操作系统

参考资料《现代操作系统》、清华大学电子工程系操作系统课程课件、2018 EESAST软件部培训课件，以及其它注明的资料。

进程与线程

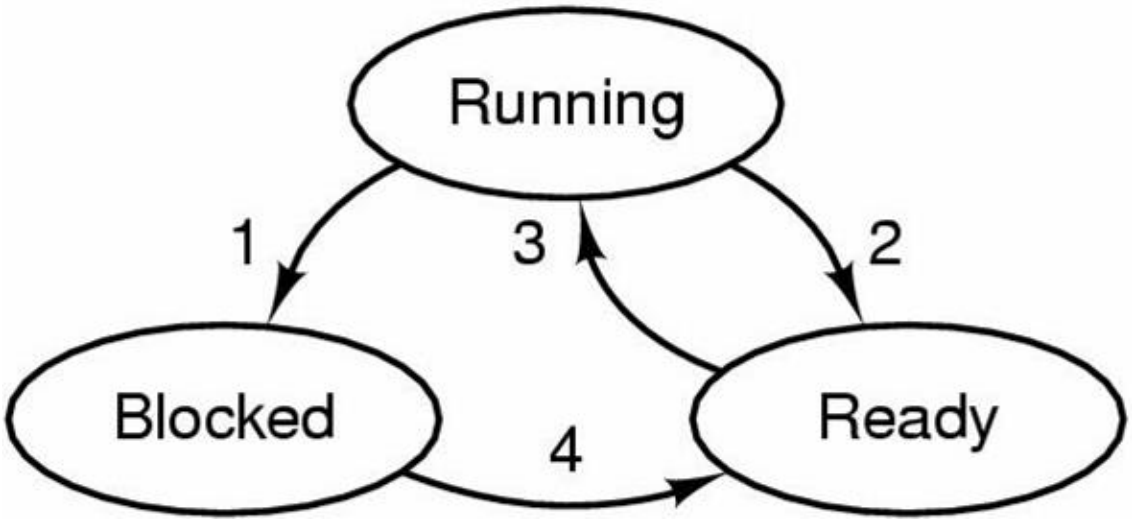
进程

进程（Process）是具有独立功能的程序在某个数据集合上的一次运行活动，可以理解为操作系统执行的一个程序的实例。

进程 = 程序 + 数据 + PCB（Process Control Block）

Process management	**Memory management**	**File management**
Registers	Pointer to text segment	Root directory
Program counter	Pointer to data segment	Working directory
Program status word	Pointer to stack segment	File descriptors
Stack pointer		User ID
Process state		Group ID
Priority		
Scheduling parameters		
Process ID		
Parent process		
Process group		
Signals		
Time when process started		
CPU time used		
Children's CPU time		
Time of next alarm		

三状态模型：运行、就绪、阻塞。



1. 运行 ——> 阻塞

- 等待OS完成系统调用
- 等待资源
- 等待IO
- ……

2. 运行 ——> 就绪
   - 进程用完了时间片
   - 被高优先级进程抢占
3. 就绪 ——> 运行
   - 被调度
4. 阻塞 ——> 就绪
   - 所等待的事件已经发生

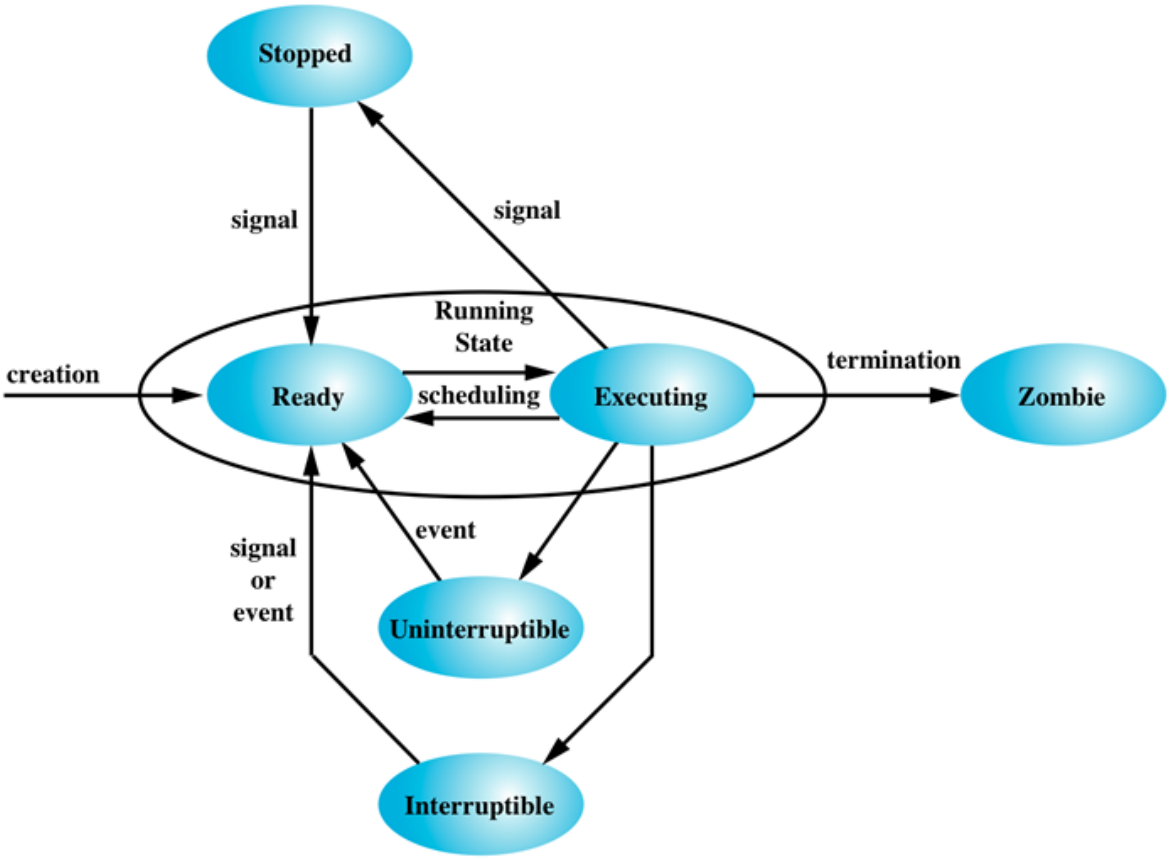


Figure 4.18 Linux Process/Thread Model

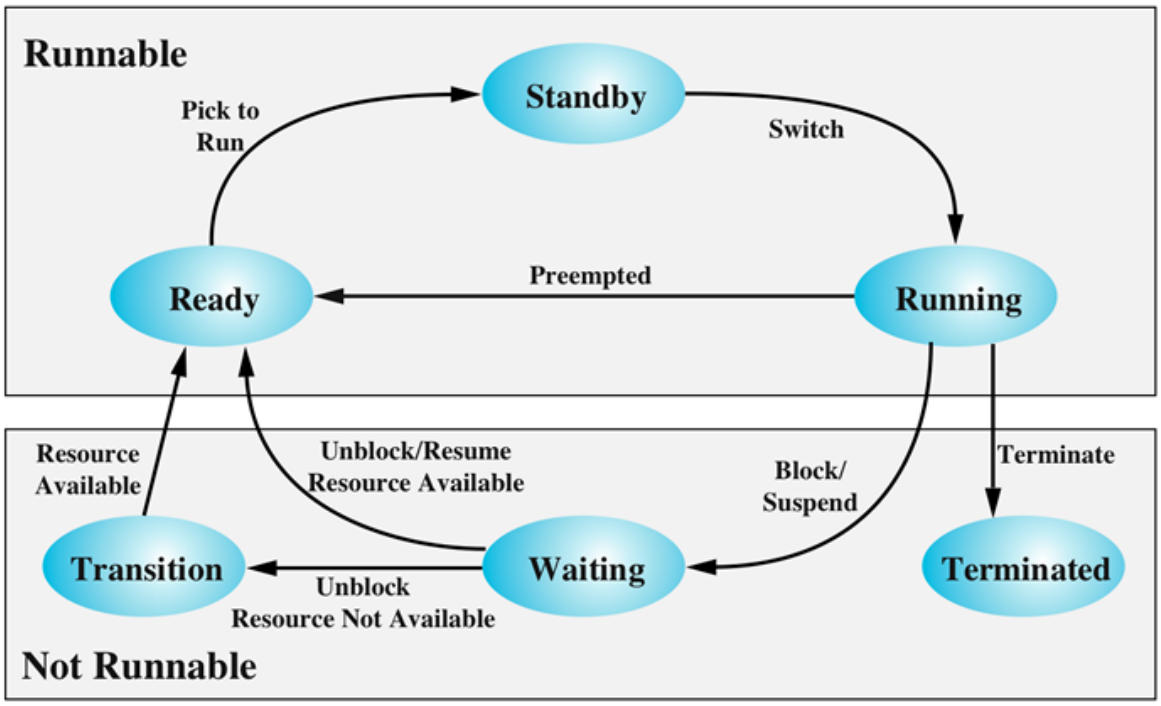


Figure 4.14 Windows Thread States

线程

线程（Thread）进一步减小了程序并发执行的时空开销，是轻量级进程。进程是资源分配的单位，线程是处理器调度的单位，同一个进程的多个线程共享资源。

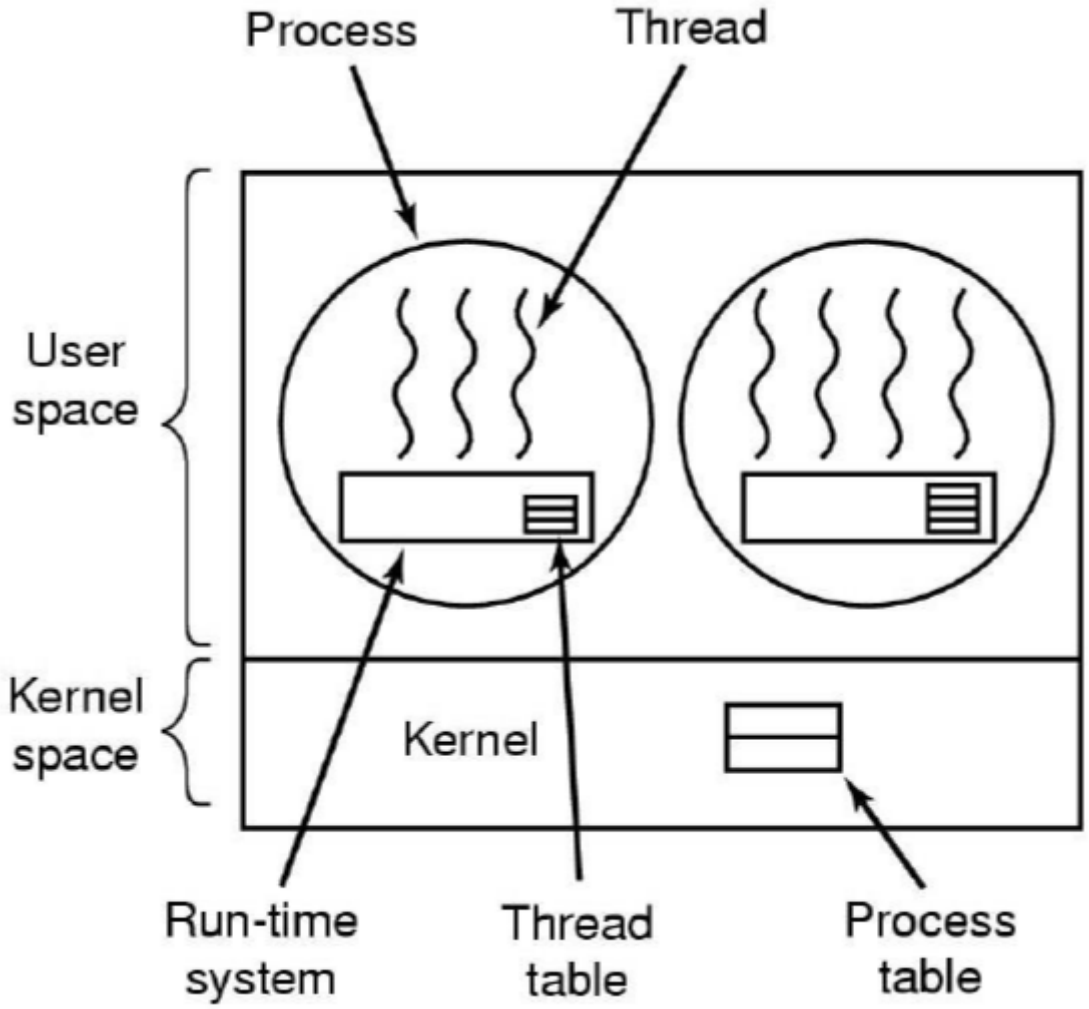
Per process items	Per thread items
Address space	Program counter
Global variables	Registers
Open files	Stack
Child processes	State
Pending alarms	
Signals and signal handlers	
Accounting information	

用户级线程 vs 内核级线程

用户级线程

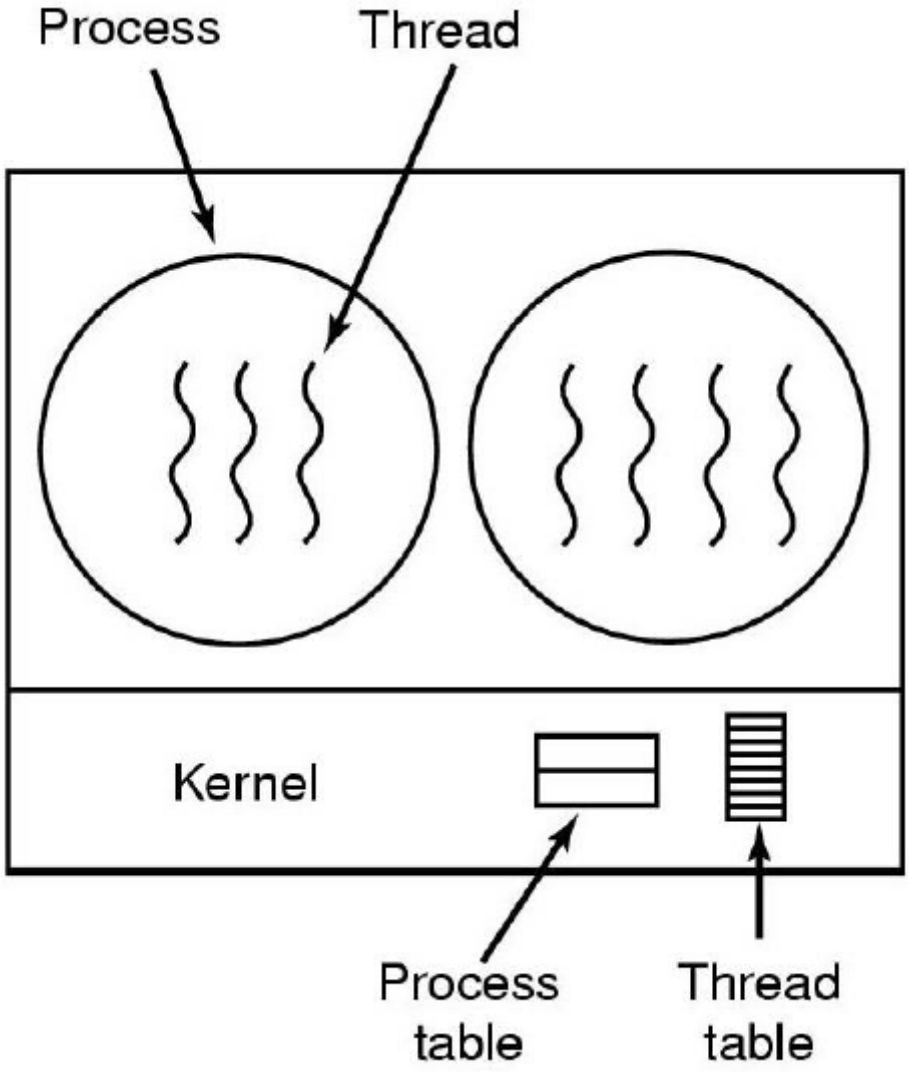
由用户空间线程库（运行时系统）管理线程，每个进程掌管各自线程。操作系统不知道线程的存在，线程切换在用户态完成，调度方式可由应用指定。

不陷入内核而性能良好，可跨平台，但线程阻塞时，会将整个进程阻塞。



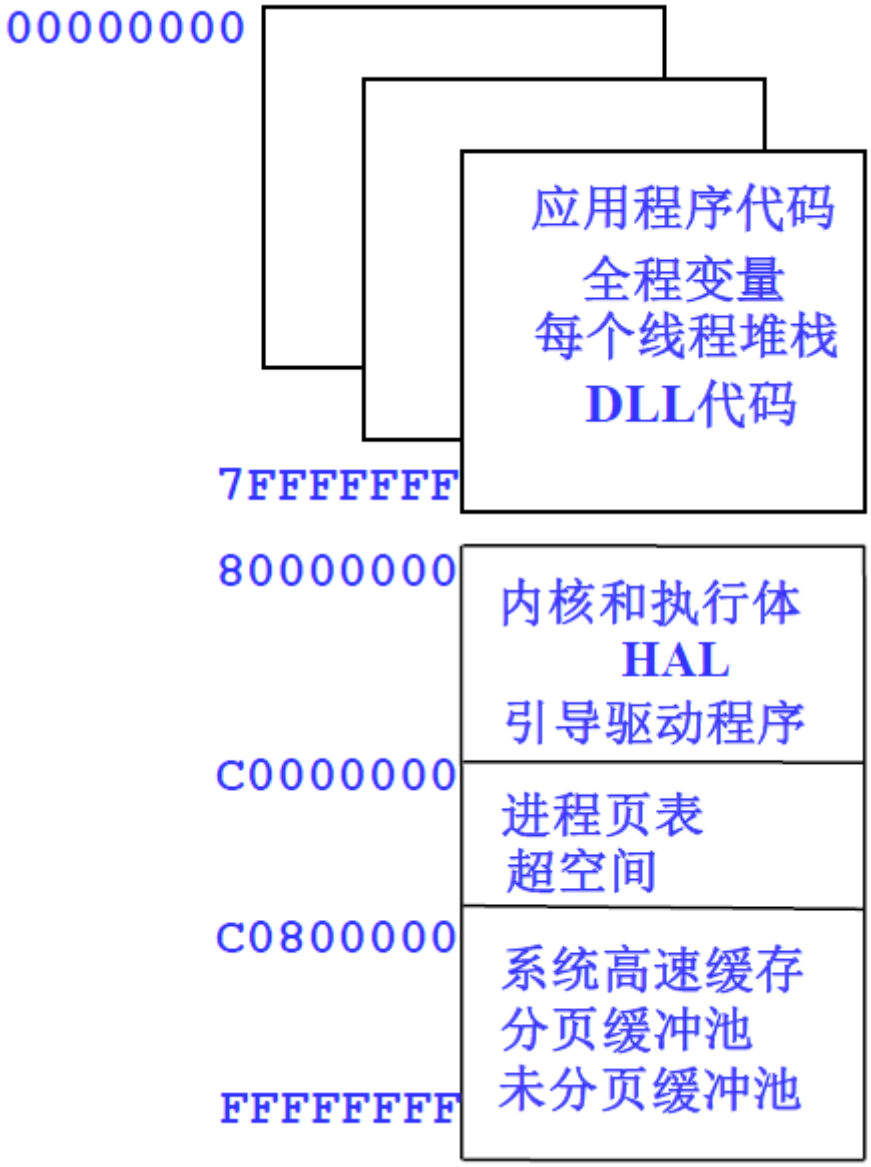
内核级线程

操作系统内核管理线程，以线程为单位调度，可实现真正的多线程。



处理器

处理器状态：核心态（Kernel mode）与用户态（User mode），通过陷入（Trap）与修改程序状态字（PSW）互相切换。



CPU的一个核心上，同一时间片只能执行一个线程。操作系统在单核上实现并行的方式是通过处理器调度，使得各线程轮流执行，实现宏观并行。操作系统的调度需要陷入核心态，保存寄存器、堆栈，同时cache需要更新，因此有一定时间开销。

中断驱动：

1. Hardware stacks program counter, etc.
2. Hardware loads new program counter from interrupt vector.
3. Assembly language procedure saves registers.
4. Assembly language procedure sets up new stack.
5. C interrupt service runs (typically reads and buffers input).
6. Scheduler decides which process is to run next.
7. C procedure returns to the assembly code.
8. Assembly language procedure starts up new current process.

调度的时刻（抢先vs非抢先）：

- 创建一个新进程后
- 一个进程运行完毕后
- 中断

- 一个进程被阻塞
- 时间片轮转

对于计算密集型任务，频繁调度不划算；而对于IO密集型任务，调度是有较大收益的。

原语（primitive）：由若干条指令构成的“原子操作（atomic operation）”过程，作为一个整体而不可分割——要么全都完成，要么全都不做 要么全都不做 要么全都不做 。许多系统调用都是原语。原语可以避免因调度而被打断。

需要注意的是，C或其它编程语言的一条指令可能由多个汇编语句构成，而处理器执行汇编指令中都可能发生调度，因此同一条指令可能被打断，发生各种情况。

Linux / Windows / POSIX 中的进程与线程

Linux

Linux无线程概念，但可共享资源的进程可看作线程，相当于内核级线程。

`fork()`：创建一个新进程（子进程），子进程是父进程的精确复制，二者返回值不同，父进程中返回子进程标识，子进程中返回0。

`exec()`：加载一个新进程覆盖自身。

`exit()`：父进程退出时给所有子进程发送`SIGHUP`信号（子进程继承了进程组ID）；子进程退出时向父进程发送`SIGCHLD`信号，父进程可用`wait()`截获此信号。

`sleep()`：暂停一段时间（实际是等待一个信号，或为`SIGALRM`）。

`pause()`：暂停并等待信号。

`kill()`：发送信号到某个或某组进程。

（注：`Ctrl`+`C`发送`SIGINT`，`Ctrl`+`\`发送`SIGQUIT`，`Ctrl`+`Z`发送`SIGTSTP`）

```
Signal     Value     Action   Comment
──────────────────────────────────────────────────────────────────────
SIGHUP       1       Term     Hangup detected on controlling terminal
                              or death of controlling process
SIGINT       2       Term     Interrupt from keyboard
SIGQUIT      3       Core     Quit from keyboard
SIGILL       4       Core     Illegal Instruction
SIGABRT      6       Core     Abort signal from abort(3)
SIGFPE       8       Core     Floating point exception
SIGKILL      9       Term     Kill signal
SIGSEGV     11       Core     Invalid memory reference
SIGPIPE     13       Term     Broken pipe: write to pipe with no
                              readers
SIGALRM     14       Term     Timer signal from alarm(2)
SIGTERM     15       Term     Termination signal
SIGUSR1   30,10,16   Term     User-defined signal 1
SIGUSR2   31,12,17   Term     User-defined signal 2
SIGCHLD   20,17,18   Ign      Child stopped or terminated
SIGCONT   19,18,25   Cont     Continue if stopped
SIGSTOP   17,19,23   Stop     Stop process
SIGTSTP   18,20,24   Stop     Stop typed at terminal
SIGTTIN   21,21,26   Stop     Terminal input for background process
SIGTTOU   22,22,27   Stop     Terminal output for background process

The signals SIGKILL and SIGSTOP cannot be caught, blocked, or
ignored.
```

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
```

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/wait.h>
#include <errno.h>

main(){
        int i;
        pid_t child;

        if ((child = fork()) == -1)
        {
                printf("Fork Error.\n");
                exit(1);
        }

        if (child == 0)
        {       //in child process
                printf("Now it is in child process.\n");
                if (execl("test","test",NULL) == -1)
                {
                        perror("Error in child process");
                        exit(1);
                }
                exit(0);
        }


        printf("Now it is in parent process.\n");
        for (i = 0; i < 10; i++)
                {
                sleep(2);
                printf("Parent in loop: %d\n",i);
                if (i == 2)
                {
                        if ((child = fork()) == -1)
                        {
                                printf("Fork Error.\n");
                                exit(1);
                        }

        if (child == 0)
        {       // in child process
                printf("Now it is in child process.\n");
                if (execl("/test","test",NULL) == -1)
                {
                        perror("Error in child process");
                        exit(1);
                }
                exit(0);
        }
}
                if (i == 3)
                {
                        pid_t temp;
                        temp = wait(NULL);
                        printf("Child process ID: %d\n", temp);
                }
        }
```

```
        exit(0);
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

main()
{
        int i;
        pid_t CurrentProcessID, ParentProcessID;
        CurrentProcessID = getpid();
        ParentProcessID = getppid();
        printf("Now it is in the program TEST.\n");
        for (i = 0; i < 10; i++)
        {
                sleep(2);
                printf("Current: %d, Parent: %d, Loop: %d\n", CurrentProcessID,
ParentProcessID, i);
        }
        exit(0);
}
```

Windows

Windows进程是惰性的，无实际作用，线程是调度单位，内核级线程。

```
BOOL CreateProcess(
    LPCWSTR pszImageName,
    LPCWSTR pszCmdLine,
    LPSECURITY_ATTRIBUTES psaProcess, LPSECURITY_ATTRIBUTES psaThread, BOOL
fInheritHandles,
    DWORD fdwCreate,
    LPVOID pvEnvironment,
    LPWSTR pszCurDir,
    LPSTARTUPINFOW psiStartInfo, LPPROCESS_INFORMATION pProcInfo
);

VOID ExitProcess(
    UINT uExitCode
);

BOOL TerminateProcess(
    HANDLE hProcess,
    DWORD uExitCode
);
```

```
#include <stdio.h>
#include <windows.h>

int main()
{
    TCHAR szCmdLine[]={TEXT(".\\test.exe")};
    STARTUPINFO si;
    PROCESS_INFORMATION pi;
```

```
    memset(&si, 0, sizeof(STARTUPINFO));
    si.cb = sizeof(STARTUPINFO);
    si.dwFlags = STARTF_USESHOWWINDOW;
    si.wShowWindow = SW_SHOW;

    if(!CreateProcess(NULL, szCmdLine, NULL, NULL, FALSE, 0, NULL, NULL, &si,
&pi))
    {
        printf("Create process fail!\n");
        ExitProcess(1);
    }
    else
    {
        printf("Create process success!\n");
        ExitProcess(0);
    }
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <windows.h>

int main()
{
    printf("Hello, this is a child process.\n");
}
```

POSIX

POSIX（Portable Operating System Interface，可移植操作系统接口）未限定用户级/内核级线程。多线程编程接口标准pthread。

```
#define _REENTRANT
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>

#define NUM_THREADS 5
#define SLEEP_TIME 10

void *sleeping(void *); /* thread routine */
int i;
pthread_t tid[NUM_THREADS];     /* array of thread IDs */

int main()
{
    for(i=0; i<NUM_THREADS; i++)
        pthread_create(&tid[i], NULL, sleeping, (void *)SLEEP_TIME);
    for(i=0; i<NUM_THREADS; i++)
        pthread_join(tid[i], NULL);  //逐个等待线程结束
    printf("main() reporting that all %d threads have terminated\n", i);
    return(0);
} /* main */

void *sleeping(void *arg)
{
    int sleep_time = (int)arg;
    printf("thread %u sleeping %d seconds ...\n", pthread_self(), sleep_time);
```

```
    sleep(sleep_time);
    printf("\nthread %u awakening\n", pthread_self());
    pthread_exit(0);
}
```

不同编程语言中的进程与线程

C可使用Windows API或pthread进行编写。

C++虽然也可使用pthread，但建议使用`std::thread`等STL库。

C#的进程/线程会在之后课程中介绍。

JavaScript是单线程执行的，使用异步操作可实现伪多线程。

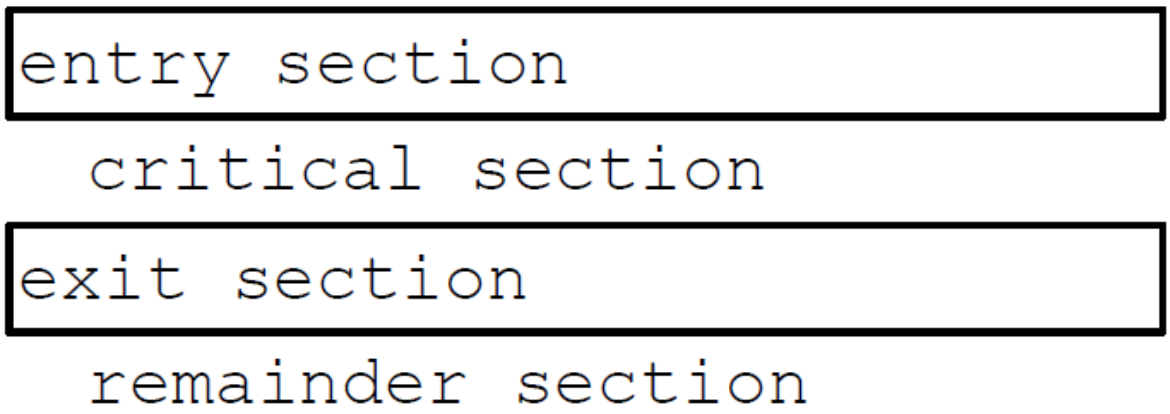
Python有multiprocessing库。Python的解释器执行代码时，有一个GIL锁：Global Interpreter Lock，任何Python线程执行前，必须先获得GIL锁，然后，每执行100条字节码，解释器就自动释放GIL锁，让别的线程有机会执行。这个GIL全局锁实际上把所有线程的执行代码都给上了锁，所以，多线程在Python中只能交替执行，即使100个线程跑在100核CPU上，也只能用到1个核。因此使用官方Python解释器的多线程无法并行执行。

进程同步与互斥

1. 一个进程如何把信息传递给另一个进程?
2. 如何保证对共享资源的访问不至于引起冲突?
3. 如何保证正确的操作顺序?

临界资源：多个进程访问时，必须互斥的硬件或软件资源。

临界区——进入区——退出区——剩余区



解决互斥问题需要遵循的条件：

1. 任何两个进程不能同时处于临界区
2. 不应对CPU的速度和数量做任何假设
3. 临界区外运行的进程不得阻塞其他进程
4. 不得使进程无限期等待进入临界区

互斥问题的算法：

- 禁止中断

  进入临界区前执行关闭中断指令，离开临界区后执行开中断。

  简单但可靠性差，不适合多处理器。

- 严格轮转法

自旋锁（不正确）：

```
while(lock==1);
lock=1;
// critical_region
lock=0;
// noncritical_region
```

严格轮转：

进程0

```
while(turn!=0);
// critical_region
turn=1;
// noncritical_region
```

进程1

```
while(turn!=1);
// critical_region
turn=0;
// noncritical_region
```

进程严格轮流进入临界区。

忙等待，效率较低，且可能在临界区外阻塞别的进程。

- Petersen算法

```
flag[0]   = false;
flag[1]   = false;
int turn;

P0: flag[0] = true;
    turn = 1;
    while (flag[1] == true && turn == 1);
    // critical section
    flag[0] = false;

P1: flag[1] = true;
    turn = 0;
    while (flag[0] == true && turn == 0);
    // critical section
    flag[1] = false;
```

可以正常工作的解决互斥问题的算法，仍使用锁。

忙等待，效率较低。

- 硬件指令方法

X86的BTS/BTR指令，XCHG指令

BTS OP1, OP2——将OP1中第OP2位的值保存到标志寄存器FLAGS的进位标志CF中，并将被测试的位置1

BTR OP1, OP2——将OP1中第OP2位的值保存到进位标志CF中，并将被测试的位清0

XCHG OP1, OP2——交换OP1和OP2

```
enter_region:
    LOCK BTS lock, 0
    JC enter_region
    RET

leave_region:
    LOCK BTR lock, 0
    RET
```

```
enter_region:
    MOV reg, 1
    LOCK XCHG lock, reg
    CMP reg, 0
    JNZ enter_region
    RET

leave_region:
    LOCK MOV lock, 0
    RET
```

使用硬件提供不被打断的单条指令读写共享变量。

适用于任意数目进程，且较简单，但仍有忙等待。

- 信号量

  使用原语访问信号量管理资源。

  不必忙等，效率较高，但信号量的控制分布在整个程序中，正确性难以保证。

- 管程

  信号量及其操作的高级语言封装。

  效率同信号量一样，易于管理开发。

- 消息传递

  用以实现分布式系统的同步、互斥。

  支持分布式系统，但消息传递本身效率较低且不完全可靠。

忙等待不但浪费CPU时间，还会出现优先级反转问题（priority inversion problem）：两个进程H、L，H优先级高于L，调度规则为只要H处于就绪态它就可以运行。若某一时刻L处于临界区中，此时H变成就绪态并被调度，从而开始忙等待；但是由于H的优先级高于L，使得L不会被调度，也就无法离开临界区。

信号量

每个信号量`s`除了一个整数值`s.count`外，还有一个进程等待队列`s.queue`，队列中是阻塞在该信号量上的各个进程的标识。访问信号量仅能通过初始化和两个原语（P、V原语）进行。

`s.count>0`表示有`count`个资源可用

`s.count=0`表示无资源可用

`s.count<0`则`|s.count|`表示`s`等待队列中的进程个数

P操作表示申请一个资源，它使信号量之值减1，如果信号量之值小于0，则进程被阻塞而不能进入临界区

V操作表示释放一个资源，它使信号量之值增1，如果信号量之值不大于0，则唤醒一个被阻塞的进程

```
P(s)
{
    --s.count; // 表示申请一个资源
    if (s.count < 0) // 表示没有空闲资源
    {
        // 调用进程进入等待队列 s.queue
        // 阻塞调用进程
    }
}

V(s)
{
    ++s.count; // 表示释放一个资源
    if (s.count <= 0) // 表示有进程处于阻塞状态
    {
        // 调用进程进入等待队列 s.queue;
        // 阻塞调用进程;
    }
}
```

互斥：信号量`mutex`（MUTual EXclusion）初值为1

```
P(mutex);
// critical_region
V(mutex);
// noncritical_region
```

同步：信号量初值为0

```
P1() {
    //...
    V(sem);
}

P2() {
    P(sem);
    //...
}
```

P、V原语必须成对出现，不可遗漏。互斥PV操作在同一进程内，同步PV操作在不同进程内。同步P操作必须在互斥P操作前。

生产者-消费者问题：n单元共享缓冲区（互斥），生产者进程不断写入，消费者进程不断读出。

`empty`初值为n，`full`初值为0。

`Producer`

```
P(empty);
P(mutex);
// one unit -> buffer
V(mutex);
V(full);
```

`Consumer`

```
P(full);
P(mutex);
// one unit <- buffer
V(mutex);
V(empty);
```

pthread中信号量类型`sem_t`，通过`sem_init()`，`sem_post()`，`sem_wait()`操作。

进程间通信

Linux进程间通信

- 信号

  相当于软中断，通过`kill`系统调用产生，也会在一些其它情况下发送信号（如键盘中断、运算溢出、内存访问错误等）。

  `sighandler_t signal(int signum, sighandler_t handler);`可设置信号处理例进程。

  ```
  #include <signal.h>
  void catchint(int signo)
  {
      printf("\n CATCHINT; signo=%d;", signo);
      printf("CATCHINT returning\n");
  }

  int main()
  {
      int i;
      signal(SIGINT, catchint);
      for(i=0; i<5; i++)
      {
          printf("Sleep call #%d\n", i); sleep(5);
      }
      printf("Exiting.\n");
  }
  ```

- 管道

  管道（pipe）是在进程间以字节流方式传送信息的通信通道，具有亲缘关系的进程间可用无名管道，无亲缘关系可用命名管道。

  管道即文件，Linux下将两个file结构指向同一个临时的VFS索引节点，指向同一个物理页而实现管道。

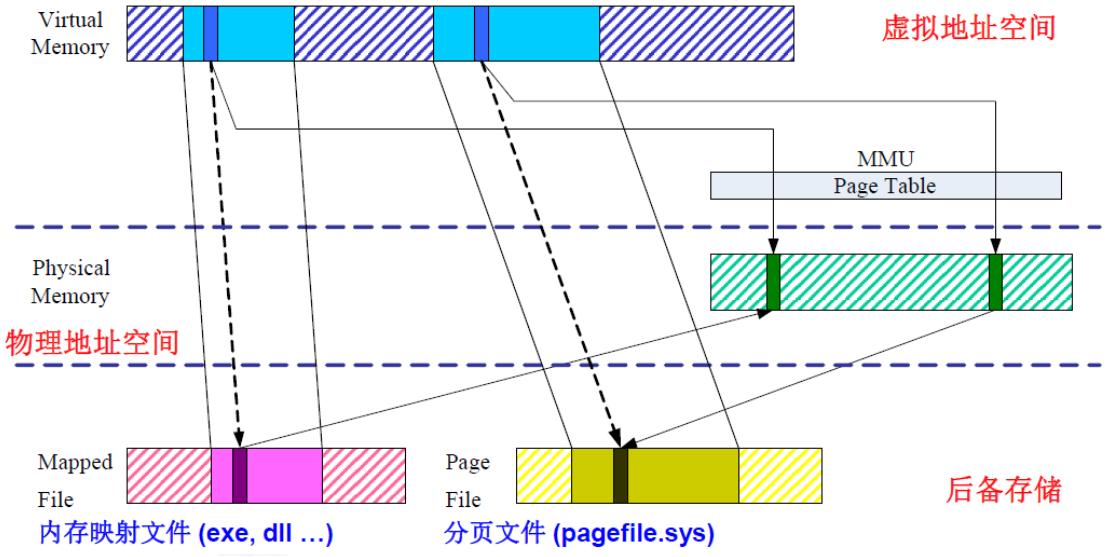
  通过`int pipe(int fildes[2]);`系统调用可创建无名管道，文件描述符`fildes[0]`为读端，`fildes[1]`为写端。

  shell中管道`|`操作符将第一个命令的`stdout`指向第二个命令的`stdin`，如`command1 | command2 paramater1 | command3 parameter1 - parameter2 | command4`。

  重定向输入输出`>`、`>>`、`<`、`<<`。

- 消息队列（`<sys/msg.h>`）
- System V信号量（`semget, semop, semctl`）
- 共享内存

Windows存储空间架构



较为常见的一种进程间通信手段。各进程原本占有不同的物理地址空间，互相独立而隔离。而由于进程的虚拟地址可以映射到任意一处物理地址，因此如果两个进程的虚拟地址映射到同一物理地址，则可以实现进程间通信。如果使用共享内存，则在访问时需要其它手段（如信号量）对其进行同步、互斥访问。

Linux有多种内存共享机制，包括`mmap()`系统调用，POSIX共享内存以及System V共享内存等（部分发行版如Redhat 8.0未实现POSIX共享内存）。

System V共享内存在`<sys/shm.h>`头文件中。

`mmap()`系统调用是内存映射，比其它共享内存实现功能更多，共享内存只是其主要应用之一。其形式为`void* mmap ( void * addr , size_t len , int prot , int flags , int fd , off_t offset )`，其中`fd`为文件标识符，可为-1表明匿名映射实现进程间通信。（以下代码转载自https://www.ibm.com/developerworks/cn/linux/l-ipc/part5/index1.html与https://www.geeksforgeeks.org/posix-shared-memory-api/）

```
#include <sys/mman.h>
#include <sys/types.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
typedef struct
{
    char name[4];
    int  age;
} people;
main(int argc, char** argv)
{
    int i;
    people *p_map;
    char temp;
    p_map = (people*)mmap(NULL, sizeof(people) * 10, PROT_READ | PROT_WRITE,
                          MAP_SHARED | MAP_ANONYMOUS, -1, 0);
    if (fork() == 0)
    {
        sleep(2);
        for (i = 0; i < 5; i++)
            printf("child read: the %d people's age is %d\n", i + 1, (*
(p_map + i)).age);
        (*p_map).age = 100;
```

```
        munmap(p_map, sizeof(people) * 10); //实际上，进程终止时，会自动解除映射。
        exit();
    }
    temp = 'a';
    for (i = 0; i < 5; i++)
    {
        temp += 1;
        memcpy((*(p_map + i)).name, &temp, 2);
        (*(p_map + i)).age = 20 + i;
    }
    sleep(5);
    printf("parent read: the first people,s age is %d\n", (*p_map).age);
    printf("umap\n");
    munmap(p_map, sizeof(people) * 10);
    printf("umap ok\n");
}
```

`mmap()`联合`shm_open()`也可实现进程间通信，以下是生产者-消费者问题的一个例子。

```
// C program for Producer process illustrating
// POSIX shared-memory API.
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/shm.h>
#include <sys/stat.h>

int main()
{
    /* the size (in bytes) of shared memory object */
    const int SIZE = 4096;

    /* name of the shared memory object */
    const char* name = "OS";

    /* strings written to shared memory */
    const char* message_0 = "Hello";
    const char* message_1 = "World!";

    /* shared memory file descriptor */
    int shm_fd;

    /* pointer to shared memory obect */
    void* ptr;

    /* create the shared memory object */
    shm_fd = shm_open(name, O_CREAT | O_RDWR, 0666);

    /* configure the size of the shared memory object */
    ftruncate(shm_fd, SIZE);

    /* memory map the shared memory object */
    ptr = mmap(0, SIZE, PROT_WRITE, MAP_SHARED, shm_fd, 0);

    /* write to the shared memory object */
    sprintf(ptr, "%s", message_0);
```

```
    ptr += strlen(message_0);
    sprintf(ptr, "%s", message1);
    ptr += strlen(message_1);
    return 0;
}

// C program for Consumer process illustrating
// POSIX shared-memory API.
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/shm.h>
#include <sys/stat.h>

int main()
{
    /* the size (in bytes) of shared memory object */
    const int SIZE = 4096;

    /* name of the shared memory object */
    const char* name = "OS";

    /* shared memory file descriptor */
    int shm_fd;

    /* pointer to shared memory object */
    void* ptr;

    /* open the shared memory object */
    shm_fd = shm_open(name, O_RDONLY, 0666);

    /* memory map the shared memory object */
    ptr = mmap(0, SIZE, PROT_READ, MAP_SHARED, shm_fd, 0);

    /* read from the shared memory object */
    printf("%s", (char*)ptr);

    /* remove the shared memory object */
    shm_unlink(name);
    return 0;
}
```

`mmap()`另一个常见的应用为将文件映射到内存中，可直接如访问内存一般访问文件，使用内存相关方法操作文件，不需要`read`或其它系统调用。（以下代码选自《Linux/UNIX系统编程手册》）

```
/* mmcopy.c

   Copy the contents of one file to another file, using memory mappings.

   Usage mmcopy source-file dest-file
*/
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include "tlpi_hdr.h"
```

```c
int main(int argc, char *argv[])
{
    char *src, *dst;
    int fdSrc, fdDst;
    struct stat sb;

    if (argc != 3)
        usageErr("%s source-file dest-file\n", argv[0]);

    fdSrc = open(argv[1], O_RDONLY);
    if (fdSrc == -1)
        errExit("open");

    /* Use fstat() to obtain size of file: we use this to specify the
       size of the two mappings */

    if (fstat(fdSrc, &sb) == -1)
        errExit("fstat");

    /* Handle zero-length file specially, since specifying a size of
       zero to mmap() will fail with the error EINVAL */

    if (sb.st_size == 0)
        exit(EXIT_SUCCESS);

    src = mmap(NULL, sb.st_size, PROT_READ, MAP_PRIVATE, fdSrc, 0);
    if (src == MAP_FAILED)
        errExit("mmap");

    fdDst = open(argv[2], O_RDWR | O_CREAT | O_TRUNC, S_IRUSR | S_IWUSR);
    if (fdDst == -1)
        errExit("open");

    if (ftruncate(fdDst, sb.st_size) == -1)
        errExit("ftruncate");

    dst = mmap(NULL, sb.st_size, PROT_READ | PROT_WRITE, MAP_SHARED, fdDst,
0);
    if (dst == MAP_FAILED)
        errExit("mmap");

    memcpy(dst, src, sb.st_size);       /* Copy bytes between mappings */

    if (msync(dst, sb.st_size, MS_SYNC) == -1)
        errExit("msync");

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

- 套接字

Windows进程间通信

- 管道
- 共享内存
- 邮件槽
- 套接字

经典IPC问题

- 生产者-消费者问题

```
#define N 100
typedef int semaphore;
semaphore mutex = 1;
semaphore empty= N;
semaphore full = O;
void producer(void)
{
    int item;
    while (TRUE) {
        item = produce_item();
        down(&empty);
        down(&mutex);
        insert_item(item);
        up(&mutex);
        up(&full);
    }
}

void consumer(void)
{
    int item;
    while (TRUE) {
        down(&full);
        down(&mutex);
        item = remove_item();
        up(&mutex);
        up(&empty);
        consume_item(item);
    }
}
```

- 读者-写者问题

允许多个读者同时读，不允许读者、写者同时操作，不允许多个写者同时操作。以下代码读者优先。

```
typedef int semaphore;
semaphore mutex = 1;
semaphore db = 1;
int rc = 0;

void reader(void)
{
    while (TRUE) {
        down(&mutex);
        rc = rc + 1;
        if (rc == 1) down(&db);
        up(&mutex);
        read_data_base();
        down(&mutex);
        rc = rc - 1;
        if (rc == 0) up(&db);
        up(&mutex);
```

```
        use_data_read();
    }
}

void writer(void)
{
    while (TRUE) {
        think_up_data();
        down(&db);
        write_data_base();
        up(&db);
    }
}
```

- 睡眠理发师问题

理发店里有一位理发师，一把理发椅和N把顾客等待椅。如果无顾客，则理发师睡觉。如果顾客到来时理发师在理发，则如果有空椅子则等，否则离开。

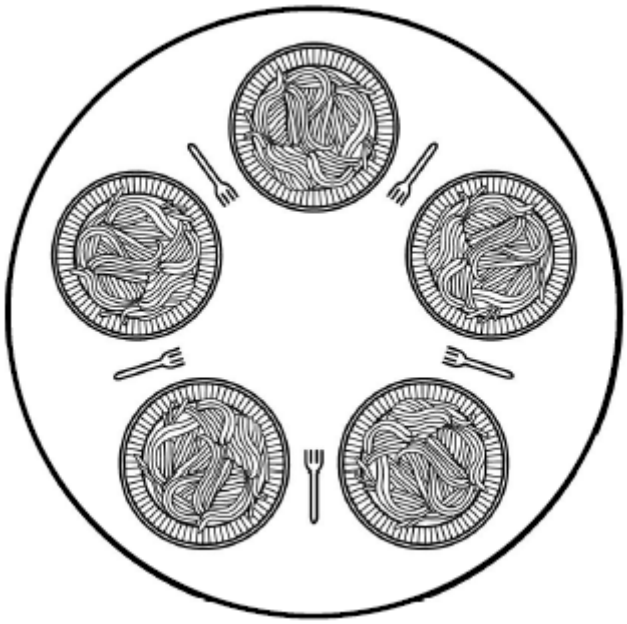
```
#define CHAIRS 5
typederf int semaphore;
semaphore customers = 0;
semaphore barbers = 0;
semaphore mutex = 1;
int waiting = 0;

void barber(void)
{
    while (TRUE) {
        down(&customers);
        down(&mutex);
        waiting = waiting - 1;
        up(&barbers);
        up(&mutex);
        cut_hair();
    }
}

void customer(void)
{
    down(&mutex);
    if (waiting < CHAIRS) {
        waiting = waiting + 1;
        up(&customers);
        up(&mutex);
        down(&barbers);
        get_haircut();
    } else {
        up(&mutex);
    }
}
```

- 哲学家进餐问题

5个哲学家围绕一张圆桌而坐，桌子上放着5把叉子，每两个哲学家之间放一支；哲学家的动作包括思考和进餐，进餐时需要同时拿起他左边和右边的两把叉 子，思考时则同时将两把叉子放回原处。



```
#define N           5
#define LEFT        (i+N-1)%N
#define RIGHT       (i+1)%N
#define THINKING    0
#define HUNGRY      1
#define EATING      2
typedef int semaphore;
int state[N];
semaphore mutex = 1;
semaphore s[N];

void philosopher(int i)
{
    while (TRUE) {
        think();
        take_forks(i);
        eat();
        put_forks(i);
    }
}

void take_forks(int i)
{
    down(&mutex);
    state[i] = HUNGRY;
    test(i);
    up(&mutex);
    down(&s[i]);
}

void put_forks(int i)
{
    down(&mutex);
    state[i] = THINKING;
    test(LEFT);
    test(RIGHT);
    up(&mutex);
}
```

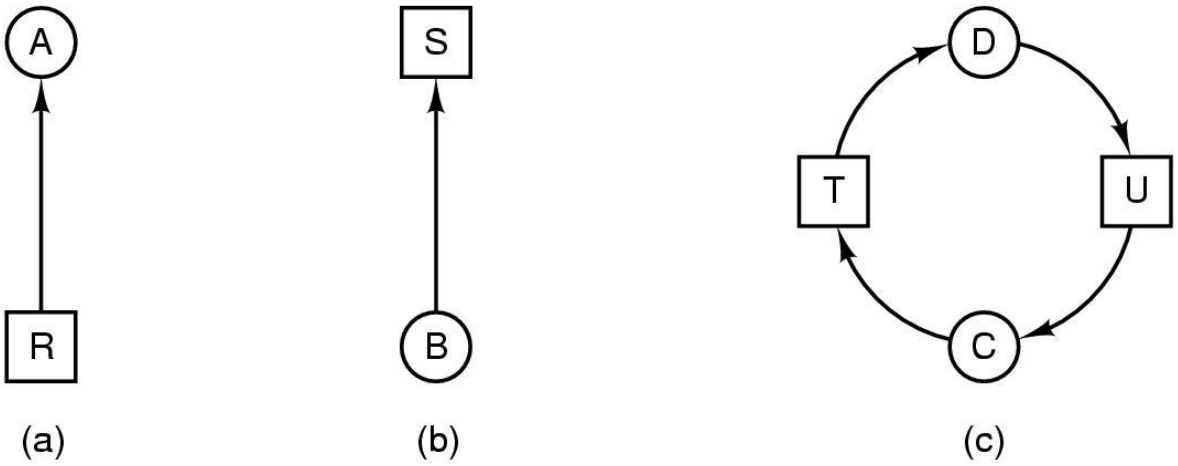
```
void test(int i)
{
    if (state[i] == HUNGRY && state[LEFT] != EATING
       && state[RIGHT] != EATING) {
        state[i] = EATING;
        up(&s[i]);
    }
}
```

死锁

死锁（Deadlock）是指系统中多个进程无限制地等待永远不会发生的条件。

死锁发生的必要条件：

- 互斥
- 请求和保持
- 非剥夺
- 环路等待



处理死锁问题的四种方法：

- 鸵鸟算法
- 死锁预防
  - 预先静态分配法：进程开始运行前一次分配所需全部资源，若系统不能满足，则进程阻塞，直到系统满足其要求——保证进程运行过程中不会再提出新的资源请求。

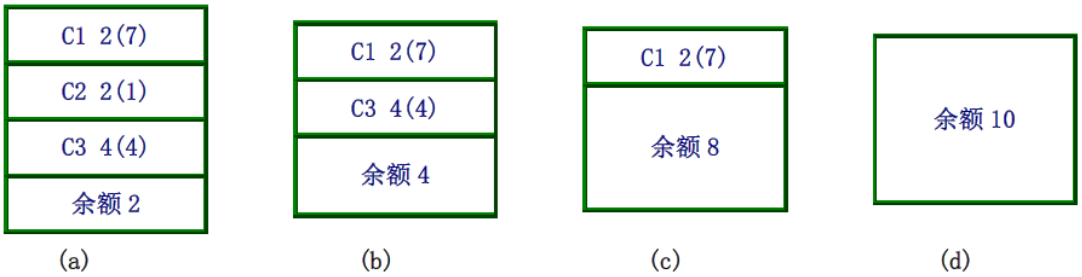
    降低了对资源的利用率，降低进程的并发程度，且有可能无法预先知道所需资源。
  - 有序资源使用法：把资源分类按顺序排列，保证对资源的请求不形成环路。

    限制进程对资源的请求顺序，资源的排序占用系统开销。
- 死锁检测
  - 资源分配图算法：将进程和资源间的请求和分配关系用一个有向图描述，通过检查有向图中是否存在循环判断是否存在死锁。
- 死锁避免
  - 银行家算法：规定顾客分成若干次进行借款，要求在第一次借款时，能说明他的最大借款额
    具体算法：
    1. 顾客的借款操作依次顺序进行，直到全部操作完成
    2. 银行家对当前顾客的借款操作进行判断，以确定其安全性 (能否支持顾客借款，直到全部归还)
    3. 安全时，贷款；否则，暂不贷款

允许互斥、部分分配和不可抢占，可提高资源利用率；

要求事先说明最大资源要求，在现实中很困难。

银行家总资源10，C1请求9，C2请求3，C3请求8。



(a) (b) (c) (d)

练习

1. 一个可容纳2人的卫生间，使用时需要保证不能有不同性别顾客同时进入卫生间，请使用信号量写出男性、女性进程的伪代码。
2. 一个家庭餐厅，有N个家庭座与M个单人座，家庭顾客只能做家庭座，单人客户二者皆可。店内无座位则等待。另外，进入餐厅时需要登记体温，一次仅能登记一桌顾客。请分别写出家庭顾客和单人客户进程伪代码模拟这一过程。

参考答案之后可能更新。