操作系统

Operating System

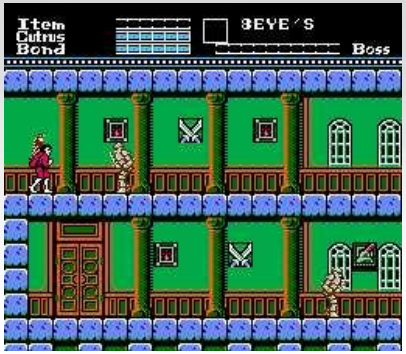
虚拟存储概念

- 虚拟存储的需求背景
- 覆盖技术
- 交换技术
- 局部性原理
- 虚拟存储概念
- 虚拟页式存储
- 缺页异常

增长迅速的存储需求

电脑游戏

一代	二代	三代	四代	五代	六代	七代	八代
437K	883K	1.9M	6M	6.3M	59M	100M	138M



程序规模的增长速度远远大于存储器容量的增长速度

存储层次结构

- 理想中的存储器

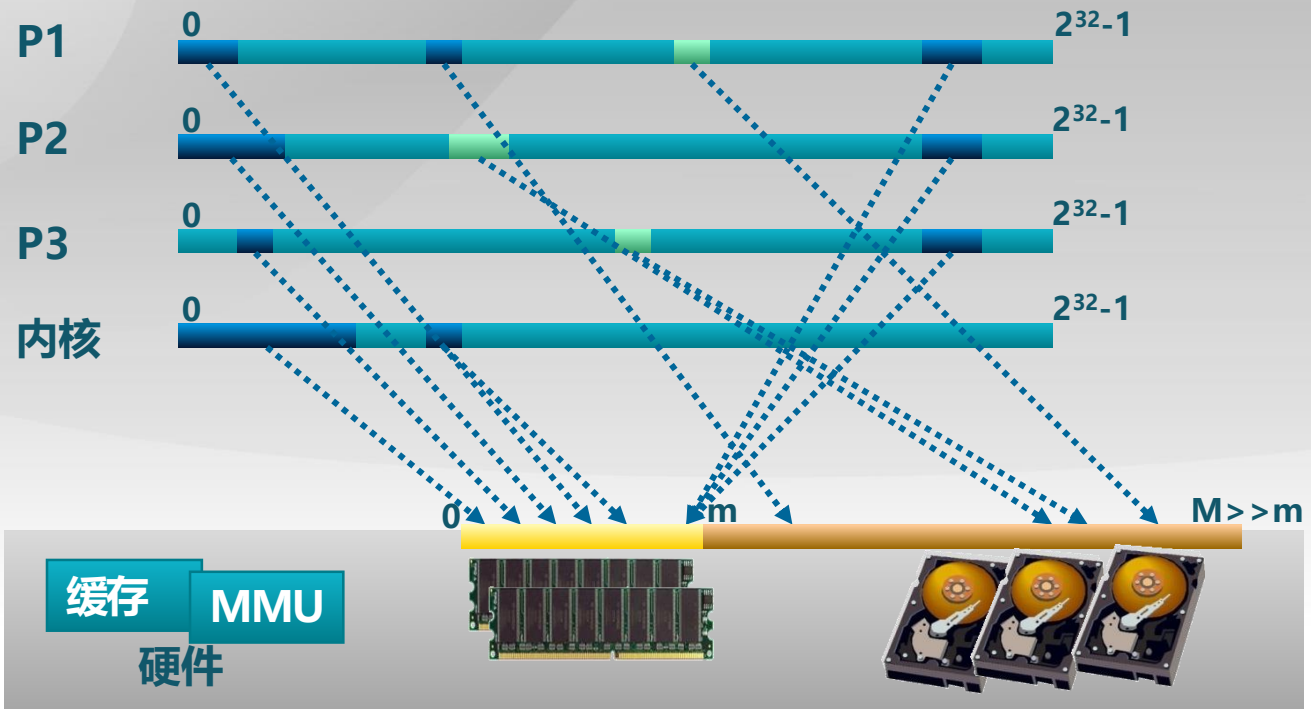
  容量更大、速度更快、价格更便宜的非易失性存储器

- 实际中的存储器

存储器层次结构

操作系统的存储抽象

- 操作系统对存储的抽象：地址空间



虚拟存储需求

- 计算机系统时常出现内存空间不够用

  - 覆盖（overlay）

    应用程序手动把需要的指令和数据保存在内存中
  - 交换（swapping）

    操作系统自动把暂时不能执行的程序保存到外存中
  - 虚拟存储

    在有限容量的内存中，以页为单位自动装入更多更大的程序

操作系统

Operating System

操作系统

Operating System

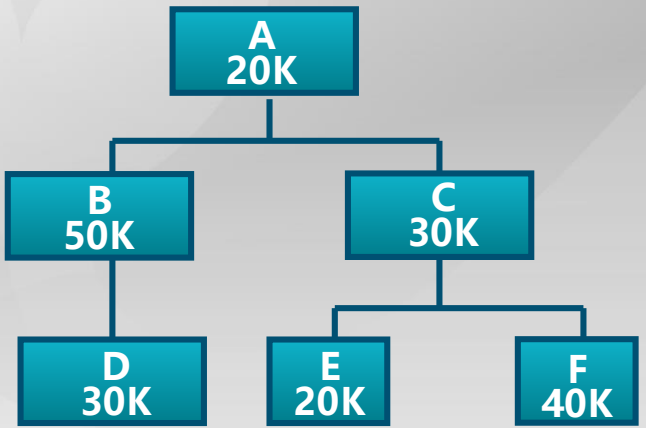
覆盖技术

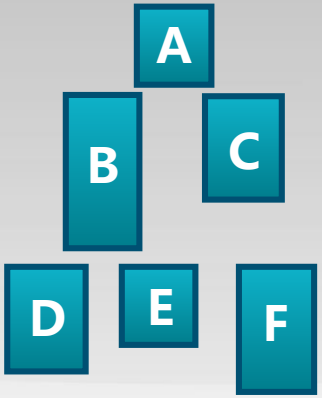
- 目标
  - 在较小的可用内存中运行较大的程序
- 方法

  依据程序逻辑结构，将程序划分为若干**功能相对独立**的模块；将不会同时执行的模块**共享同一块内存**区域
  - 必要部分（常用功能）的代码和数据常驻内存
  - 可选部分（不常用功能）放在其他程序模块中,只在需要用到时装入内存
  - 不存在调用关系的模块可相互覆盖，共用同一块内存区域

覆盖技术示例

程序调用结构：190K





内存总共：110K

另一种调用方法：（100K）

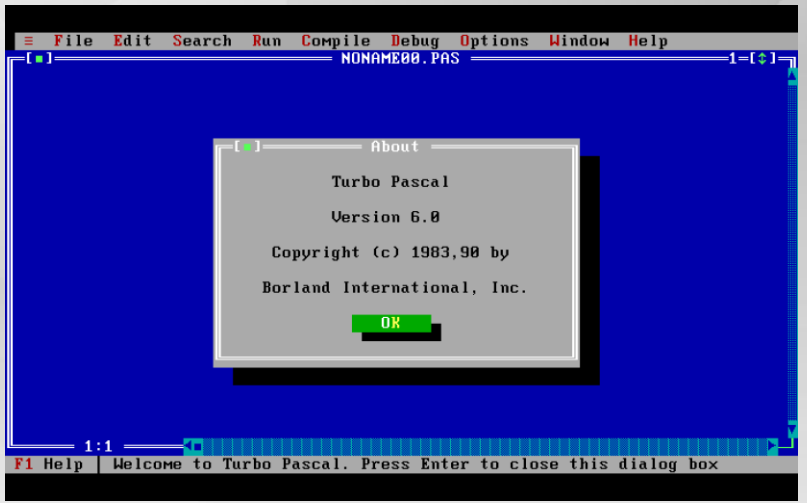
— A占一个分区：20K

— B、E和F共用一个分区：50K

— C和D共用一个分区：30K

将需要大小接近且没有相互调用关系的模块放在一起

覆盖技术的不足



Turbo Pascal的Overlay系统单元
支持程序员控制的覆盖技术

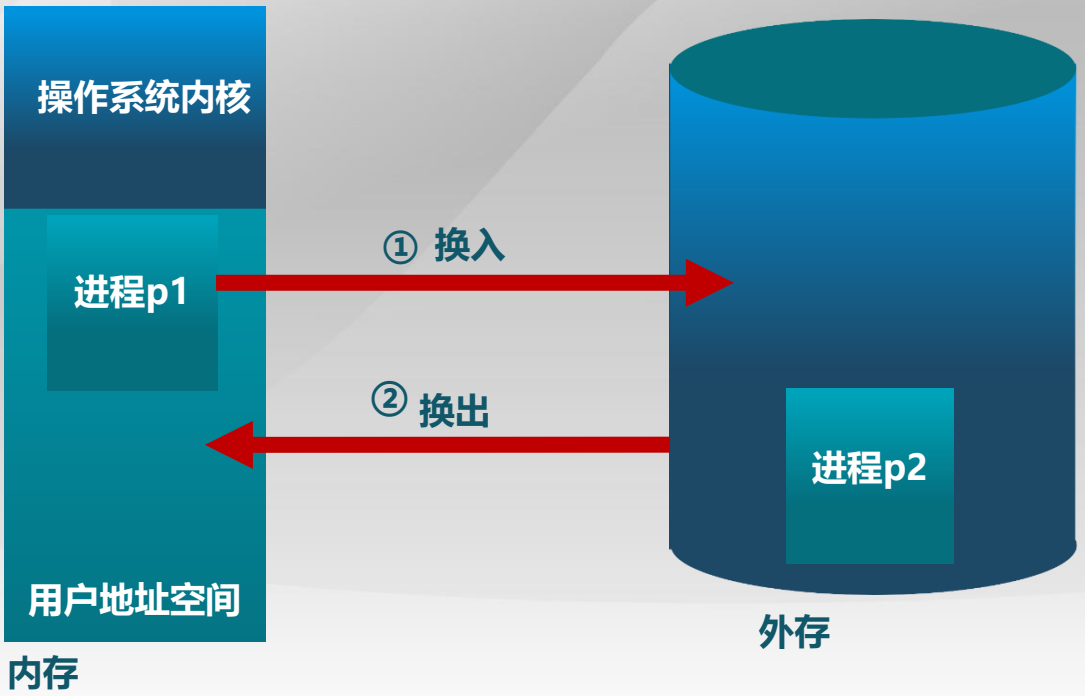
- 增加编程困难
  - 需程序员划分功能模块，并确定模块间的覆盖关系
  - 增加了编程的复杂度；
- 增加执行时间
  - 从外存装入覆盖模块
  - 时间换空间

交换技术

一个进程的空间至少是足够用的

- 目标
  - 增加正在运行或需要运行的程序的内存
- 实现方法
  - 可将暂时不能运行的程序放到外存
  - 换入换出的基本单位
    - 整个进程的地址空间
  - 换出（swap out)
    - 把一个进程的整个地址空间保存到外存
  - 换入（swap in)
    - 将外存中某进程的地址空间读入到内存

交换技术



(本图摘自Silberschatz, Galvin and Gagne: “Operating System Concepts”)

交换技术面临的问题

- 交换时机：何时需要发生交换?
  - 只当内存空间不够或有不够的可能时换出
- 交换区大小
  - 存放所有用户进程的所有内存映像的拷贝
- 程序换入时的重定位：换出后再换入时要放在原处吗?
  - 采用动态地址映射的方法

覆盖与交换的比较

- 覆盖
  - 只能发生在没有调用关系的模块间
  - 程序员须给出模块间的逻辑覆盖结构
  - 发生在运行程序的内部模块间
- 交换
  - 以进程为单位
  - 不需要模块间的逻辑覆盖结构
  - 发生在内存进程间

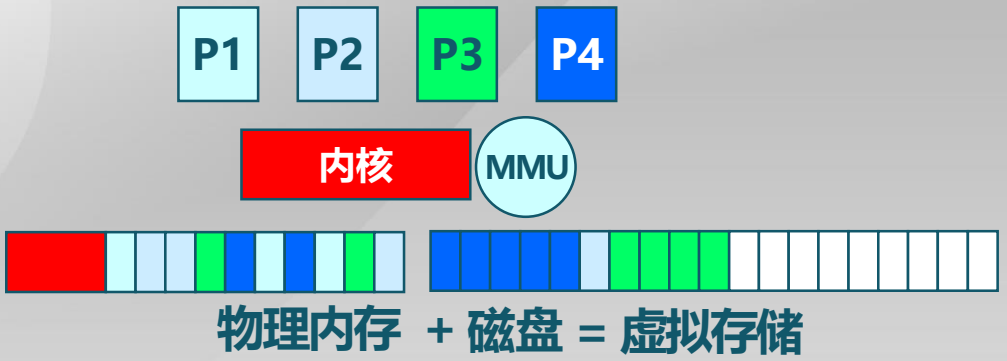
操作系统

Operating System

操作系统

Operating System

虚拟存储技术的目标



- 只把部分程序放到内存中，从而运行比物理内存大的程序
  - 由操作系统自动完成，无需程序员的干涉
- 实现进程在内存与外存之间的交换，从而获得更多的空闲内存空间
  - 在内存和外存之间只交换进程的部分内容

需要考虑将什么内容放到外存中

局部性原理（principle of locality）

- 程序在执行过程中的一个较短时期，所执行的指令地址和指令的操作数地址，分别局限于一定区域
  - 时间局部性
    - 一条指令的一次执行和下次执行，一个数据的一次访问和下次访问都集中在一个较短时期内
  - 空间局部性
    - 当前指令和邻近的几条指令，当前访问的数据和邻近的几个数据都集中在一个较小区域内
  - 分支局部性
    - 一条跳转指令的两次执行，很可能跳到相同的内存位置

如循环，未到总次数时都要跳转到开始

- 局部性原理的意义
  - 从理论上来说，虚拟存储技术是能够实现的，而且可取得满意的效果

不同程序编写方法的局部性特征

例子：页面大小为4K，分配给每个进程的物理页面数为1。在一个进程中，定义了如下的二维数组int A[1024][1024]，该数组按行存放在内存，每一行放在一个页面中

程序编写方法1：

```
for (j = 0; j < 1024; j++)
for (i = 0; i < 1024; i++)
    A[i][j] = 0;
```

程序编写方法2：

```
for (i=0; i<1024; i++)
for (j=0; j<1024; j++)
        A[i][j] = 0;
```

不同程序编写方法的局部性特征

0	$a_{0,0}$	$a_{0,1}$	$a_{0,2}$ ……	$a_{0,1023}$
1	$a_{1,0}$	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$ ……	$a_{1,1023}$
	……			
	……			
1023	$a_{1023,0}$	$a_{1023,1}$	……	$a_{1023,1023}$

访问页面的序列为：

解法1：

0，1，2，……1023，0，1，……，共1024组

共发生了1024×1024次缺页中断

解法2：

0，0，…… 1，1，……，2，2，……，3，3，……

共发生了1024次缺页中断

操作系统

Operating System

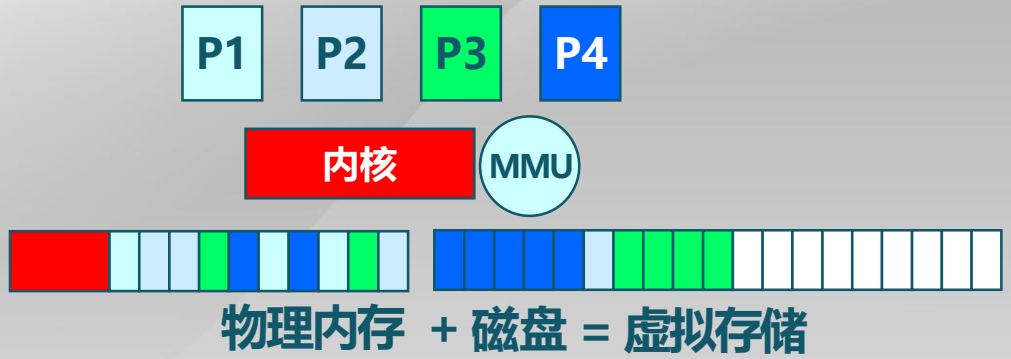
操作系统

Operating System

虚拟存储的基本概念

- 思路
  - 将不常用的部分内存块暂存到外存
- 原理：
  - 装载程序时
    - 只将当前指令执行需要的部分页面或段装入内存
  - 指令执行中需要的指令或数据不在内存（称为缺页或缺段）时
    - 处理器通知操作系统将相应的页面或段调入内存
  - 操作系统将内存中暂时不用的页面或段保存到外存
- 实现方式
  - 虚拟页式存储
  - 虚拟段式存储

虚拟存储的基本特征



- 不连续性
  - 物理内存分配非连续
  - 虚拟地址空间使用非连续
- 大用户空间
  - 提供给用户的虚拟内存可大于实际的物理内存
- 部分交换
  - 虚拟存储只对部分虚拟地址空间进行调入和调出

在覆盖、交换技术基础上向前发展

虚拟存储的支持技术

- 硬件
  - 页式或短时存储中的地址转换机制
- 操作系统
  - 管理内存和外存间页面或段的换入和换出

操作系统

Operating System

操作系统

Operating System

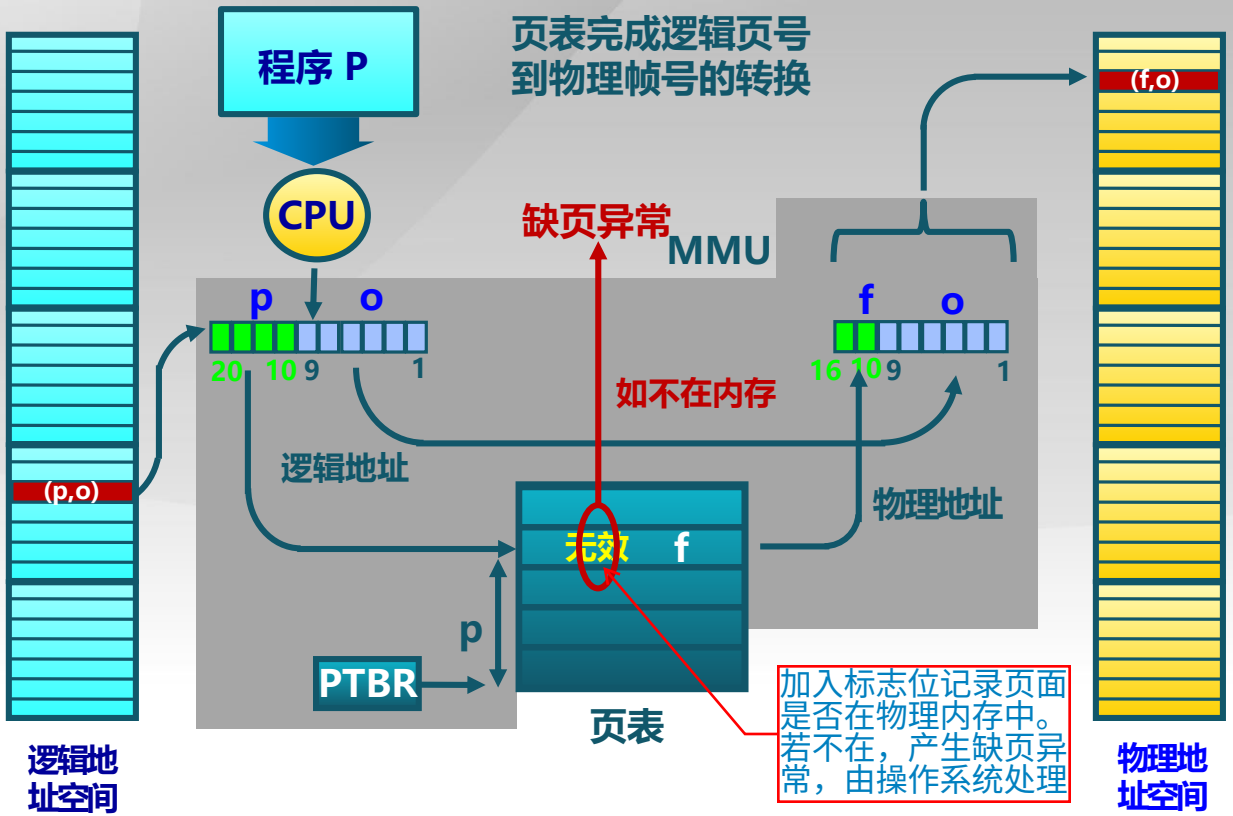
虚拟页式存储管理

- 在页式存储管理的基础上，增加请求调页和页面置换
- 思路
  - 当用户程序要装载到内存运行时，只装入部分页面，就启动程序运行
  - 进程在运行中发现有需要的代码或数据不在内存时，则向系统发出缺页异常请求
  - 操作系统在处理缺页异常时，将外存中相应的页面调入内存，使得进程能继续运行

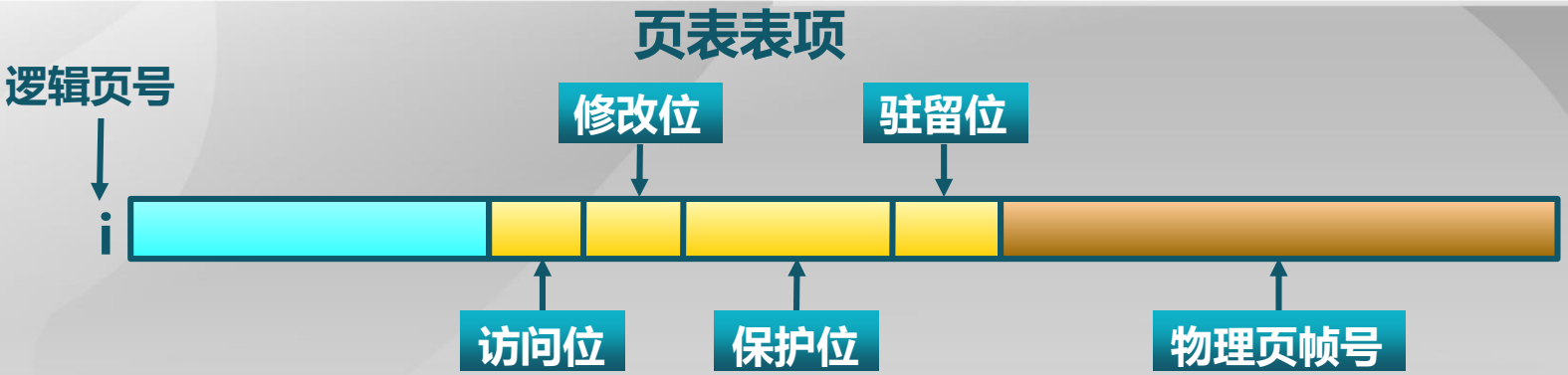
原来装入所有页面

原来也有异常，但没有缺页，因为每一个页面都对应一个物理页帧

虚拟页式存储管理中的地址转换



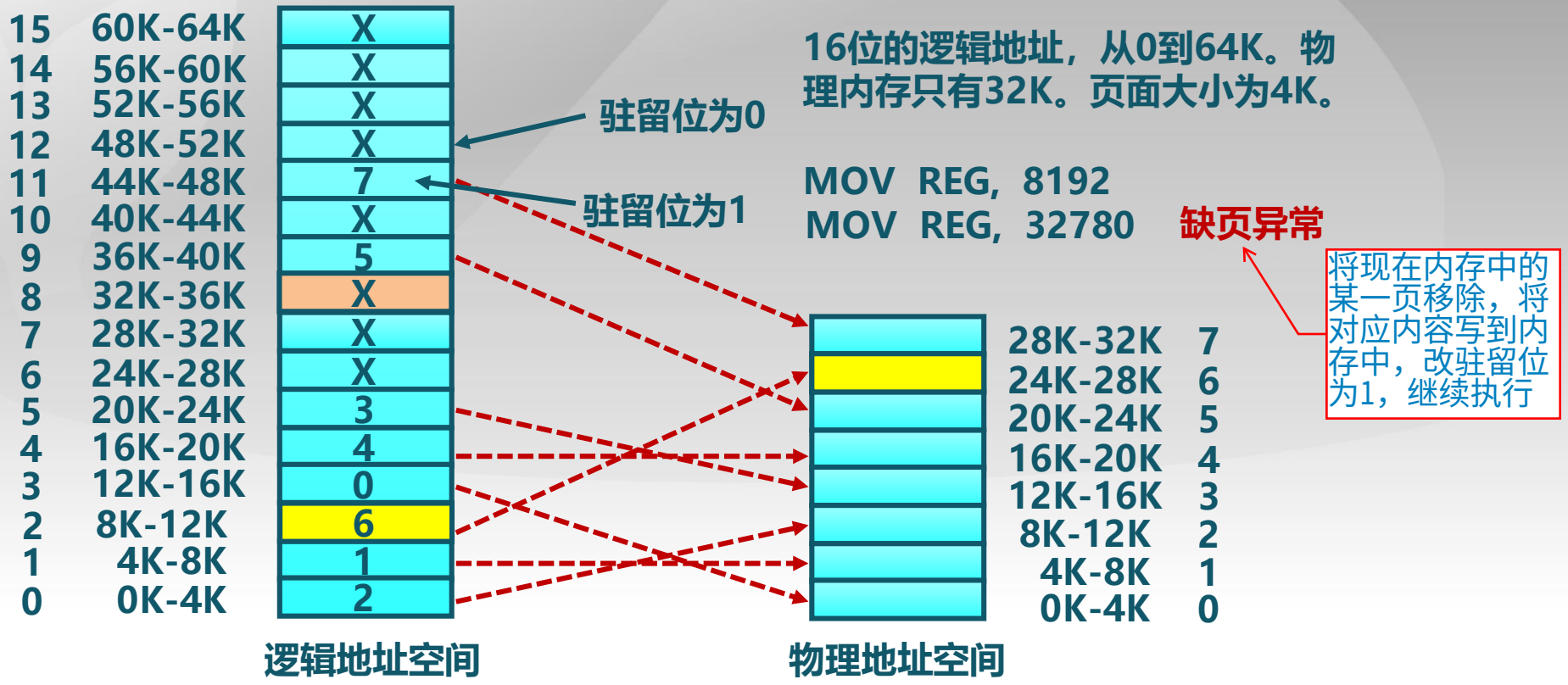
虚拟页式存储管理中的页表项结构



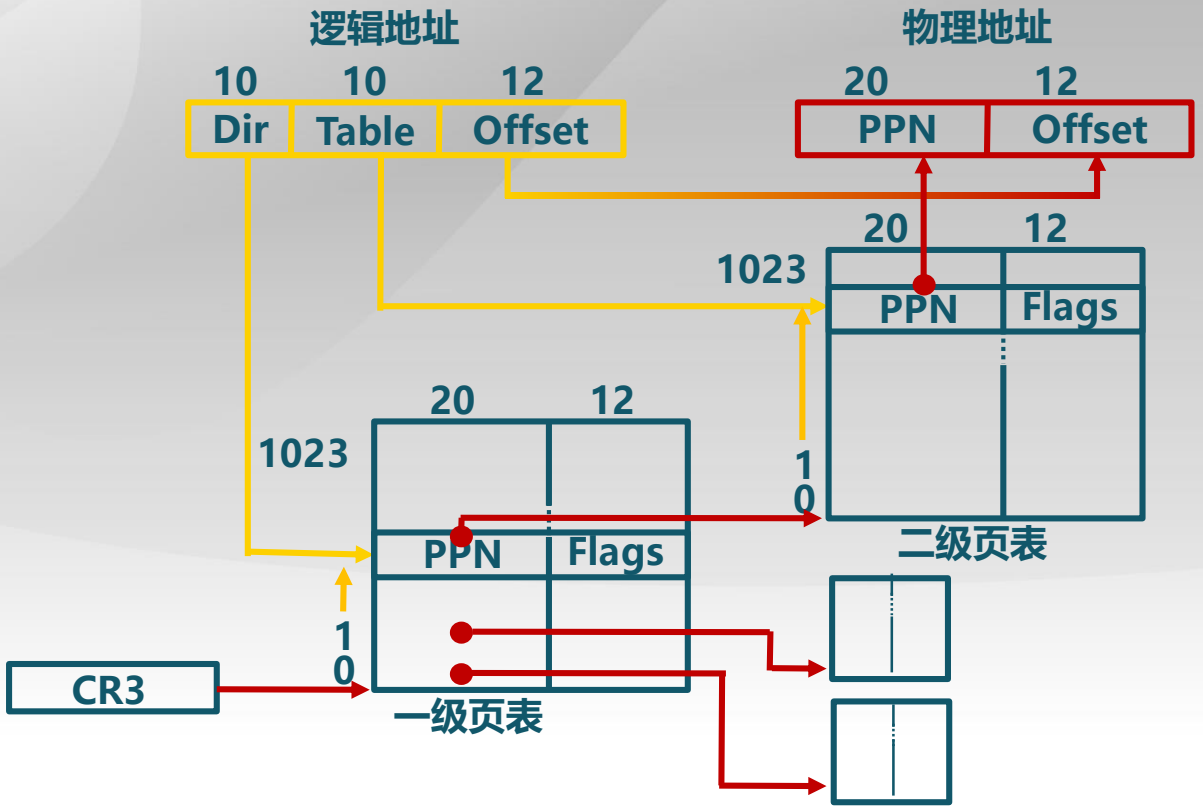
- 驻留位：表示该页是否在内存
  - 1表示该页位于内存中，该页表项是有效的，可以使用
  - 0表示该页当前在外存中，访问该页表项将导致缺页异常
- 修改位：表示在内存中的该页是否被修改过
  - 回收该物理页面时，据此判断是否要把它的内容写回外存
- 访问位：表示该页面是否被访问过（读或写）
  - 用于页面置换算法
- 保护位：表示该页的允许访问方式
  - 只读、可读写、可执行等

修改位在驻留位有效时才起作用

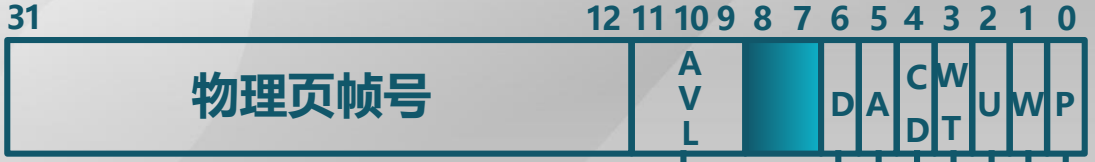
虚拟页式存储管理示例


15 60K-64K X
14 56K-60K X
13 52K-56K X
12 48K-52K X
11 44K-48K 7
10 40K-44K X
9 36K-40K 5
8 32K-36K X
7 28K-32K X
6 24K-28K X
5 20K-24K 3
4 16K-20K 4
3 12K-16K 0
2 8K-12K 6
1 4K-8K 1
0 0K-4K 2
逻辑地址空间
驻留位为0
驻留位为1
16位的逻辑地址，从0到64K。物理内存只有32K。页面大小为4K。
MOV REG, 8192
MOV REG, 32780
缺页异常
将现在内存中的某一页移除，将对应内容写到内存中，改驻留位为1，继续执行
28K-32K 7
24K-28K 6
20K-24K 5
16K-20K 4
12K-16K 3
8K-12K 2
4K-8K 1
0K-4K 0
物理地址空间

X86页表结构


逻辑地址
物理地址
10
10
12
Dir
Table
Offset
20
12
PPN
Offset
20
12
1023
PPN
Flags
1
0
二级页表
20
12
1023
PPN
Flags
1
0
CR3
一级页表

X86页表项结构



除了标志位D，一级和二级页表项是一致的

P - 驻留位

W - 可写标志

U - 用户态标志

WT - 1=Write-through
0=Write-back

CD - Cache Disabled

A - 访问位

D - 修改位(一级页表项为0)

AVL - 保留位

用户态是否可以访问

高速缓存是否有效；若I/O是实时有效的，标志位会影响行为

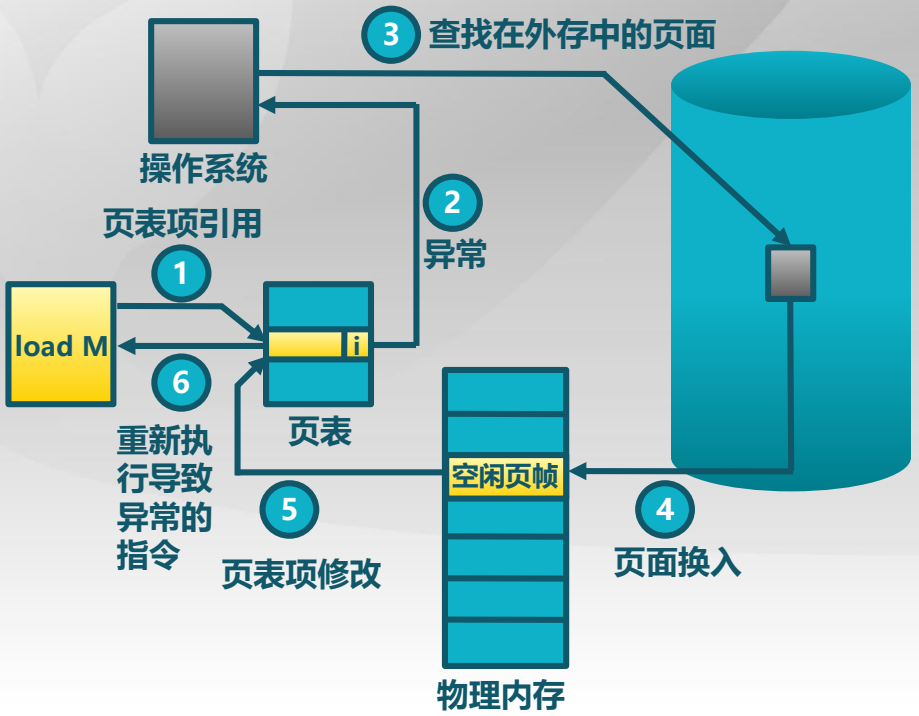
操作系统

Operating System

操作系统

Operating System

缺页异常（缺页中断）的处理流程



A.在内存中有空闲物理页面时，分配一物理页帧f，转第E步；

B.依据页面置换算法选择将被替换的物理页帧f，对应逻辑页q

C.如q被修改过，则把它写回外存；

D.修改q的页表项中驻留位置为0；

E.将需要访问的页p装入到物理页面f

F.修改p的页表项驻留位为1，物理页帧号为f；

G.重新执行产生缺页的指令

虚拟页式存储中的外存管理

- 在何处保存未被映射的页?
  - 应能方便地找到在外存中的页面内容
  - 交换空间（磁盘或者文件）
    - 采用特殊格式存储未被映射的页面
- 虚拟页式存储中的外存选择
  - 代码段：可执行二进制文件
  - 动态加载的共享库程序段：动态调用的库文件
  - 其它段：交换空间

虚拟页式存储管理的性能

- 有效存储访问时间（effective memory access time EAT）
  - EAT = 访存时间 * (1-p)
    + 缺页异常处理时间 * 缺页率p
  - 例子
    - 访存时间: 10 ns
    - 磁盘访问时间: 5 ms
    - 缺页率p
    - 页修改概率q
    - EAT = 10(1–p) + 5,000,000p(1+q)

p要足够小才能够抵消访问磁盘的较长时间

操作系统

Operating System