并发进程：
 - 读者和写者, 共享一组数据区
 - * 要求:
 - 允许多个读者同时执行读操作
 - 不允许读者、写者同时操作
 - 不允许多个写者同时操作
- 特点:
 - * 读进程可共享同一对象。
 - * 写进程不可共享同一对象。



利用记录型信号量解决读者—写者问题 I

```
var rmutex, wmutex: semaphore: =1,1;  
    readcount:integer: =0;  
begin  
    parbegin
```



利用记录型信号量解决读者—写者问题 II

```
reader: begin
  repeat
    wait(rmutex);
    if readcount=0 then wait(wmutex);
    readcount:=readcount+1;
    signal(rmutex);

    ...
    perform read operation
    ...

    wait(rmutex);
    readcount:=readcount-1;
    if readcount=0 then signal(wmutex);
    signal(rmutex);
  until false;
end
```

利用记录型信号量解决读者—写者问题 III



```
writer: begin
  repeat
    wait(wmutex)
    perform write operation;
    signal(wmutex)
  until false;
end
parend
end
```

信号量集解决读者—写者问题 (略) I



```
var RN integer;  
    L, mx: semaphore: =RN, 1;  
begin  
    parbegin  
        reader: begin  
            repeat  
                swait(L,1,1);  
                swait(mx,1,0);  
                ...  
                perform read operation;  
                ...  
                signal(L,1);  
            until false;  
        end  
        writer: begin  
            repeat
```

信号量集解决读者—写者问题 (略) II



```
    swait(mx,1,1; L,RN,0);  
    perform write operation;  
    ssignal(mx, 1);  
until flase;  
end  
parend  
end
```



上述方法为读者优先

- 如果读者来：
 - * (1) 无读者、写者，新读者可以读
 - * (2) 有写者等，但有其它读者正在读，则新读者也可以读
 - * (3) 有写者写，新读者等
- 如果写者来：
 - * (1) 无读者，新写者可以写
 - * (2) 有读者，新写者等待
 - * (3) 有其它写者，新写者等待

读者优先分析



- 问题:
 - * 读者源源不断, readCount 不归 0, 写者会被饿死。
- 策略:
 - * 一旦有写者等待, 新到达读者等待, 正在读的读者都结束后, 写者进入。

写者优先



- 条件:
 - * (1) 多个读者可以同时进行读
 - * (2) 写者必须互斥（只允许一个写者写，也不能读者写者同时进行）
 - * (3) 写者优先于读者（一旦有写者，则后续读者必须等待，唤醒时优先考虑写者）
- 练习尝试



写者优先 (采用类 Java/C 伪代码) I

```
semaphore fmutex=1, rdcntmutex=1, wtcntmutex=1, queue=1;
```

```
//fmutex --> access to file;
```

```
// rdcntmutex --> access to readcount
```

```
//wtcntmutex --> access to writecount
```

```
int readcount = 0, writecount = 0;
```

```
void reader(){
```

```
    while(true){
```

```
        wait(queue);
```

```
        wait(rdcntmutex);
```

```
        if(0 == readcount)wait(fmutex);
```

```
        readcount = readcount + 1;
```

```
        signal(rdcntmutex);
```

```
        signal(queue);
```

```
        //Do read operation ...
```



写者优先 (采用类 Java/C 伪代码) II

```
    wait(rdcntmutex);  
    readcount = readcount - 1;  
    if(0 == readcount) signal(fmutex);  
    signal(rdcntmutex);  
}  
}
```

```
void writer(){  
    while(true){  
        wait(wtcntmutex);  
        if(0 == writecount)wait(queue);  
        writecount = writecount + 1;  
        signal(wtcntmutex);  
  
        wait(fmutex);
```

写者优先 (采用类 Java/C 伪代码) III



```
//Do write operation ...
```

```
signal(fmutex);
```

```
wait(wtcntmutex);
```

```
writecount = writecount - 1;
```

```
if(0 == writecount)signal(queue);
```

```
signal(wtcntmutex);
```

```
}
```

```
}
```



- a,b 两点间是一段东西向的单行车道，现要设计一个自动管理系统，管理规则如下：
 - * 当 ab 间有车辆在行驶时，同方向的车可以继续驶入 ab 段，但另一方向的车必须在 ab 段外等待；
 - * 当 ab 之间无车时，到达 a（或 b）的车辆可以进入 ab 段，但不能从 a，b 点同时驶入；
 - * 当某方向在 ab 段行驶的车辆驶出了 ab 段且无车辆进入 ab 段时，应让另一方向等待的车辆进入 ab 段行驶。
- 请用 wait,signal 工具对 ab 段实现正确管理。

练习答案 I



semaphore s, mutexab,mutexba
integer countab = 0, countba = 0

pab:

wait(mutexab);

countab++;

If countab=1 **then** wait(s);

signal(mutexab);

...

wait(mutexab);

countab--;

if countab=0 **then** signal(s);

signal(mutexab);

练习答案 II



pba:

```
wait(mutexba);  
countba=countba+1;  
if countba=1 then wait(s);  
signal(mutexba);  
enter;  
... ...  
wait(mutexba);  
countba--;  
if countba=0 then signal(s);  
signal(mutexba);
```


作业讨论



- 无死锁的哲学家进餐问题
- 写者优先

- 设有两个生产者进程 A、B 和一个销售者进程 C，他们共享一个无限大的仓库
 - * 生产者每次循环生产一个产品，然后入库供销售者销售；
 - * 销售者每次循环从仓库中取出一个产品进行销售。
 - * 不允许同时入库，也不允许边入库边出库；
 - * 要求生产和销售 A 产品和 B 产品的件数都满足以下关系：
 - $-n \leq A \text{ 生产的件数} - B \text{ 生产的件数} \leq m$,
 - $-n \leq A \text{ 销售的件数} - B \text{ 销售的件数} \leq m$,
 - 其中 m, n 是正整数。
- 使用信号量机制写出 A、B 和 C 三个进程的工作流程

- 设置信号量 `mutex`，互斥访问仓库
- 为满足 $-n \leq A$ 的件数 $-B$ 的件数 $\leq m$ ，设置两个同步信号量
 - * SAB : 允许 A 当前生产的数量，初值为 m
 - * SBA : 允许 B 当前生产的数量，初值为 n
- 为实现生产者和销售者的同步，
 - * 设置变量 `Difference`: 表示 A 与 B 所销售的数量之差，初值为 0
 - * 设置三个信号量: S 、 SA 、 SB ，分别表示仓库中总的产品量、仓库中 A 的产品量和 B 的产品量，初值为 0

Process A:

repeat

```
wait(SAB)
produce a product A
signal(SBA)
```

//加入仓库

```
wait(mutex)
add A to storehouse
signal(mutex)
```

```
siganl(SA)
```

```
signal(S)
```

until false

Process B

repeat

```
wait(SBA)
produce a product B
signal(SAB)
```

//加入仓库

```
wait(mutex)
add B to storehouse
signal(mutex)
```

```
siganl(SB)
```

```
signal(S)
```

until false



Repeat

wait(S)

if (difference \leq -n) {

//B卖的太多了

wait(SA)

wait(mutex)

take a product A

signal(mutex)

difference += 1

} else if (difference \geq m) {

//A卖的太多了

wait(SB)

wait(mutex)

take B

signal(mutex)

difference -= 1

} else {

wait(mutex)

take product A or B

signal(mutex)

if (type == A) {

wait(SA)

difference += 1

} else {

wait(SB)

difference -= 1

}

}

Sell product

until false



练习（嗜睡的理发师问题）

- 一个理发店由一个有 N 张沙发的等候室和一个放有一张理发椅的理发室组成。
- 没有顾客时，理发师便去睡觉。
- 当一个顾客走进理发店时，如果所有的沙发都已被占用，便离开理发店；否则，如果理发师正在为其他顾客理发，该顾客就找一张空沙发坐下等待；如果理发师因无顾客正在睡觉，则由新到的顾客唤醒理发师为其理发。在理发完成时，顾客必须付费，直到理发师收费后才能离开理发店。
- 试用信号量实现这一同步问题

- 设置整型变量 `count`，记录顾客数；
- 设置 `mutex` 信号量，保证对 `count` 的互斥，初值为 1
- 对等候室中的 `N` 张沙发，设置信号量 `sofa`，初值为 `N`
- `empty` 信号量表示是否有空闲的理发椅，初值为 1
- `full` 表示理发椅上是否有等待理发的顾客，初值为 0
- `cut` 信号量表示理发是否完成，初值为 0
- `payment` 表示等待付费，初值为 0
- `receipt` 表示等待收费，初值为 0



```
wait(mutex)
if(count>N){
    signal(mutex)
    exit
} else {
    count++;
    signal(mutex)
    if(count>1) {
        wait(sofa)
        sit on
        wait(empty)
        get up from sofa
        signal(sofa)
    } else {
        wait(empty)
    }
    ...
}
```




```
wait(mutex)
if(count>N){
    signal(mutex)
    exit
} else {
    count++;
    signal(mutex)
    if(count>1) {
        wait(sofa)
        sit on
        wait(empty)
        get up from sofa
        signal(sofa)
    } else {
        wait(empty)
    }
    ...
}
```

```
sit on baber_chair
signal(full)
wait(cut)
pay
signal(payment)
wait(receipt)
get up from baber_chair
signal(empty)
wait(mutex)
count--
signal(mutex)
exit shop
```

理发师



```
while(true){  
    wait(full)  
    cut hair  
    signal(cut )  
    wait(payment)  
    accept payment  
    signal(recipt)  
}
```



2.5 管程机制

- 70 年代初, By
 - * E.W.Dijkstra, C.A.R.Hoare, P.B.Hansen.
 - * 背景: Structured programming
- 引入原因:
 - * 为了避免凡要使用临界资源的进程都自备同步操作 `wait(s)` 和 `signal(s)`. 将同步操作的机制和临界资源结合到一起, 形成管程。
 - * 信号量程序编写困难
 - * 让困于人: 将信号量的组织工作交给一个专门的机构负责, 解脱程序员。



2.5.1 管程的基本概念

- 一、定义：一个数据结构和能为并发进程所执行的一组操作。
 - * 局部于管程的共享变量。
 - * 对该数据结构进程操作的一组过程。
 - * 对局部管程数据设置初值。
- 二、条件变量：
 - * `x.y`: `x.wait`; `x.signal`; `x.queue`



2.5.2 利用管程解决生产者—消费者问题 I

- 一、建立管程：PC
 - * 包括：二过程：
 - (1) put(item) 过程；
 - (2) get(item) 过程
 - * 一变量： $count \geq n$ 时满； ≤ 0 时空
 - * 初始： $in=out=count=0$

```
type producer-consumer=monitor
  var in,out,count: integer;
  buffer: array [0, ..., n-1] of item;
  notfull, notempty: condition;
  procedure entry put (item)
  procedure entry get (item)
```



2.5.2 利用管程解决生产者—消费者问题 II

Procedure entry put(item)

^^lbegin

^^l if count \geq n then notfull.wait;

^^l buffer(in):=nextp;

^^l in:=(in+1)mod n

^^l count:=count+1;

^^l if notempty.queue then notempty.signal;

^^lend

Procedure entry get(item)

^^lbegin

^^l if count \leq 0 then notempty.wait;

^^l nextc:=buffer(out);

^^l out:=(out+1)mod n

^^l count:=count-1;

^^l if notfull.queue then notfull.signal;

^^lend



2.5.2 利用管程解决生产者—消费者问题 III

Begin in:=out:=0; count:=0 end

producer: begin

repeat

produce an item in nextp

PC. put (item);

until false.

end

consumer: begin

repeat

PC.get(item);

consume the item in nextc;

until false

end



PV 操作与管程对比

PV 操作:

(1) 分散式同步机制: 共享变量操作, PV 操作, 分散在整个系统中或各个进程中。

(2) 缺点:

- (a) 可读性差;
- (b) 正确性不易保证;
- (c) 不易修改。

(3) 优点: 高效, 灵活。

管程:

(1) 集中式同步工具: 共享变量及其所有相关操作集中在一个模块中。

(2) 优点:

- (a) 可读性好;
- (b) 正确性易于保证;
- (c) 易于修改。

(3) 缺点: 不甚灵活, 效率略低。



2.6 进程通信

- 概念：进程间的信息交换。
- 实例：
 - * 信号量机制（一种低级通信）
 - 缺点：
 - （1）效率低
 - （2）通信对用户不透明
 - * 高级通信特点：
 - 效率高，通信实现细节对用户透明



2.6.1 进程通信的类型 I

- 一、共享存贮器系统
 - * 1. 基于共享数据结构的通信方式：
 - produce-consume 中的缓冲区，低效，不透明。
 - 系统只提供了一共享存贮器，适于少量通信。
 - * 2. 基于共享存储区的通信方式：
 - 系统提供：共享存储区。
 - 通信过程：
 - (1) 向系统申请一个或多个分区
 - (2) 获得分区后即可读/写。
 - 特点：高效，速度快。



2.6.1 进程通信的类型 II

- 二、消息传递系统（可用于异种机）
 - * 信息单位：消息（报文）
 - * 是目前的主要通信方式，分为直接通信方式、间接通信方式
 - * 实现：一组通信命令（原语），具有透明性 同步的实现。
- 三、管道通信
 - * 管道：连接一个读进程和一个写进程之间通信的共享文件。
 - * 功能：大量的数据发收。
 - * 注意：
 - （1）互斥
 - （2）同步
 - （3）对方是否存在



2.6.2 消息传递通信的实现方法 I

- 一、直接传递方式
 - * send(Receiver, message)
 - * receive(Sender, message)
 - * 例：解决生产—消费问题

repeat

 produce an item in nextp;

 ...

 send(consumer, nextp);

until false;

repeat

 receive(producer, nextc);

 ...

 consumer the item in nextc;

until false;



2.6.2 消息传递通信的实现方法 II

- 二、间接（可以实现非实时通信）
 - * 优点：在读/写时间上的随机性
 - * 写进程 → 信箱（中间实体）→ 读进程
 - * 原语
 - （1）信箱的创建与撤消：
 - 信箱名属性（公用、私用、共享）（共享者名字）
 - （2）消息的发送和接收
 - Send (mailbox, message)
 - Receive (mailbox, message)



2.6.2 消息传递通信的实现方法 III

* 信箱类型

- (1) 私用: 拥有者有读/写权, 其它只有写权, (单向) 存在期 = 进程存在期。
- (2) 公用: 系统创建, 双向, 存在期 = 系统存在期。
- (3) 共享信箱: 一般进程创建, 并指明其共享者, 是双向。

* 发送—接收进程之间的关系:

- (1) 一对一关系;
- (2) 多对一关系; (客户-服务器方式)
- (3) 一对多关系; (适用于广播方式)
- (4) 多对多关系: 公用信箱



2.6.3 消息传递系统中的几个问题 I

- 一、通信链路：

- * (1) 显式建立：(进程完成、网络中)

- * (2) 隐式建立：(系统完成、单机中)

- * 链路类型：

- (1) 由连接方法分：点一点链路，多点链路。

- (2) 由通信方式分：单向、双向。

- (3) 由容量分：无容量 (无缓冲区)、有 (有缓冲区)。



2.6.3 消息传递系统中的几个问题 II

- 二、消息格式：
 - * 格式组成
 - 消息头：含控制信息如：收/发进程名，消息长度、类型、编号
 - 消息内容：
 - * 格式类型
 - 定长消息：系统开销小，用户不便（特别是传长消息用户）
 - 变长消息：开销大，用户方便。



2.6.3 消息传递系统中的几个问题 III

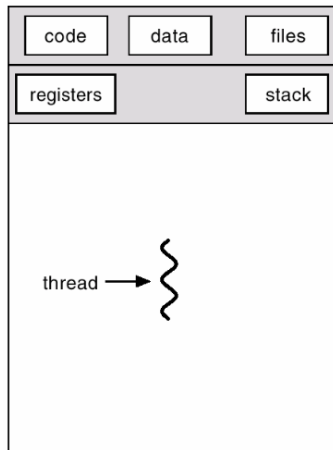
- 三、进程同步方式

- * 1. 发送和接收进程阻塞（汇合）
 - 用于紧密同步，无缓冲区时。
- * 2. 发送进程不阻塞，接收进程阻塞（多个）
 - 相当于接收进程（可能是多个）一直等待发送进程，如：打印进程等待打印任务。
- * 3. 发送/接收进程均不阻塞
 - 一般在发、收进程间有多个缓冲区时。

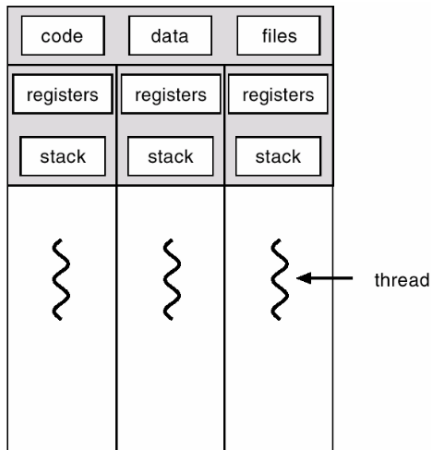
2.7 线程



- Single and Multithreaded Processes



single-threaded



multithreaded



2.7.1 线程的的基本概念 (1)

1. 线程的优势:

- 响应速度 (Responsiveness)

- * 减少并发执行时的时空开销，进程的创建、撤消、切换较费时空，因它既是调度单位，又是资源拥有者。

- 资源共享 (Resource Sharing)

- * 线程是系统独立调度和分派的基本单位，其基本上不拥有系统资源，只有少量资源（寄存器，栈…），但共享其所属进程所拥有的全部资源。

- 充分利用多核/多处理器的硬件性能 (Utilization of MP & Multicore Architectures)



2.7.1 线程的基本概念 (2)

- 2. 线程的属性
 - * 轻型实体
 - * 独立调度和分派的基本单位
 - * 可并发实体
 - * 共享进程资源
- 3. 线程的状态
 - * 状态参数
 - 寄存器状态、堆栈、运行状态、优先级、线程专有存储器、
 - 信号屏蔽
 - * 线程的运行状态
 - 就绪、执行、阻塞



2.7.1 线程的基本概念 (3)

- 4. 线程的创建和终止
 - * 初始化线程
- 5. 多线程中的进程
 - * 进程是拥有系统资源的基本单位，但不再是一个可执行的实体。



2.7.2 线程的类型

- 用户线程 (User-level thread)
 - * Thread management done by user-level threads library
 - * 三种常见的用户线程
 - POSIX Pthreads
 - Win32 threads
 - Java threads
- 内核线程 (Kernel-Level Thread)
 - * Supported by the Kernel
 - Windows XP/2000 ...
 - Linux
 - Mac OS X

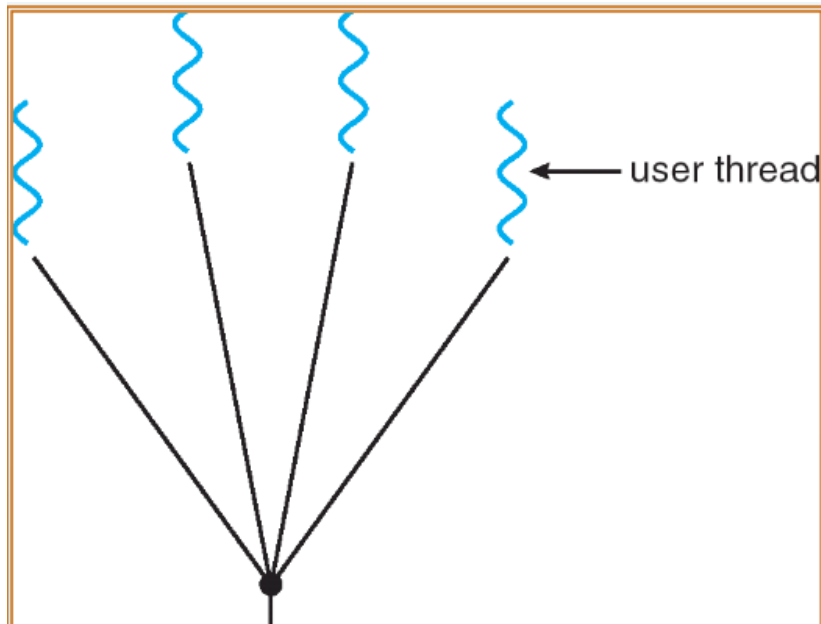
用户线程向内核线程的映射



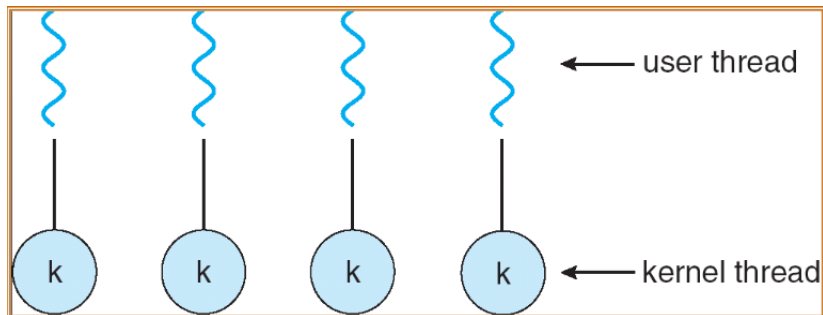
目的：把用户线程转换为内核线程，从而由操作系统调度执行

- Many to One
 - * Solaris Green Threads
 - * GNU Portable Threads
- One to One
 - * Windows
 - * Linux
 - * Solaris 9 and later
- Many to Many
 - * Solaris prior to version 9
 - * Windows NT/2000 with the ThreadFiber package

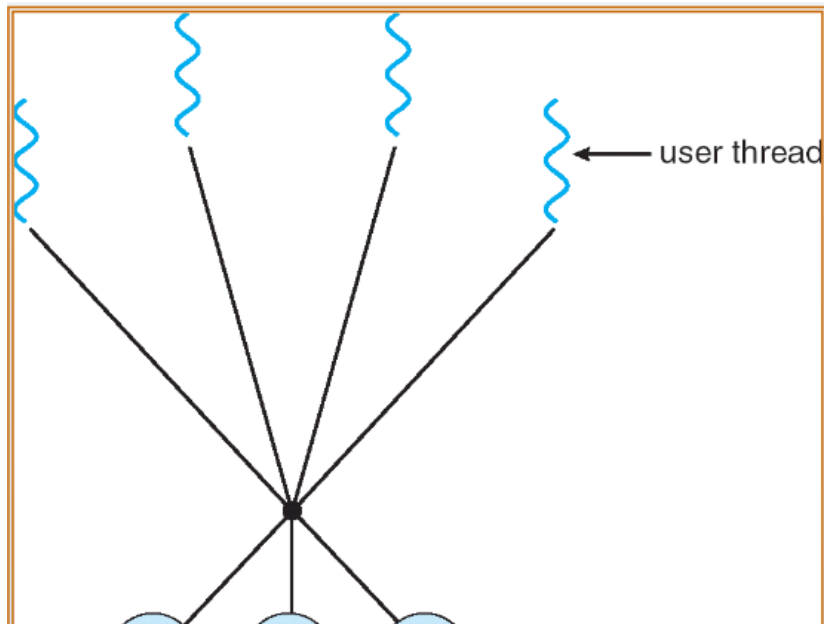
Many-to-one Model



One-to-one Model



Many-to-Many Model





2.7.3 线程的同步和通信

- 1. 互斥锁
 - * 阻塞方式
lock(mutex)
访问
unlock(mutex)
 - * 非阻塞方式
if (trylock) then
else



2.7.3 线程的同步和通信

- 2. 条件变量
 - * 用于线程的长期等待
- 3. 信号量机制
 - * 私用信号量 (private semaphore)
 - 作用域在一个进程中
 - * 公用信号量 (public semaphore)
 - 作用于多个进程间

练习 I



1. 进程的并发执行是指若干个进程 ()
A、同时执行
B、在执行的时间上是重叠的
C、在执行的时间上是不可重叠的
D、共享系统资源
2. 若 PV 操作的信号量 S 初值为 2, 当前值为 -1 , 则表示有 () 个等待进程。
A、0 个 B、1 个 C、2 个 D、3 个
3. 用 PV 操作管理临界区时, 信号量的初值应定义为 ()
A、 -1 B、0 C、1 D、任意值
4. 用 V 操作唤醒一个等待进程时, 被唤醒进程的状态变为 ()
A、等待 B、就绪 C、运行 D、完成



练习 II

5. () 是一种只能进行 P 操作和 V 操作的特殊变量。(PV 操作只能在 () 上操作)
- A、调度 B、进程 C、同步 D、信号量
6. 对于两个并发进程，设互斥信号量为 mutex，若 $\text{mutex} = 0$ ，则 ()
- A、表示没有进程进入临界区
B、表示有一个进程进入临界区
C、表示有一个进程进入临界区，另一个进程等待进入
D、表示有两个进程进入临界区
7. 临界区是 ()
- A、一个缓冲区 B、一段共享数据区
C、一段程序代码 D、一个互斥资源
8. 信号量的物理意义是当信号量大于零时表示 ()；当信号量小于零时，其绝对值为 ()。

练习 III

9. 临界资源的概念是 (), 而临界区是指 ()。
10. 若一个进程已进入临界区, 其它欲进入临界区的进程必须 ()。
11. 用 PV 操作管理临界区时, 任何一个进程在进入临界区之前应调用 () 操作, 退出临界区时应调用 () 操作。
12. 有 m 个进程共享同一临界资源, 若使用信号量机制实现对临界资源的互斥访问, 则信号量的变化范围是 ()。
13. 操作系统中, 对信号量 S 的 P 原语的定义中, 使进程进入相应等待队列等待的条件是 ()。
14. 如果信号量的当前值为 - 4, 则表示系统中在该信号量上有 () 个等待进程。
15. 并发进程之间的基本关系是 () 或 ()。其中 () 是指进程之间的一种间接的关系。



本章作业及延伸阅读

- 作业：操作系统同步之信号量机制

根据文章介绍，实现并进行体验。<https://zhuanlan.zhihu.com/p/34410587>

要求：以 Markdown 格式交作业，包括但不限于以下部分：

- * 整个测试流程及代码
 - * 心得体会
 - * 个人信息
- 阅读（不用交）：关于现代 CPU，程序员应当更新的知识：

<http://www.iteye.com/news/30978>

— END —

展示作业 I



1. 协程与进程
2. CPU 与 GPU
3. 中国芯片发展状况
4. 开源软件的发展历史和重要开源项目介绍
5. 计算机存储系统的现状与发展趋势
6. Linux 常用命令
- X 区块链
7. Java 编程语言的发展趋势
- X 著名 IT 公司介绍
8. 著名 IT 人物介绍
9. 信息的度量
10. 操作系统扩展学习资料汇编

致谢



本讲义的内容来自于参考教材及互联网上的部分讲义和公开资料，包括但不限于：

计算机操作系统、深入理解计算机系统、操作系统精髓、操作系统之哲学原理、带你逛西雅图活电脑博物馆...

遗漏之处，请留言联系以便补充。