操作系统　第四章　进程管理

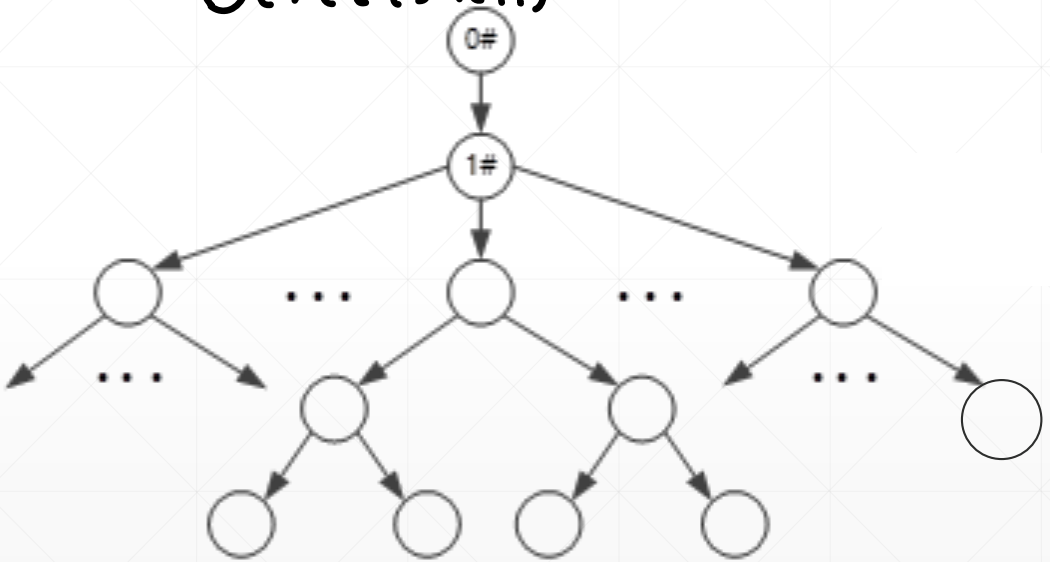
4.6 进程树，应用程序加载 和 进程终止

同济大学计算机系

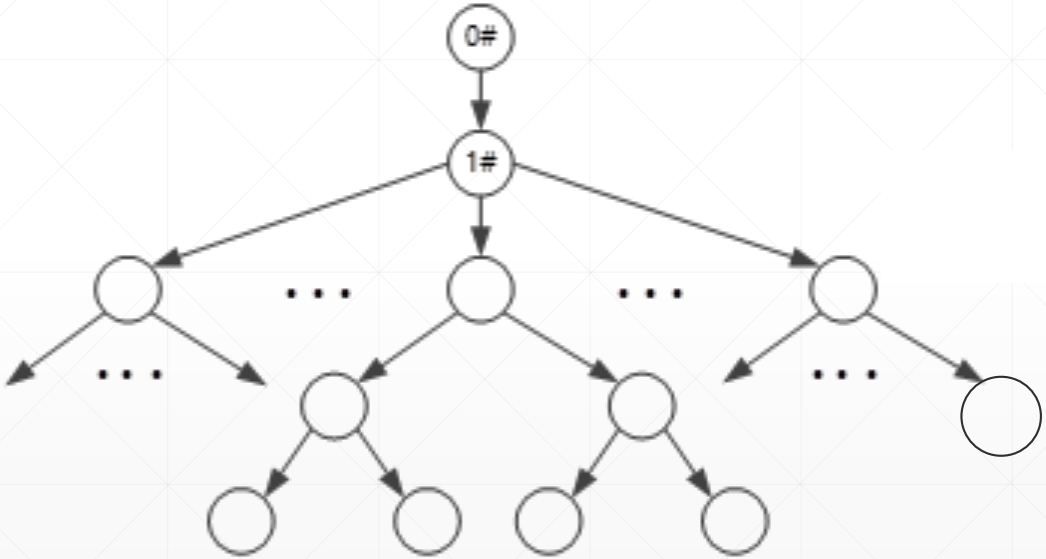
Part 1：进程树 和 可执行程序加载

所有进程都是fork创建出来的

- 在Unix系统中，除0#进程外，所有进程都是fork创建出来的。
- 执行fork的是父进程，被创建的是子进程。
  - 0#进程创建1#进程。 1#进程，是整个Unix系统的监控进程。
  - 1#进程为每个加电的tty创建一个进程，这个进程先初始化终端；然后执行login程序，接受用户输入的用户名和口令字；最终会执行shell程序，变成shell进程，为使用这个终端的用户提供命令行界面服务。
  - shell进程解析命令行，为命令行中出现的每个应用程序创建一个进程。这个进程负责执行这个应用程序。
  - 进程之间的父子关系，绘成进程树。



- 每个进程承担一项任务。任务完成，进程终止。
- 0#进程是内核的服务器进程，永不终止。
- 1#进程是系统监控进程。永不终止。
  - 监控终端运行状态。shell进程终止后，创建新进程等待新用户。
  - 回收孤儿进程的PCB
- shell进程为用户提供命令行界面服务，用户logout，shell进程终止。
- 其余进程，应用程序执行完毕，进程终止。



exec，加载、执行磁盘上的可执行程序

需要执行应用程序时，Unix系统 （ shell进程 ）
- fork 一个新进程
- 让新进程 exec 装入目标程序的图像，承担执行应用程序的任务

例：
$ gcc –o testStack testStack.c

新建gcc进程。gcc进程是shell进程的子进程。
- 子进程 fork 返回时，执行shell程序
- 随后，子进程执行exec系统调用
  - 清除线性地址空间中的shell进程图像
  - 装入目标程序gcc，承担执行gcc程序的任务

```
main( )    // shell程序代码片段
{
   ……
   int i ;
   if( i = fork( ))
         ……
   else
         exec ( “gcc” , arg1，arg2……);
}
```

子进程要执行的程序　　程序的命令行参数

判断执行权限，
① P_uid是否等于 i_uid
② 访问权限 RWX RWX RWX

1、exec(“commd”，arg1，arg2……) 概貌

owner

执行权限

- 目录搜索可执行程序commd　没找到，出错返回
- 有 执行权限X 吗?　No，出错返回
- Yes，释放代码段

  释放数据段和堆栈段（存命令行参数arg1，arg2...）
  - 读commd文件的程序头，得程序代码段、数据段和堆栈段……的段头（section header）
  - 写　MemoryDescriptor
  - 清空、重写相对虚实地址映射表
  - Text数组有commd程序吗? 有，置可复用标识

    无，为代码段分配Text结构，**分配物理内存，清0**
  - 为可交换部分**分配物理内存** 尺寸：**数据段 + bss + 初始栈 + 2页**
  - MaptoUserPageTable，建立用户空间的地址映射关系
  - 从磁盘可执行文件中读入代码段（无可复用标识） 和 数据段

- 得 entry Point 入口，main函数第一条指令地址
- 得section headers
  - virtualBegin、virtualSize
  - fileOffset，fileBegin
  - mode　（只读还是可写）

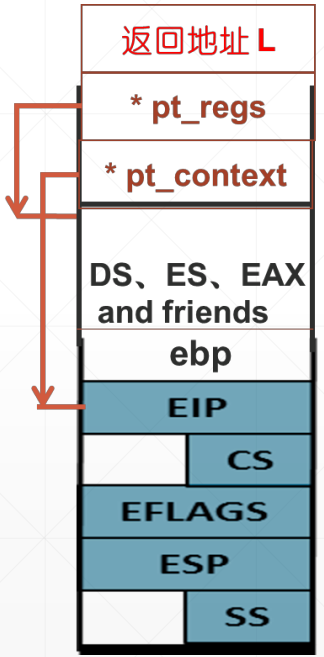
逻辑段

```
class MemoryDescriptor
{
public:
    /* 用户空间大小 8M 0x0 - 0x800000 2 PageTable */
    static const unsigned int USER_SPACE_SIZE = 0x800000;
    static const unsigned int USER_SPACE_PAGE_TABLE_CNT = 0x2;
    static const unsigned long USER_SPACE_START_ADDRESS = 0x0;
...

public:
    PageTable*    m_UserPageTableArray;

    /* 以下数据都是线性地址 */
    unsigned long m_TextStartAddress;   /* 代码段起始地址 */   0x401000
    unsigned long m_TextSize;           /* 代码段长度 */       0x2000
    unsigned long m_DataStartAddress;   /* 数据段起始地址 */   0x402000
    unsigned long m_DataSize;           /* 数据段长度 */       0x2000
    unsigned long m_StackSize;          /* 栈段长度 */
                                        0x1000
};
```

1页PPDA

2页是在数据段和堆栈段中的页

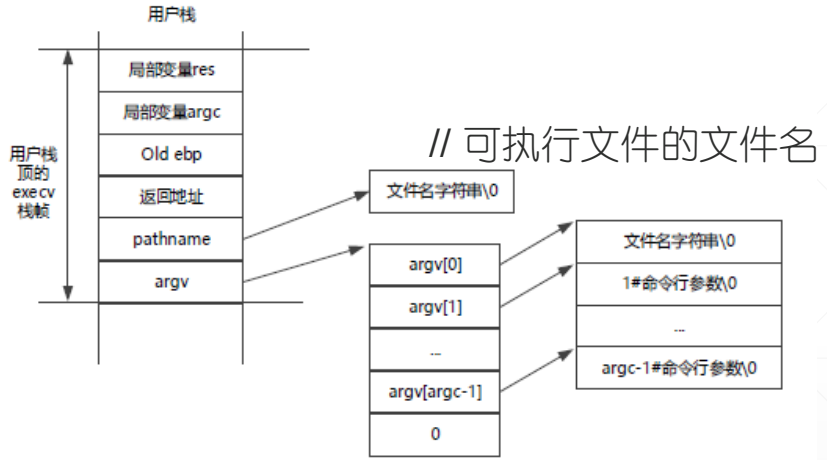
- **栈底创建 main栈帧，压入 可执行程序名，arg1，arg2……**
  - **esp = 8M**
  - **用push的方法依次压入命令行参数**
  - **完成后，esp是用户栈的栈顶**
- **清0 u_signal 数组　　//设置默认的信号处理方式。收到信号后，进程被杀死。**
- 清0 saveContext 压入的所有用户态寄存器（ebp不能碰）
- pContext->eip = 0x00000000;/* 退出到ring3特权级下从线性地址0x00000000处runtime()开始执行 */
- //pContext->eip = parser.EntryPointAddress;
- pContext->xcs = Machine::*USER_CODE_SEGMENT_SELECTOR;*
- pContext->eflags = 0x200;　　// 开中断
- pContext->esp = esp;
- pContext->xss = Machine::*USER_DATA_SEGMENT_SELECTOR;*



2、代码 —— exec 的钩子函数

```
int execv(char *pathname, char *argv[])
{
    int res;
    int argc = 0;
    while(argv[argc] != 0)
        argc++;
    __asm__ volatile ( "int $0x80":"=a"(res):"a"(11),"b"(pathname),"c"(argc),"d"(argv));
    if ( res >= 0 )
        return res;
    return -1;
}
```

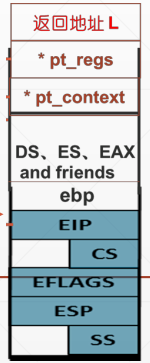
// 清点命令行参数的数量：argc



陷入内核后，核心栈底用户寄存器区： EBX、ECX 和 EDX

u_arg[0] u_arg[1] u_arg[2]

u.u_dirp = (char *)u.u_arg[0]; u.u_arg[4] = (int)context;



用户空间的其它位置

ProcessManager.cpp | main.cpp | MemoryDescriptor.cpp

```
457 void ProcessManager::Exec()
458 {
459     Inode* pInode;
460     Text* pText;
461     User& u = Kernel::Instance().GetUser();
462     FileManager& fileMgr = Kernel::Instance().GetFileManager();
463     UserPageManager& userPgMgr = Kernel::Instance().GetUserPageManager();
464     KernelPageManager& kernelPgMgr = Kernel::Instance().GetKernelPageManager();
465     BufferManager& bufMgr = Kernel::Instance().GetBufferManager();
466
467     Diagnose::Write("Process %d execing\n",u.u_procp->p_pid);
468     pInode = fileMgr.NameI(FileManager::NextChar, FileManager::OPEN);
469     if ( NULL == pInode )   //搜索目录失败
470     {
471         return;
472     }
473
474     /* 如果同时进行图像改换的进程数超出限制，则先进入睡眠 */
475     while( this->ExeCnt >= NEXEC )
476     {
477         u.u_procp->Sleep((unsigned long)&ExeCnt, ProcessManager::EXPRI);
478     }
479     this->ExeCnt++;
480
481     /* 进程必需拥有可执行文件的执行权限，且被执行的只能是一般文件。 */
482     if ( fileMgr.Access(pInode, Inode::IEXEC) || (pInode->i_mode & Inode::IFMT) != 0 )
483     {
484         fileMgr.m_InodeTable->IPut(pInode);
485         if ( this->ExeCnt >= NEXEC )
486         {
487             WakeUpAll((unsigned long)&ExeCnt);
488         }
489         this->ExeCnt--;
490         return;
491     }
```

1、文件系统搜索可执行程序。 pInode是可执行程序的文件控制块

2、检查进程有没有这个程序的可执行权限

ProcessManager.cpp | main.cpp | MemoryDescriptor.cpp

```
493     PEParser parser;
494
495     if ( parser.HeaderLoad(pInode)==false )
496     {
497         fileMgr.m_InodeTable->IPut(pInode);
498         return;
499     }
500
501     /* 获取分析PE头结构得到正文段的起始地址、长度 */
502     u.u_MemoryDescriptor.m_TextStartAddress = parser.TextAddress;
503     u.u_MemoryDescriptor.m_TextSize = parser.TextSize;
504
505     /* 数据段的起始地址、长度 */
506     u.u_MemoryDescriptor.m_DataStartAddress = parser.DataAddress;
507     u.u_MemoryDescriptor.m_DataSize = parser.DataSize;
508
509     /* 堆栈段初始化长度 */
510     u.u_MemoryDescriptor.m_StackSize = parser.StackSize;
511
512     if ( parser.TextSize + parser.DataSize + parser.StackSize  + PageManager::PAGE_SIZE > MemoryDescriptor::USER_SPACE_SIZE - parser.TextAddress)
513     {
514         fileMgr.m_InodeTable->IPut(pInode);
515         u.u_error = User::ENOMEM;
516         return;
517     }
```

1、借用2张页表，读入文件头（主要是section headers 和 entrypoint）

2、写进程的内存描述符

数据段和堆栈段之间一定要空一个逻辑页，这页PTE是null。
（否则堆栈涨到擦除了全局变量，系统都不会报错）

8M
（用户空间总长）

4M+4K（代码段起始地址）

3、可执行文件需要的线性空间 > 8M，系统无法执行该进程，OOM

总长
[代码+数据（含bss）+堆栈]

ProcessManager.cpp | main.cpp | MemoryDescriptor.cpp | sys.c

```
525     int allocLength = (parser.StackSize + PageManager::PAGE_SIZE * 2 - 1) >> 13 << 13;
526     unsigned long fakeStack = kernelPgMgr.AllocMemory(allocLength);
527
528     int argc = u.u_arg[1];
529     char** argv = (char **)u.u_arg[2];
530
531     /* esp定位到栈底 */
532     unsigned int esp = MemoryDescriptor::USER_SPACE_SIZE;
533     /* 使用核心态页表映射，所以在物理地址上加0xC0000000构成线性地址 */
534     unsigned long desAddress = fakeStack + allocLength + 0xC0000000;
535     //unsigned long desAddress = fakeStack + parser.StackSize + 0xC0000000;
536     int length;
537
538     /* 复制argv[]指针数组指向的命令行参数字符串 */
539     for (int i = 0; i < argc; i++ )
540     {
541         length = 0;
542         /* 计算参数字符串长度，length不含'\0' */
543         while( NULL != argv[i][length] )
544         {
545             length++;
546         }
547         desAddress = desAddress - (length + 1);
548         /* 拷贝时将'\0'一起拷贝过去 */
549         Utility::MemCopy((unsigned long)argv[i], desAddress, length + 1);
550         /* 将参数字符串在新进程图像用户栈中的起始位置存入argv[i]，用户栈位于进程逻辑地址空间0x800000的底部 */
551         esp = esp - (length + 1);
552         argv[i] = (char *)esp;
553     }
554
555     /* 后续存放的是int型数值，这里以16字节边界对齐 */
556     desAddress = desAddress & 0xFFFFFFF0;
557     esp = esp & 0xFFFFFFF0;
558
559     /* 复制argc和argv[] */
560     int endValue = 0;
561     desAddress -= sizeof(endValue);
562     esp -= sizeof(endValue);
563     /* 向用户栈中写入endValue作为argv[]的结束 */
564     Utility::MemCopy((unsigned long)&endValue, desAddress, sizeof(endValue));
565
566     desAddress -= argc * sizeof(int);
567     esp -= argc * sizeof(int);
568     /* 写入argv[]的内容 */
569     Utility::MemCopy((unsigned long)argv, desAddress, argc * sizeof(int));
```

1、在页表区分配2个连续物理页框，放命令行参数

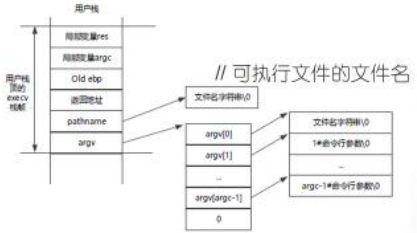
2、exec的入口参数是程序的命令行参数： 个数argc 和 参数字符串数组 argv

3、在借来的页框里构造main栈帧，这就留下了命令行参数

```
571     /* 令endValue指向当前栈中argv[]的起始地址，即argv[]入栈完毕后当前栈顶地址 */
572     endValue = esp;
573     desAddress -= sizeof(int);
574     esp -= sizeof(int);
575     Utility::MemCopy((unsigned long)&endValue, desAddress, sizeof(int));
576
577     /* 最后入栈argc */
578     desAddress -= sizeof(int);
579     esp -= sizeof(int);
580     Utility::MemCopy((unsigned long)&argc, desAddress, sizeof(int));    /* Done! */
```

2、代码 —— exec 的钩子函数

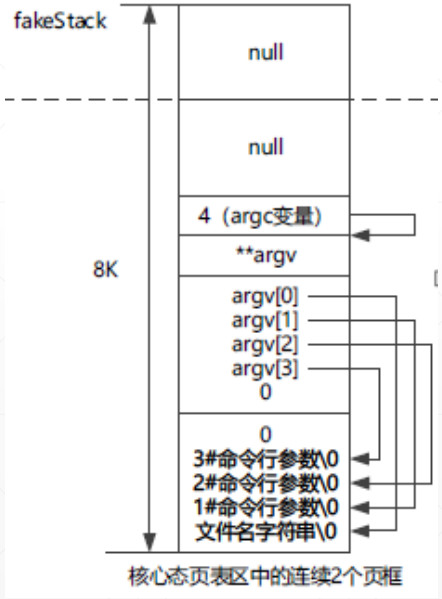
```
int execv(char *pathname, char *argv[])
{
    int res;
    int argc = 0;
    while(argv[argc] != 0)  // 清点命令行参数的数量：argc
        argc++;
    __asm__ volatile ( "int $0x80":"=a"(res):"a"(11),"b"(pathname),"c"(argc),"d"(argv));
    if ( res >= 0 )
        return res;
    return -1;
}
```



陷入内核后，核心栈底用户寄存器区： EBX、ECX 和 EDX

u_arg[0] u_arg[1] u_arg[2]

用户空间的其它位置



核心态页表区中的连续2个页框

```
583     /* 释放原进程图像的共享正文段，数据段，堆栈段 */
584     if ( u.u_procp->p_textp != NULL )
585     {
586         u.u_procp->p_textp->XFree();
587         u.u_procp->p_textp = NULL;
588     }
589     u.u_procp->Expand(ProcessManager::USIZE);
590
591     pText = NULL;
592     /* 分配一个空闲Text结构，或者和其它进程共享同一正文段 */
593     for ( int i = 0; i < ProcessManager::NTEXT; i++ )
594     {
595         if ( NULL == this->text[i].x_iptr )      /* 记下找到的第一个空闲text结构 */
596         {
597             if ( NULL == pText )
598             {
599                 pText = &(this->text[i]);
600             }
601         }
602         else if ( pInode == this->text[i].x_iptr )      /* 如果，这不是一个空闲text结构，看一下text结构指向的可执行文件是exec系统调用要执行的应用程序吗？ */
603         {
604             this->text[i].x_count++;
605             this->text[i].x_ccount++;
606             u.u_procp->p_textp = &(this->text[i]);
607             pText = NULL;    /* 与其它进程共享同一正文段，则pText重新清零，否则指向一空闲Text结构 */
608             break;
609         }
610     }
```

1、可交换部分缩小至只有PPDA区，这就释放了数据段和堆栈段

3、分配一个空闲 text 结构

2、有其它进程正在执行该程序。复用 text结构 和 代码段。
不需要读可执行文件中的代码。

```
613     int sharedText = 0;
614
615     /* 没有可共享的现成Text结构，进行相应初始化 */
616     if ( NULL != pText )
617     {
618         /*
619          * 此处i_count++用于平衡XFree()函数中的IPut(x_iptr)；倘若只有Exec()开始处
620          * 调用NameI()函数中IGet()，以及Exec()结尾处IPut()释放exe文件的Inode回到空闲Inode表，
621          * 极端情况下：若后续进程很快也Exec()，获取空闲Inode恰好是之前加载的exe文件释放的Inode，
622          * 则会错误地判断：pInode (当前exe对应Inode) == this->text[i].x_iptr(之前exe文件Inode)，
623          * 导致和之前进程共享同一Text结构，即同一正文段，而实际上本该是两个独立的程序。
624          */
625         pInode->i_count++;
626
627         pText->x_ccount = 1;
628         pText->x_count = 1;
629         pText->x_iptr = pInode;
630         pText->x_size = u.u_MemoryDescriptor.m_TextSize;
631         /* 为正文段分配内存，而具体正文段内容的读入需要等到建立页表映射之后，再从mapAddress地址起始的exe文件中读入 */
632         pText->x_caddr = userPgMgr.AllocMemory(pText->x_size);
633         pText->x_daddr = Kernel::Instance().GetSwapperManager().AllocSwap(pText->x_size);
634         /* 建立u区和Text结构的勾连关系 */
635         u.u_procp->p_textp = pText;
636     }
637     else
638     {
639         pText = u.u_procp->p_textp;
640         sharedText = 1;
641     }
```

初始化 text 结构，x_size是代码段长度

为代码段分配内存 和 盘交换区空间

text结构连上 Process结构

ProcessManager.cpp | main.cpp | MemoryDescriptor.cpp | sys.c | FileManager.cpp

```
643     unsigned int newSize = ProcessManager::USIZE + u.u_MemoryDescriptor.m_DataSize + u.u_MemoryDescriptor.m_StackSize;
644     /* 将进程图像由USIZE扩充为USIZE + dataSize + stackSize */
645     u.u_procp->Expand(newSize);
646
647     /* 根据正文段、数据段、堆栈段长度建立相对地址映照表，并加载到页表中 */
648     u.u_MemoryDescriptor.EstablishUserPageTable(parser.TextAddress, parser.TextSize, parser.DataAddress, parser.DataSize, parser.StackSize);
649
650     /* 从exe文件中依次读入.text段、.data段、.rdata段、.bss段 */
651     parser.Relocate(pInode, sharedText);
652
653     /* .text段在swap分区上留复本 */
654     if(sharedText == 0)
655     {
656         u.u_procp->p_flag |= Process::SLOCK;
657         bufMgr.Swap(pText->x_daddr, pText->x_caddr, pText->x_size, Buf::B_WRITE);
658         u.u_procp->p_flag &= ~Process::SLOCK;
659     }
```

// 为可交换部分分配内存空间，修改 p_addr 和 p_size

// 写相对虚实地址映射表，刷系统页表，建立地址映射关系

// 清0分配给代码段，bss段和数据段的内存空间。
从可执行文件读入代码 和 全局变量初值

ProcessManager.cpp | main.cpp | MemoryDescriptor.cpp | sys.c | FileManager.cpp | Process.cpp

```
unsigned int PEParser::Relocate(Inode* p_inode, int sharedText)
{
    User& u = Kernel::Instance().GetUser();
    unsigned long srcAddress, desAddress;
    unsigned cnt = 0;
    unsigned int i = 0;
    unsigned int i0 = 0;

    /* 如果可以和其它进程共享正文段，无需文件中读入正文段 */
    PageTable* pUserPageTable = Machine::Instance().GetUserPageTableArray(); // 用户页表。起始于0xC0202000 的PTE数组，2048项
    unsigned int textBegin = this->TextAddress >> 12 , textLength = this->TextSize >> 12;
    PageTableEntry* pointer = (PageTableEntry *)pUserPageTable;

    /*如果与其它进程共享正文段，共享正文段切不可清0*/
    if(sharedText == 1)
        i = 1;      // 从数据段开始写
    else
    {
        i = 0;      // 从代码段开始写
        // 修改正文段的读写标志，为内核写代码段做准备
        for (i0 = textBegin; i0 < textBegin + textLength; i0++)
            pointer[i0].m_ReadWriter = 1;

        FlushPageDirectory();
    }

    /* 对所有页面执行清0操作，这样bss变量的初值就是0 */
    for (; i <= this->BSS_SECTION_IDX; i++ )
    {
        ImageSectionHeader* sectionHeader = &(this->sectionHeaders[i]);
        int beginVM = sectionHeader->VirtualAddress + ntHeader.OptionalHeader.ImageBase;
        int size = ((sectionHeader->Misc.VirtualSize + PageManager::PAGE_SIZE - 1)>>12)<<12;
        int j;

//      if(sharedText == 0 || i != 0)
//      {
            for (j=0; j<size; j++)
            {
                unsigned char* b =(unsigned char*)(j + beginVM);
                *b = 0;
            }
//      }
    }
```

// 逐段清0。两个作用：

- BSS段中全局变量赋初值0
- 分配给用户的存储空间清0，可以保证系统安全

ProcessManager.cpp | main.cpp | MemoryDescriptor.cpp | sys.c | FileManager.cpp | Process.cpp | *PEParser.cpp | Machine.cp

```
64
65      /* 从文件中读入正文段（optional），只读数据 和全局变量的初值 */
66      if(sharedText == 1)
67          i = 1;
68      else
69          i = 0;
70
71      for ( ; i < this->BSS_SECTION_IDX; i++ )
72      {
73          ImageSectionHeader* sectionHeader = &(this->sectionHeaders[i]);
74          srcAddress = sectionHeader->PointerToRawData;
75          desAddress =
76              this->ntHeader.OptionalHeader.ImageBase + sectionHeader->VirtualAddress;
77
78          u.u_IOParam.m_Base = (unsigned char*)desAddress;
79          u.u_IOParam.m_Offset = srcAddress;
80          u.u_IOParam.m_Count = sectionHeader->Misc.VirtualSize;
81
82          p_inode->ReadI();
83
84          cnt += sectionHeader->Misc.VirtualSize;
85      }
86
87      if(sharedText == 0)
88      {   //将正文段页面改回只读
89          for (i0 = 0; i0 < textLength; i0++)
90              pointer[i0].m_ReadWriter = 0;
91
92          FlushPageDirectory();
93      }
94
95      KernelPageManager& kpm = Kernel::Instance().GetKernelPageManager();
96      kpm.FreeMemory(PageManager::PAGE_SIZE * 2, (unsigned long)this->sectionHeaders - 0xC0000000 );
97  //  kpm.FreeMemory(section_size * ntHeader.FileHeader.NumberOfSections, (unsigned long)this->sectionHeaders - 0xC0000000 );
98  //  delete this->sectionHeaders;
99      return  cnt;
100 }
```

// 进程会在这里睡很多次

// 释放用来临时保存 section header 的物理页框

接 PPT 14

```
    /* 将fakeStack中备份的用户栈参数复制到新进程图像的用户栈中 */
    //Utility::MemCopy(fakeStack | 0xC0000000, MemoryDescriptor::USER_SPACE_SIZE - parser.StackSize, parser.StackSize);
    Utility::MemCopy(fakeStack + allocLength - parser.StackSize | 0xC0000000, MemoryDescriptor::USER_SPACE_SIZE - parser.StackSize, parser.StackSize);
    /* 释放用于读入exe文件和备份用户栈参数的内存：mapAddress和fakeStack */
    kernelPgMgr.FreeMemory(allocLength, fakeStack);

    /*
      * 将runtime()、SignalHandler()函数拷贝到进程用户态地址空间0x00000000线性地址处，runtime()
      * 用于ring0退出到ring3特权级之后执行的代码，SignalHandler()为进程的信号处理函数入口，负责
      * 调用具体信号的Handler。每一个进程0x00000000线性地址处都应该有一份独立的runtime()及SignalHandler()
      * 函数副本！
      */
//  unsigned char* runtimeSrc = (unsigned char*)runtime;
//  unsigned char* runtimeDst = 0x00000000;
//  for (unsigned int i = 0; i < (unsigned long)ExecShell - (unsigned long)runtime; i++)
//  {
//      *runtimeDst++ = *runtimeSrc++;
//  }

    /* 释放Inode，减少ExeCnt计数值 */
    fileMgr.m_InodeTable->IPut(pInode);
    if ( this->ExeCnt >= NEXEC )
    {
        WakeUpAll((unsigned long)&ExeCnt);
    }
    this->ExeCnt--;
```

// 解锁 可执行程序 的文件控制块

// 唤醒等待执行exec系统调用的其它进程

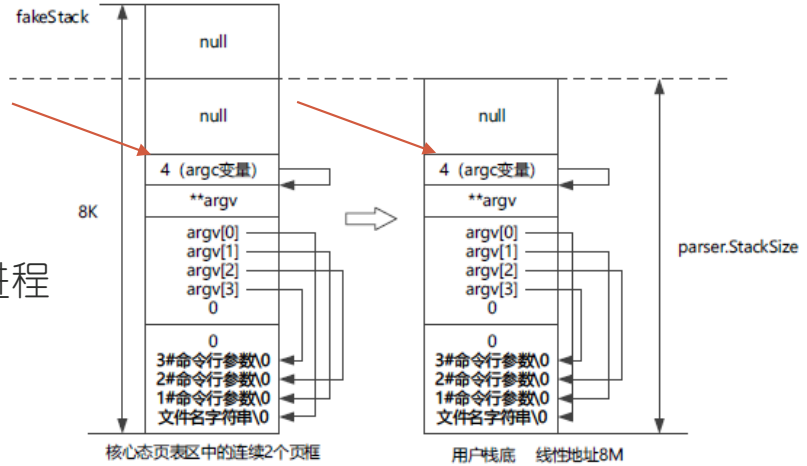


图 8.3：fakeStack 和转换图像后的用户栈

```
    /* 用默认的方式处理信号 */
    for (int i = 0; i < u.NSIG ; i++)
    {
        u.u_signal[i] = 0;
    }

    /* 清0所有通用寄存器 */
    for (int i = User::EAX - 4; i < User::EAX - 4*7 ; i = i - 4)
    {
        u.u_ar0[i] = 0;      /* 下标写成 User::EAX + i 可读性要强一些，但是运算速度慢了。就小抠，追求速度吧 */
    }

    /* 将exe程序的入口地址放入核心栈现场保护区中的EAX作为系统调用返回值，这个是runtime要用 */
    u.u_ar0[User::EAX] = parser.EntryPointAddress;

    /* 构造出Exec()系统调用的退出环境，使之退出到ring3时，开始执行user code */
    struct pt_context* pContext = (struct pt_context *)u.u_arg[4];
    pContext->eip = 0x00000000; /* 退出到ring3特权级下从线性地址0x00000000处runtime()开始执行 */
    //pContext->eip = parser.EntryPointAddress;
    pContext->xcs = Machine::USER_CODE_SEGMENT_SELECTOR;
    pContext->eflags = 0x200;    /* 此项是否算改无关
    pContext->esp = esp;
    pContext->xss = Machine::USER_DATA_SEGMENT_SELECTOR;
}
```

只有 IF 标识是1，其余全是0。

exec系统调用成功，返回用户态

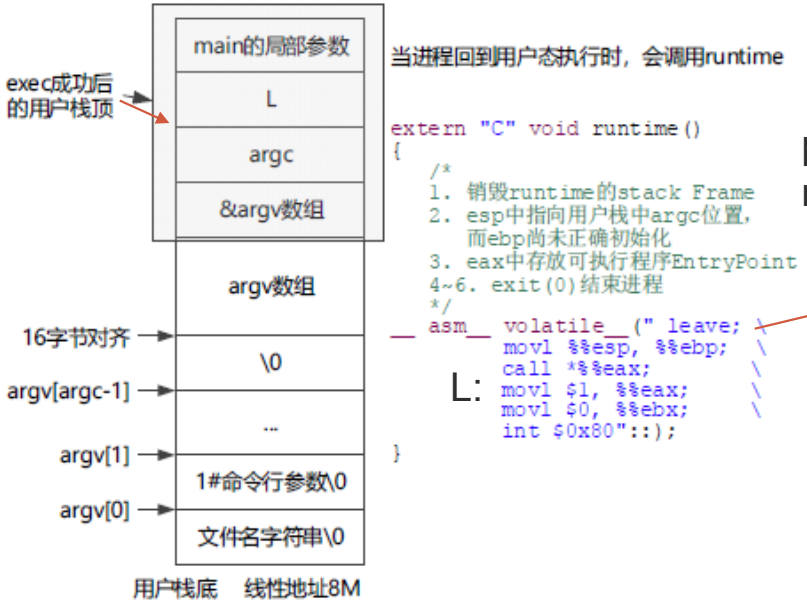


图 8.4：进程的堆栈段和 runtime()

Part 2、进程终止 exit

- 进程终止后，除PCB外的所有的图像均释放。
  - PCB中有系统需要采集的信息：PID、终止码和运行时间
- 子进程的PCB由父进程回收。读出上述3条信息后，释放子进程PCB。

- 子进程终止后，
  - 不能立即释放PCB
  - 应尽快回收PCB。保证系统有足够的PCB可供创建新进程。
  - 这个叫做**子进程终止的 dilemma**。

终止码

应用程序执行完毕，正常终止（Normal termination）

- 执行**exit（n）**系统调用
- 从**main**返回　　**return n**，相当于**exit（n）**　**n 是exit status**

进程收到了无法**catch**的信号，异常终止（Abnormal termination）

- 执行**abort**系统调用，进程向自己发信号，终止自己
- 用户可以用**ctrl+c**，向前台作业发**SIGINT**信号，终止负责执行该作业的所有进程。
- 应用程序访问了非法内存单元，就会收到段错误信号**SIGSEGV**
- 应用程序执行除数为**0**的除法，就会收到信号**SIGFPE**（浮点运算异常）

进程收到的信号是**termination status**

无论进程因何原因而终止，进程总是执行 **exit（ termination status ）**结束自己

若正常终止，　**n<<8**　→　**termination status**　→　**exit**内核函数

wait系统调用和exit系统调用

父进程执行wait系统调用等待子进程终止（exit）。

子进程终止后，唤醒父进程，父进程（wait系统调用）
1、读子进程PCB中的终止码 → j
2、释放子进程的PCB。wait系统调用返回，返回值是子进程的PID号→ i

```
main( )
{
        int i,j;
        if (fork())
        {
            i = wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
            printf("It is parent process. \n");
            printf("The finished child process is %d. \n", i);
            printf("The exit status is %d. \n", j);
        }
        else
        {
            printf("It is child process. \n");
            exit(0);
        }
}
```

shell进程执行wait等待子进程终止

```
main( )
{
  ……
  while( )
  {
        输出 $（”#”），睡眠等待用户输入命令行：command arg1 arg2 ……
        如果输入的是 “cd”，shell进程就改变u_cdir 和 u_curdir字符串
        其余内部命令……
        如果输入的是 “logout”，shell进程就exit
        while((i=fork( ))==-1);
        if( ! i)
            exec(“command”，arg1，arg2，……);   // ls,echo,date,gcc ……所有
        else   {
                child = wait(&terminationStatus);
                if（terminationStatus & 0xFF  ！ = 0）   //是进程收到的信号的值
                    按需，根据terminationStatus & 0xFF 的值
                            printf出来，段错误之类的信息
              }
  }
}
```

User.h

```
59
60    static const int NSIG = 32; /* 信号个数*/
61
62    /* p_sig中接受到的信号定义 */
63    static const int SIGNUL = 0;    /* No Signal Received */
64    static const int SIGHUP = 1;    /* Hangup (kill controlling
65    static const int SIGINT = 2;    /* Interrupt from keyboard
66    static const int SIGQUIT = 3;   /* Quit from keyboard */
67    static const int SIGILL = 4;    /* Illegal instrution */
68    static const int SIGTRAP = 5;   /* Trace trap */
69    static const int SIGABRT = 6;   /* use abort() API */
70    static const int SIGBUS = 7;    /* Bus error */
71    static const int SIGFPE = 8;    /* Floating point exceptior
72    static const int SIGKILL = 9;   /* Kill(can't be caught or
73    static const int SIGUSR1 = 10;  /* User defined signal 1 */
74    static const int SIGSEGV = 11;  /* Invalid memory segment
75    static const int SIGUSR2 = 12;  /* User defined signal 2 */
76    static const int SIGPIPE = 13;  /* Write on a pipe with no
77    static const int SIGALRM = 14;  /* Alarm clock */
78    static const int SIGTERM = 15;  /* Termination */
79    static const int SIGSTKFLT = 16; /* Stack fault */
80    static const int SIGCHLD = 17; /* Child process has stoppe
81    static const int SIGCONT = 18; /* Continue executing, if st
82    static const int SIGSTOP = 19; /* Stop executing */
83    static const int SIGTSTP = 20; /* Terminal stop signal */
84    static const int SIGTTIN = 21; /* Background process tryin
85    static const int SIGTTOU = 22; /* Background process tryin
86    static const int SIGURG = 23;  /* Urgent condition on socke
87    static const int SIGXCPU = 24; /* CPU limit exceeded */
88    static const int SIGXFSZ = 25; /* File size limit exceeded
89    static const int SIGVTALRM = 26; /* Virtual alarm clock */
90    static const int SIGPROF = 27; /* Profiling alarm clock */
91    static const int SIGWINCH = 28; /* Window size change */
92    static const int SIGIO = 29; /* I/O now possible */
93    static const int SIGPWR = 30; /* Power failure restart */
94    static const int SIGSYS = 31; /* invalid sys call */
```

负责执行exit系统调用的库函数

exit(n)

```
int exit(int status)  /* 子进程返回给父进程的Return Code */
{
    int res;
    __asm__ __volatile__ ( "int $0x80":"=a"(res):"a"(1),"b"(status));
    if ( res >= 0 )
        return res;
    return -1;
}
```

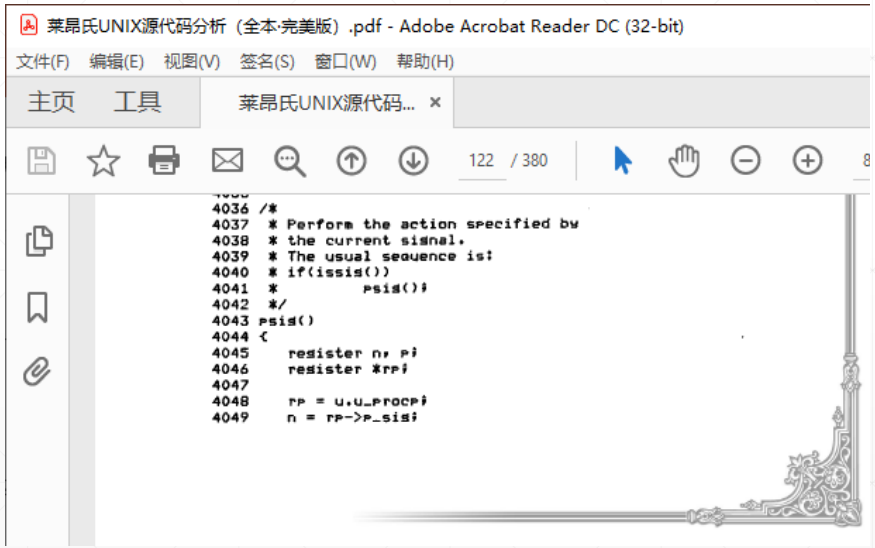
u.u_arg[0]

进程正常运行结束：执行exit系统调用exit（）系统调用的入口函数Rexit（）

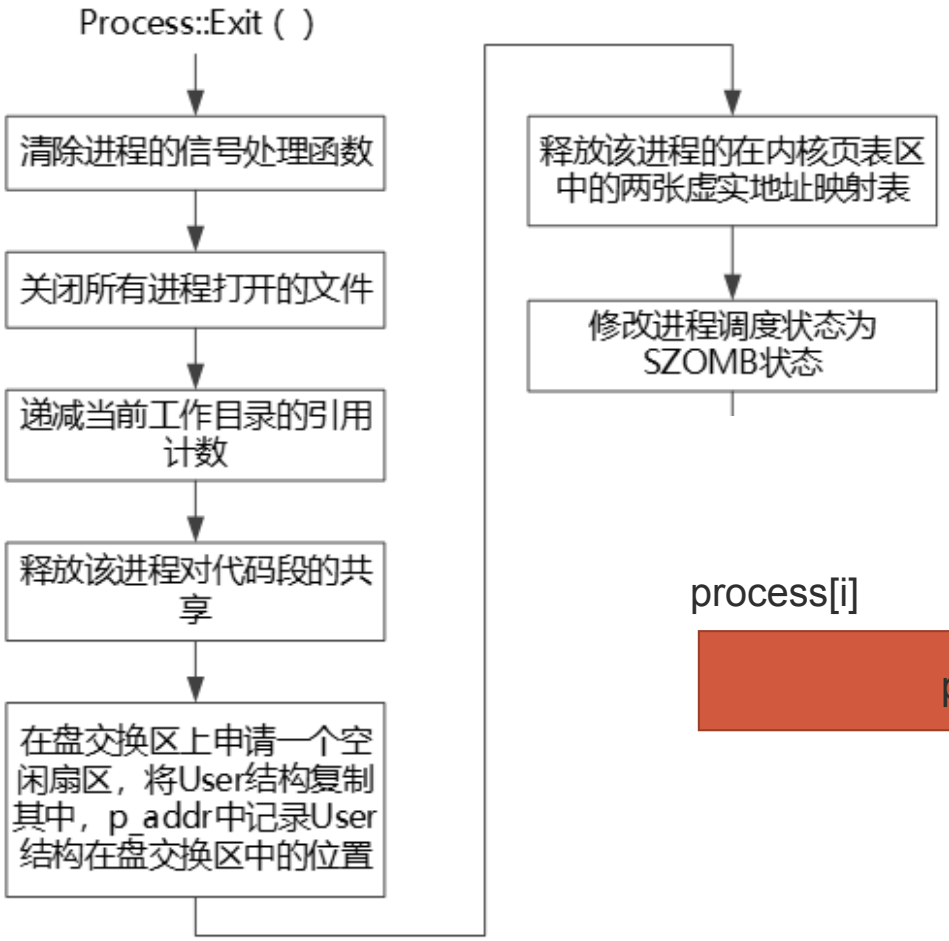
User.h | Makefile.inc | Makefile | echo1.c | sys.c | SystemCall.cpp

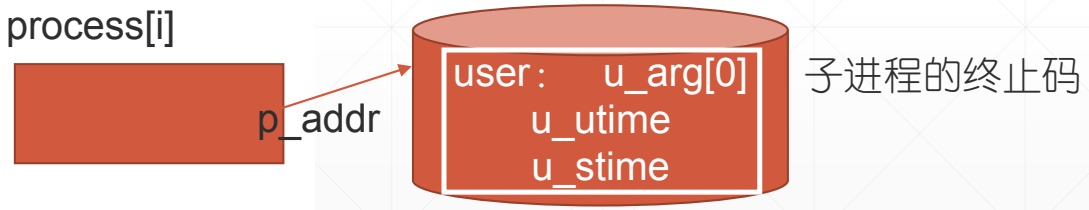
```
252 /*   1 = rexit    count = 0    */
253 int SystemCall::Sys_Rexit()
254 {
255     User& u = Kernel::Instance().GetUser();
256
257     u.u_arg[0] = u.u_arg[0] << 8;
258     u.u_procp->Exit();
259
260     return 0;    /* GCC likes it ! */
261 }
```

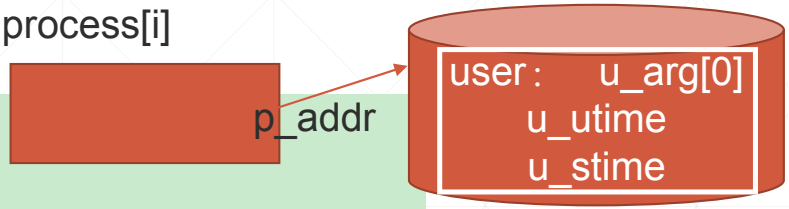
进程被信号杀死，直接调用 Exit( )函数




```
4050    rp->p_sig = 0;
4051    if((p=u.u_signal[n]) != 0) {
4052            u.u_error = 0;
4053            if(n != SIGINS && n != SIGTRC)
4054                    u.u_signal[n] = 0;
4055            n = u.u_ar0[R6] - 4;
4056            grow(n);
4057            suword(n+2, u.u_ar0[RPS]);
4058            suword(n, u.u_ar0[R7]);
4059            u.u_ar0[R6] = n;
4060            u.u_ar0[RPS] =& ~TBIT;
4061            u.u_ar0[R7] = p;
4062            return;
4063    }
4064    switch(n) {
4065
4066    case SIGQIT:
4067    case SIGINS:
4068    case SIGTRC:
4069    case SIGIOT:
4070    case SIGEMT:
4071    case SIGFPT:
4072    case SIGBUS:
4073    case SIGSEG:
4074    case SIGSYS:
4075            u.u_arg[0] = n;
4076            if(core())
4077                    n =+ 0200;
4078    }
4079    u.u_arg[0] = (u.u_ar0[R0]<<8) | n;
4080    exit();
4081 }
4082 /* ------------------------        */
4083
```


Process::Exit ( )
清除进程的信号处理函数
关闭所有进程打开的文件
递减当前工作目录的引用计数
释放该进程对代码段的共享
在盘交换区上申请一个空闲扇区，将User结构复制其中，p_addr中记录User结构在盘交换区中的位置
释放该进程的在内核页表区中的两张虚实地址映射表
修改进程调度状态为SZOMB状态


process[i]
p_addr
user：
u_arg[0]
u_utime
u_stime
子进程的终止码




```
    /* 唤醒父进程进行善后处理 */
    for ( i = 0; i < ProcessManager::NPROC; i++ )
    {
        if ( procMgr.process[i].p_pid == current->p_ppid )
        {
            procMgr.WakeUpAll((unsigned long)&procMgr.process[i]);
            break;
        }
    }
    /* 没找到父进程 */
    if ( ProcessManager::NPROC == i )
    {
        current->p_ppid = 1;
        procMgr.WakeUpAll((unsigned long)&procMgr.process[1]);
    }

    /* 将自己的子进程传给自己的父进程 */
    for ( i = 0; i < ProcessManager::NPROC; i++ )
    {
        if ( current->p_pid == procMgr.process[i].p_ppid )
        {
            Diagnose::Write("My:%d 's child %d passed to 1#process",current->p_pid,procMgr.process[i].p_pid);
            procMgr.process[i].p_ppid = 1;
            if ( procMgr.process[i].p_stat == Process::SSTOP )
            {
                procMgr.process[i].SetRun();
            }
        }
    }

    procMgr.Swtch();
}
```

```
void ProcessManager::WakeUpAll(unsigned long chan)
{
    /* 唤醒系统中所有因chan而进入睡眠的进程 */
    for(int i = 0; i < ProcessManager::NPROC; i++)
    {
        if( this->process[i].IsSleepOn(chan) )
        {
            this->process[i].SetRun();
        }
    }
}
```

判断：
p_wchan == chan?

父进程 执行wait 系统调用等待子进程终止

```c
main( )
{
   int i,j;
   if (fork())
   {
       i=wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
       printf("It is parent process. \n");
       printf("The finished child process is %d. \n", i);
       printf("The exit status is %d. \n", j);
   }
   else
   {
       printf("It is child process. \n");
       exit(0);
   }
}
```

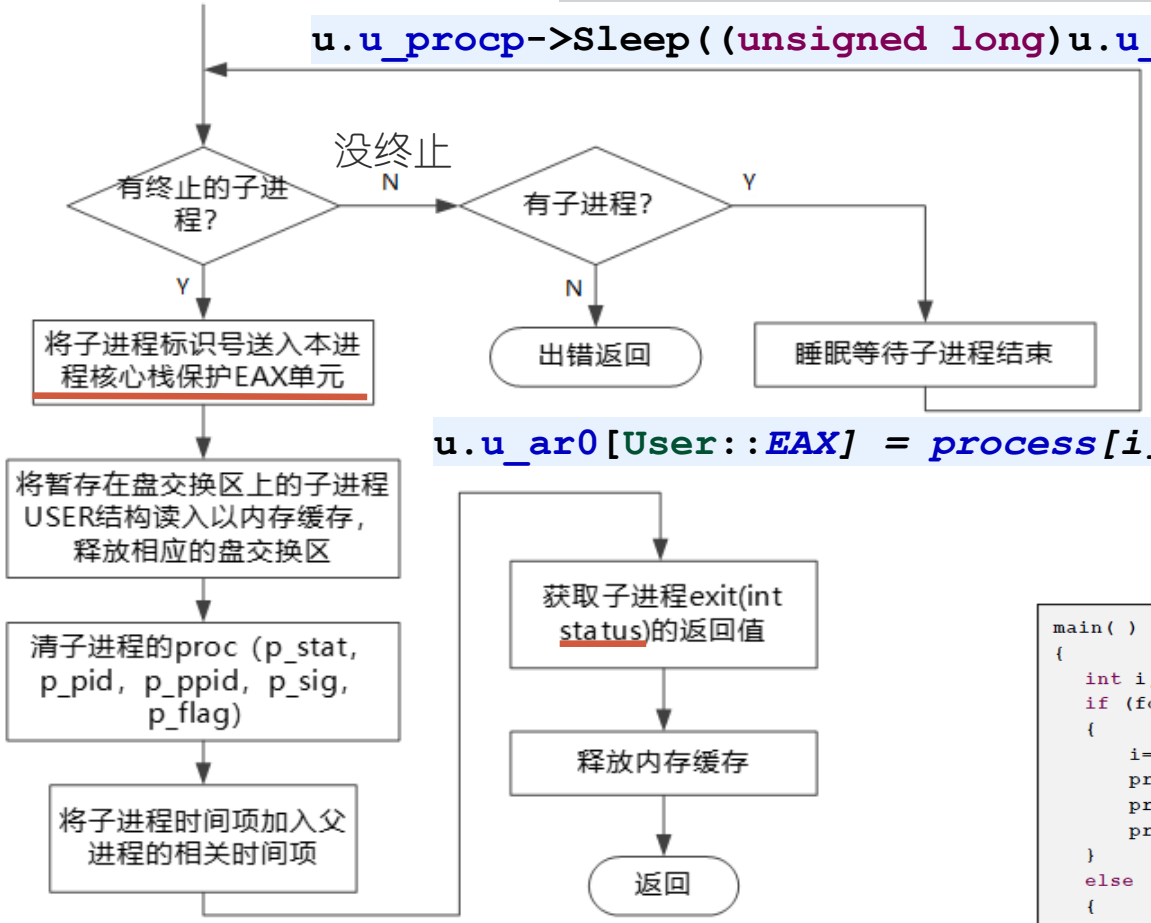
```c
int wait(int* status)          /*  status == &j */
{
        int res;
        __asm__ __volatile__ ( "int $0x80":"=a"(res):"a"(7),"b"(status));
        if ( res >= 0 )
                return res;
        return -1;
}
```

父进程的 u_arg[0]

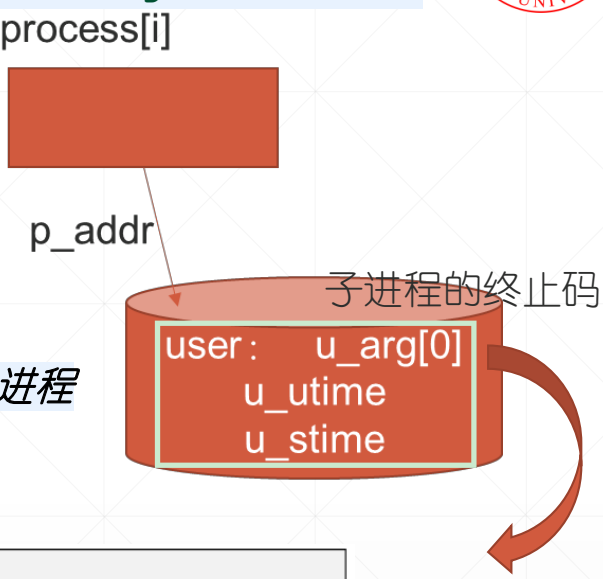
ProcessManager::Wait ( )

p_wchan = 父进程process对象的起始地址

```
u.u_procp->Sleep((unsigned long)u.u_procp, ProcessManager::PWAIT);
```




```
u.u_ar0[User::EAX] = process[i].p_pid; //子进程
```



父进程u_arg[0]指向的用户区单元（j变量）

```
main( )
{
   int i,j;
   if (fork())
   {
       i=wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
       printf("It is parent process. \n");
       printf("The finished child process is %d. \n", i);
       printf("The exit status is %d. \n", j);
   }
   else
   {
       printf("It is child process. \n");
       exit(0);
   }
}
```

何时回收子进程的 PCB？

```
main( )
{
        int i,j;
        if (fork())
        {
              i = wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
              printf("It is parent process. \n");
              printf("The finished child process is %d. \n", i);
              printf("The exit status is %d. \n", j);
        }
        else
        {
              printf("It is child process. \n");
              exit(0);
        }
}
```

如果父进程不执行wait系统调用

1、父进程终止时，1#进程回收子进程的PCB。

```
main( )
{
        int i,j;
        if (fork())
        {               sleep（100）
            i = wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
            printf("It is parent process. \n");
            printf("The finished child process is %d. \n", i);
            printf("The exit status is %d. \n", j);
        }
        else
        {
            printf("It is child process. \n");
            exit(0);
        }
}
```

如果父进程不执行wait系统调用

2：父进程早于子进程终止

这种子进程是孤儿进程，终止时由1#进程回收其PCB。

```
main( )
{
        int i,j;
        if (fork())
        {
            i = wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
            printf("It is parent process. \n");
            printf("The finished child process is %d. \n", i);
            printf("The exit status is %d. \n", j);
        }
        else
        {
            printf("It is child process. \n");     sleep（100）;
            exit(0);
        }
}
```

何时回收子进程的 PCB？

```
main( )
{
        int i,j;
        if (fork())
        {
              i = wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
              printf("It is parent process. \n");
              printf("The finished child process is %d. \n", i);
              printf("The exit status is %d. \n", j);
        }
        else
        {
              printf("It is child process. \n");
              exit(0);
        }
}
```

```
main( )
{
        int i,j;
        if (fork())
        {
              i = wait(&j);     /* i 为终止的子进程的进程号 */
              printf("It is parent process. \n");
              printf("The finished child process is %d. \n", i);
              printf("The exit status is %d. \n", j);
        }
        else
        {
              printf("It is child process. \n");
              exit(0);
        }
}
```

```
sleep（100）；
i = wait(&j);
```

shell进程执行wait等待子进程终止

```
main( )
{
  ……
  while( )
  {
        输出 $，睡眠等待用户输入命令行：command arg1 arg2 ……
        如果输入的是 “logout”，shell进程就exit
        while((i=fork( ))==-1);
        if( ! i)
            exec(“command”，arg1，arg2，……);
        else if(命令行中没有后台命令符号&)  {
                  child = wait(&terminationStatus);
                 if（terminationStatus & 0xFF  ！ = 0）
                       按需，根据terminationStatus & 0xFF 的值
                                 printf出来，段错误核心转储之类的信息
              } //shell进程不会睡眠等待负责执行后台作业的进程终止
  }
}
```

shell进程终止后，后台进程会继续运行。它们的父进程是1# 进程。后台进程终止后，1#进程回收其PCB