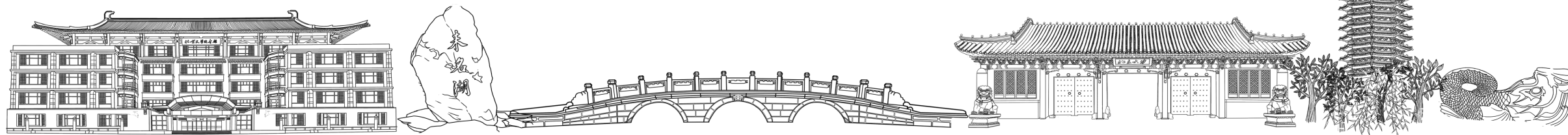
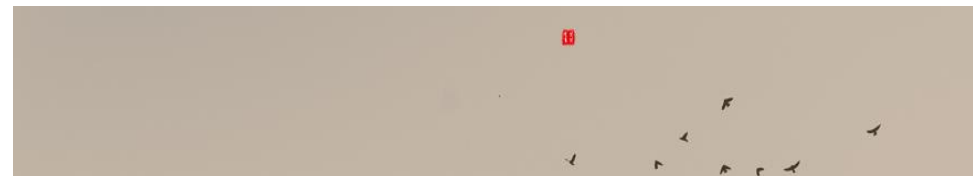


# 19

## Virtual Memory: Concepts

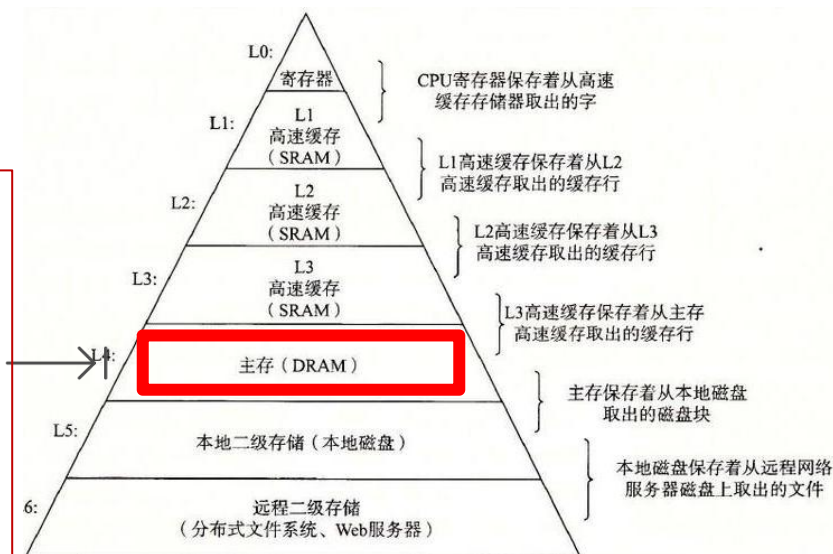


# 虚拟内存 (VM)

○ 一种对主存的抽象概念

○ 高效使用主存

将主存看成是一个存储在磁盘上的地址空间的高速缓存，在主存中只保存活动区域，并根据需要在磁盘和主存之间来回传送数据。



○ 简化内存管理 —— 为每个进程提

供一致的地址空间

○ 保护每个进程的地址空间不被其他进程破坏



# 地址空间 ▶▶▶

## ○ 非负整数地址的有序集合

### ○ 虚拟地址空间

虚拟地址空间位数： $n$ （ $n$ 位地址空间）

虚拟地址空间大小： $N=2^n$

### ○ 物理地址空间

对应于物理内存中 $M$ 个字节， $\{0, 1, 2, \dots, M-1\}$

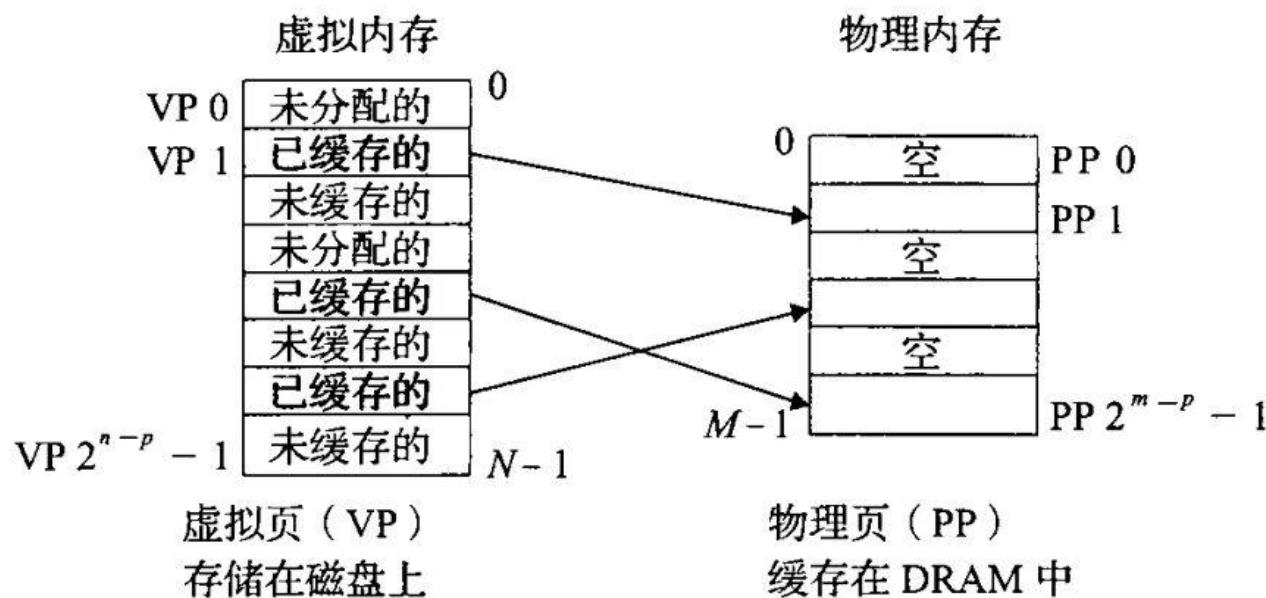
通常假设 $M=2^m$

**虚拟内存基本思想**：主存中的每个字节都有一个选自虚拟地址空间的虚拟地址和一个选自物理地址空间的物理地址。

# VM作为缓存的工具

○ 虚拟内存--->虚拟页 (VP)    物理内存--->物理页 (PP)

○ 大小:  $P=2^p$  字节



未分配的: VM系统未分配或创建的页

缓存的: 当前已缓存在物理内存中的已分配页

未缓存的: 未缓存在物理内存中的已分配页

**较大的不命中处罚**---DRAM缓存是全相联的, 即任何虚拟页都可以放置在任何的物理页中。

**磁盘访问时间长**---DRAM缓存总是使用写回, 而不是直写。

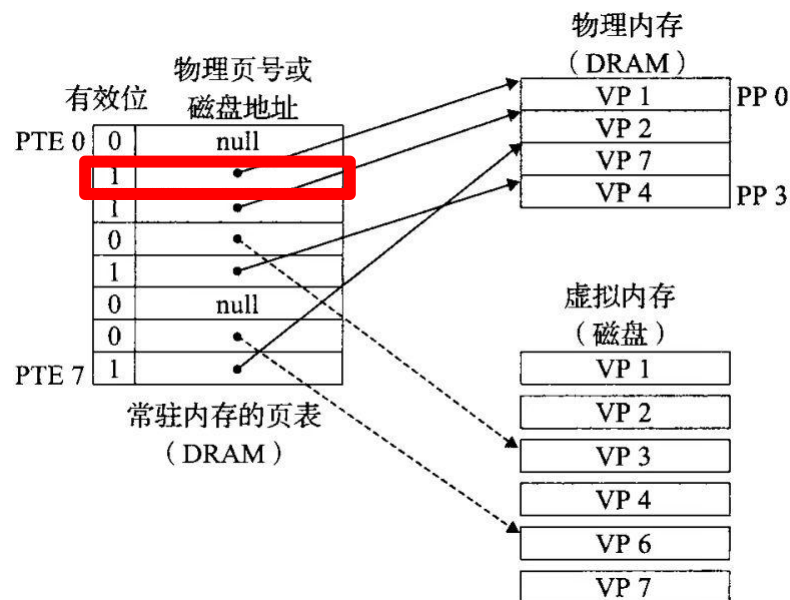
# VM作为缓存的工具

## ◦ 页表——页表条目（PTE）的数组

未分配的：VM系统未分配或创建的页——标志位为0，地址为NULL

缓存的：当前已缓存在物理内存中的已分配页——标志位为1，指向物理页号

未缓存的：未缓存在物理内存中的已分配页——标志位为0，指向磁盘地址



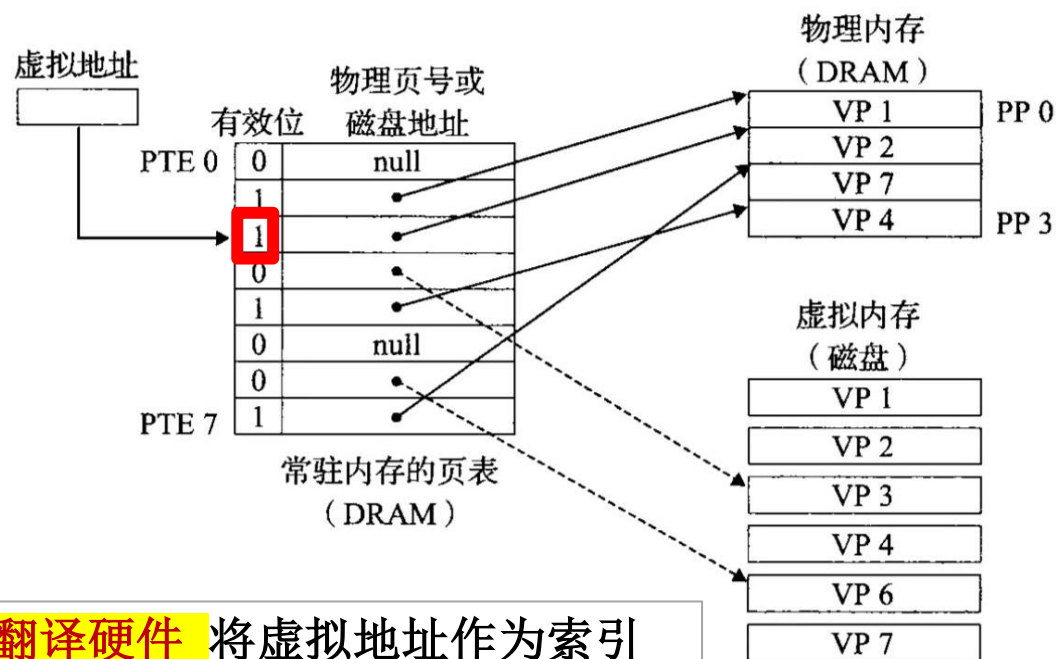
地址翻译硬件将虚拟地址转化为物理地址时，需要读取页表

页表 将虚拟页映射到物理页

操作系统 负责维护页表内容，并在磁盘和DRAM中来回传送页

# VM作为缓存的工具

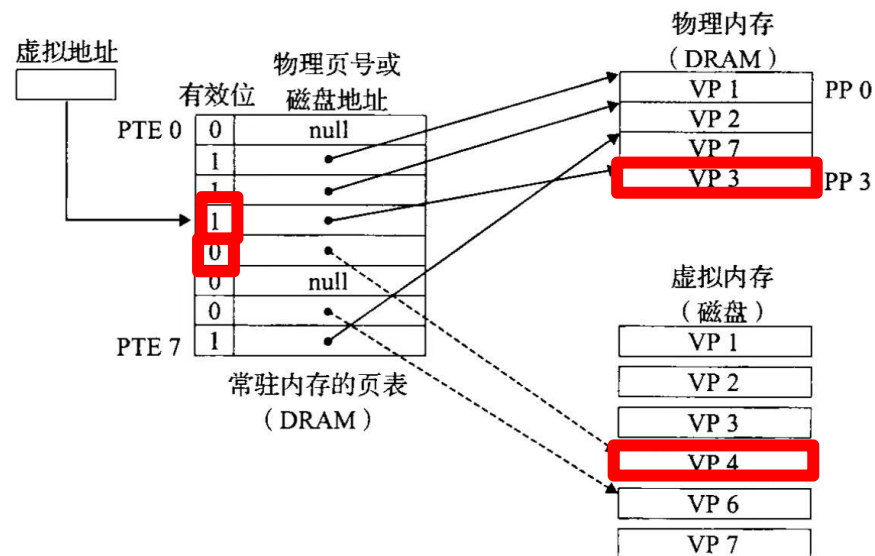
## ○ 页命中



**地址翻译硬件** 将虚拟地址作为索引定位PTE，读取有效位，判断是否已缓存

**缺页异常处理程序** 选择牺牲页，并修改牺牲页对应PTE，若牺牲页被修改过，还需复制回磁盘

## ○ 缺页



**内核** 将从磁盘复制VP3到内存中牺牲页的物理页，更新PTE3，返回到读取VP3的指令

# VM作为内存管理的工具



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

- 多个虚拟页面可以映射到同一个物理页面
- 操作系统为每个进程提供一个独立的页表，即一个独立的虚拟地址空间
- 简化链接
- 简化加载
- 简化共享
- 简化内存分配



# VM作为内存保护的工

计算机系统对内存系统访问限制:

不允许用户进程修改它的只读代码段

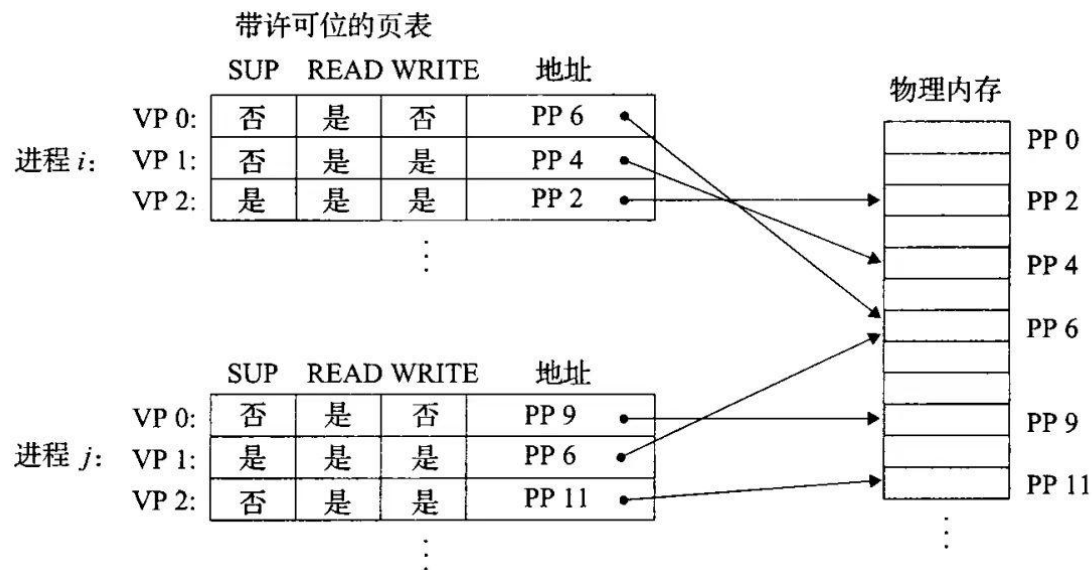
不允许用户进程读或修改任何内核中的代码和数据结构

不允许用户进程读写其他进程的私有内存

不允许用户进程修改与其他进程共享的虚拟页面, 除非所有共享者都显式允许

违反许可条件, 则触发段错误(segmentation fault)

通过在PTE上增加一些额外的许可位来控制对一个虚拟页面内容的访问



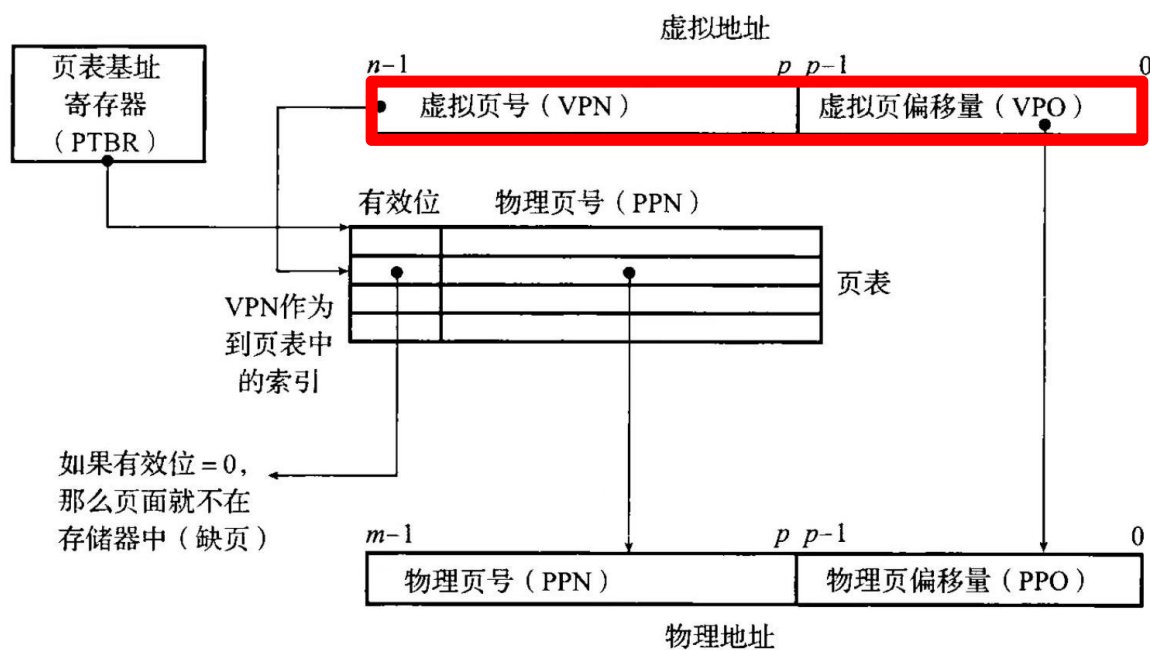
**SUP**—进程是否必须运行在内核模式下才能访问该页



# 地址翻译

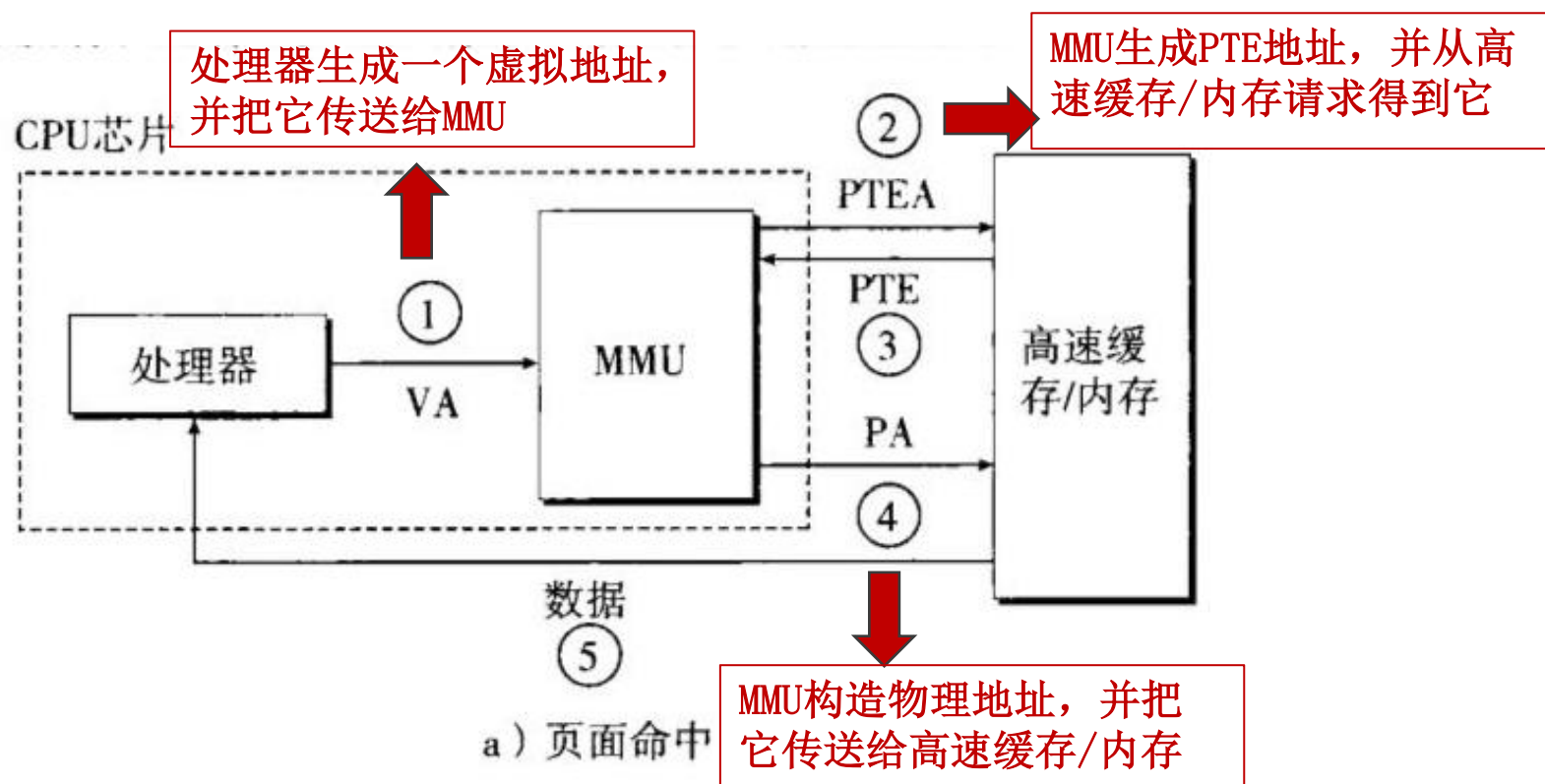
MAP: VAS  $\rightarrow$  PAS  $\cup \emptyset$

$\text{MAP}(A) = \begin{cases} A' & \text{如果虚拟地址 } A \text{ 处的数据在 PAS 的物理地址 } A' \text{ 处} \\ \emptyset & \text{如果虚拟地址 } A \text{ 处的数据不在物理内存中} \end{cases}$



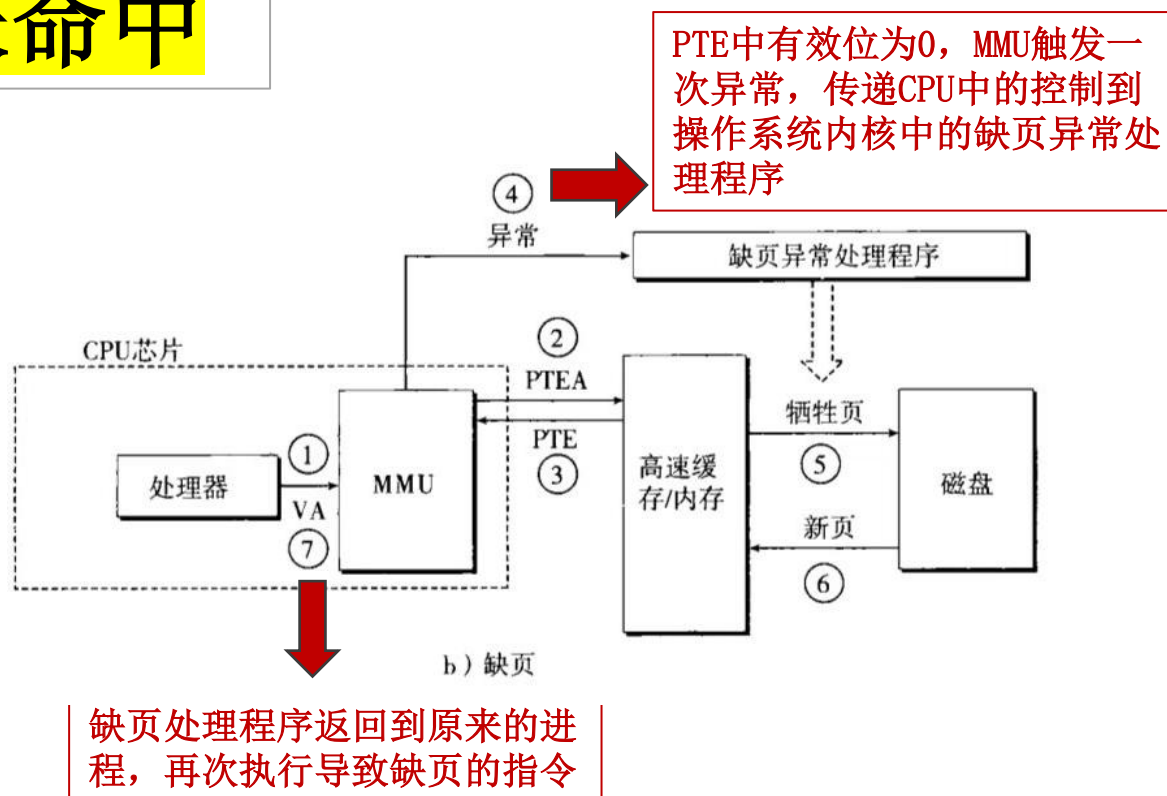
# 地址翻译

## 页面命中



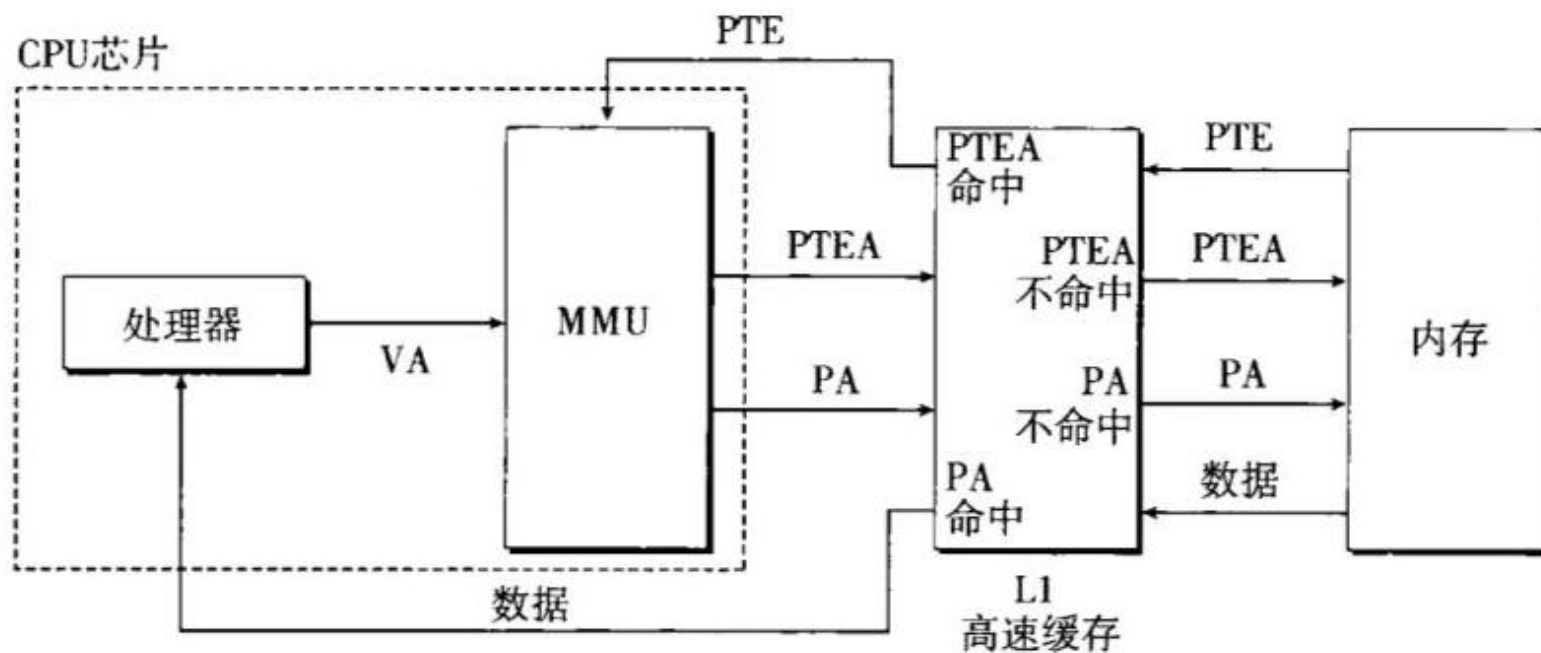
# 地址翻译

## 页面未命中



# 地址翻译

## 结合高速缓存与虚拟内存

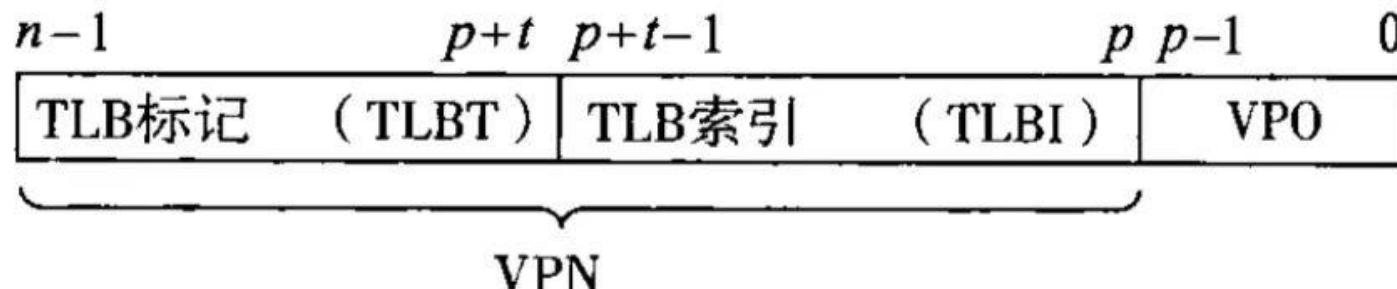


➡ 地址翻译发生在高速缓存查找之前

# TLB加速地址翻译

TLB中每一行都保存着一个由单个PTE组成的块

CPU每产生一个虚拟地址，MMU就必须从内存查阅相应的PTE，从而翻译物理地址。为提高效率，在MMU中增加一个关于PTE的小缓存——翻译后备缓冲器（TLB）



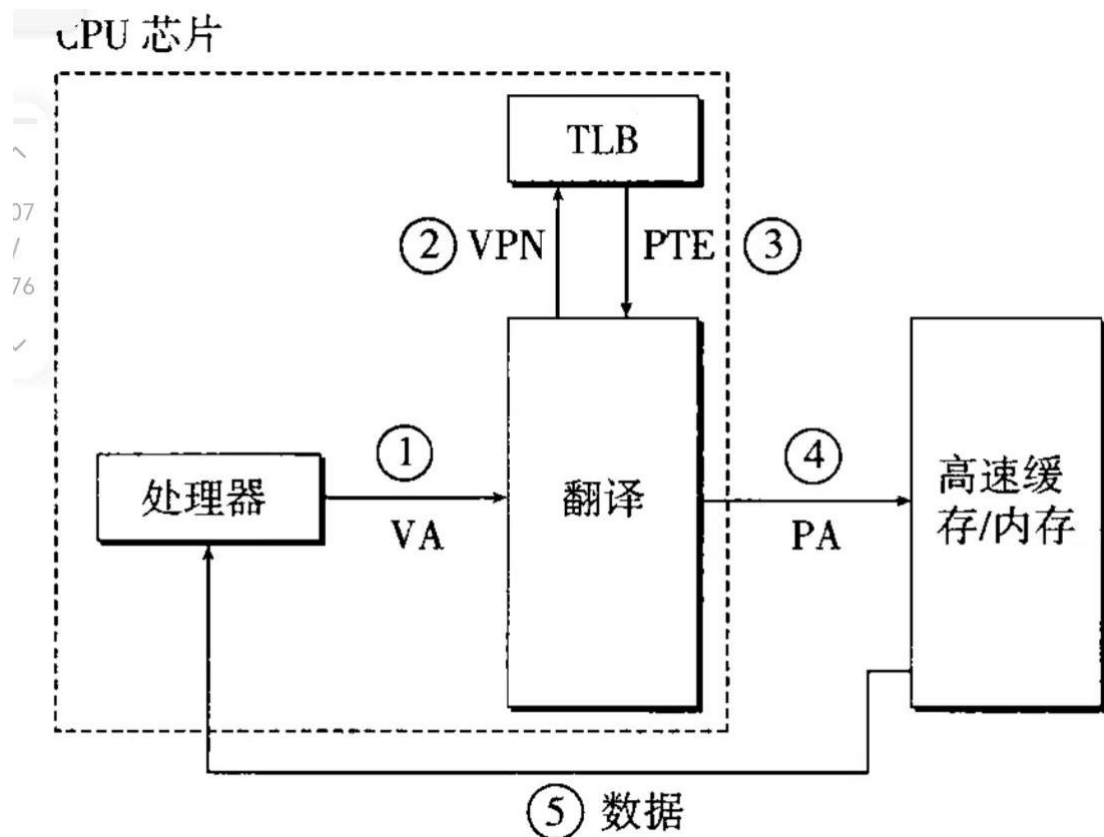
TLB有 $T=2^t$ 个组

组选择——TLB索引 (TLBI)

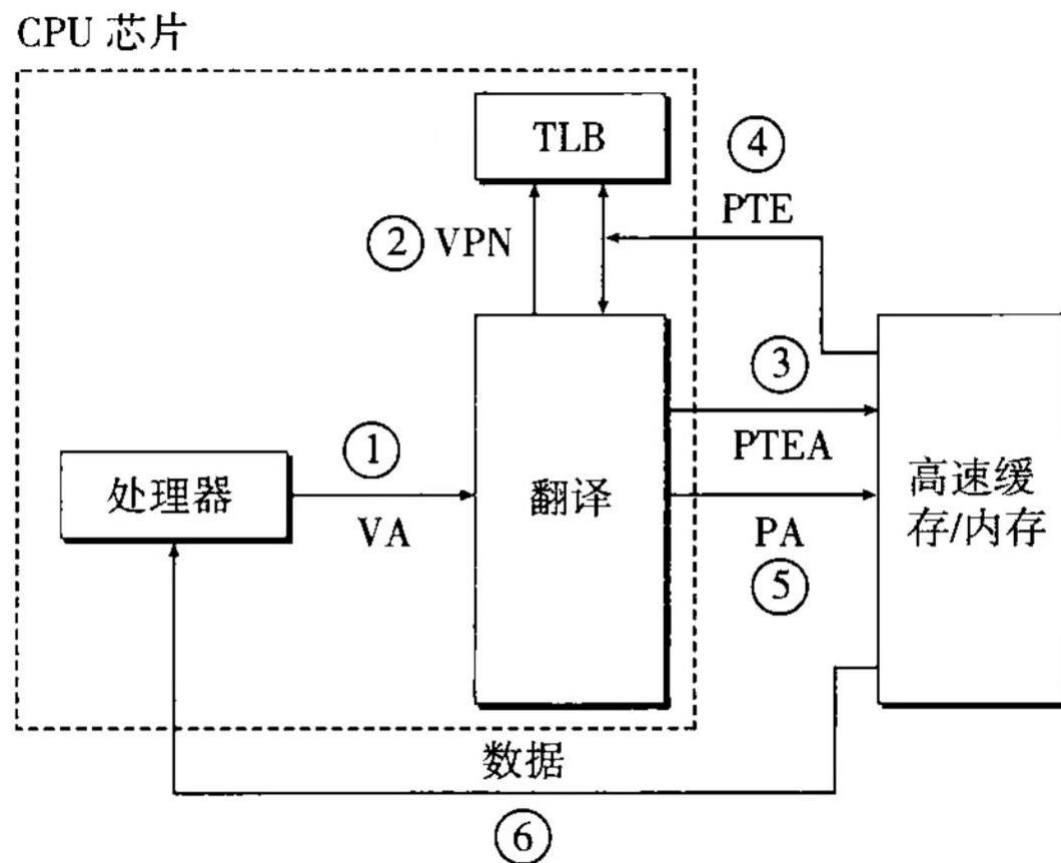
行匹配——TLB标记 (TLBT)

# TLB加速地址翻译

## TLB命中



## TLB未命中



# 多级页表

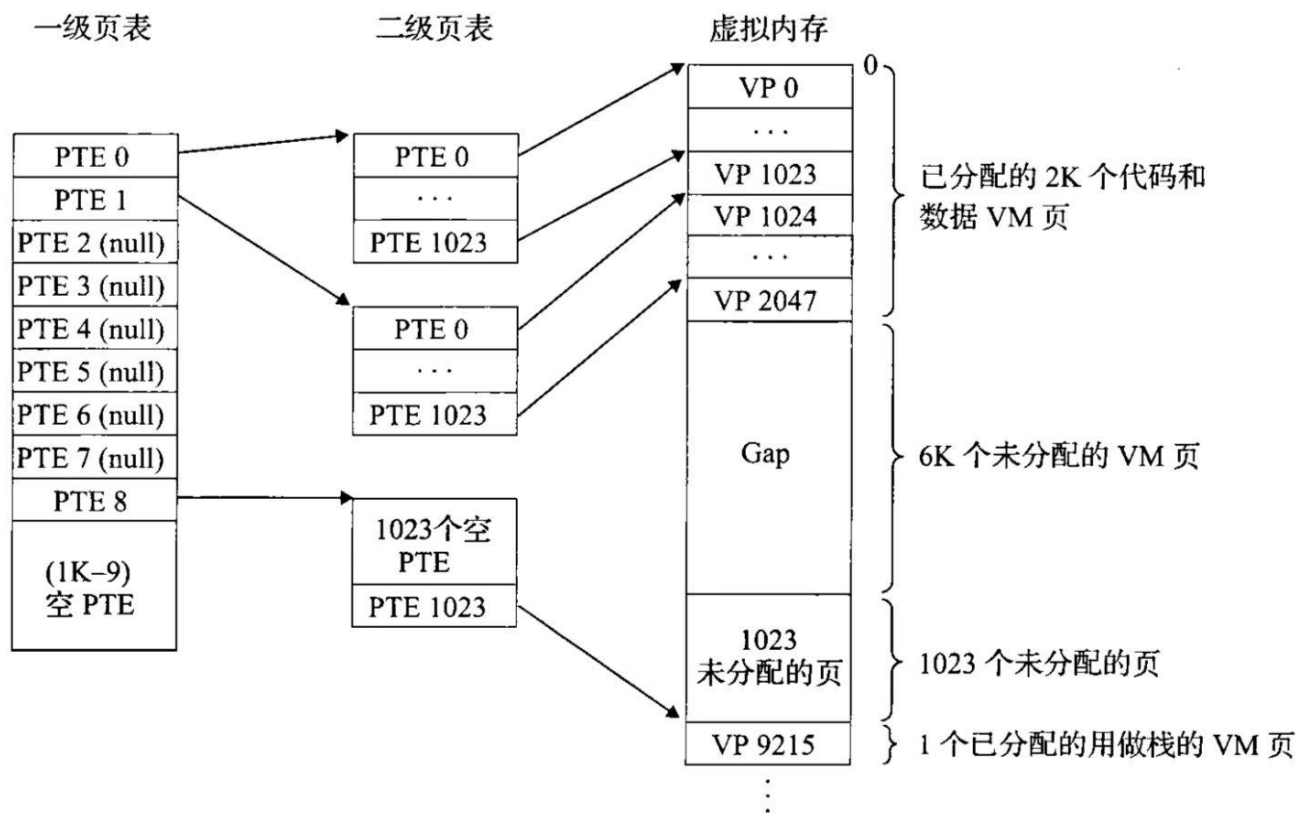
采用层次结构的页表来压缩页表



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

32位地址空间，4KB的页面和一个4字节的PTE

## 二级页表



一级页表中某个PTE是空的，那么相应的二级页表不存在

一级页表总是在主存中，只有最经常使用的二级页表才需要缓存在主存中



# 多级页表

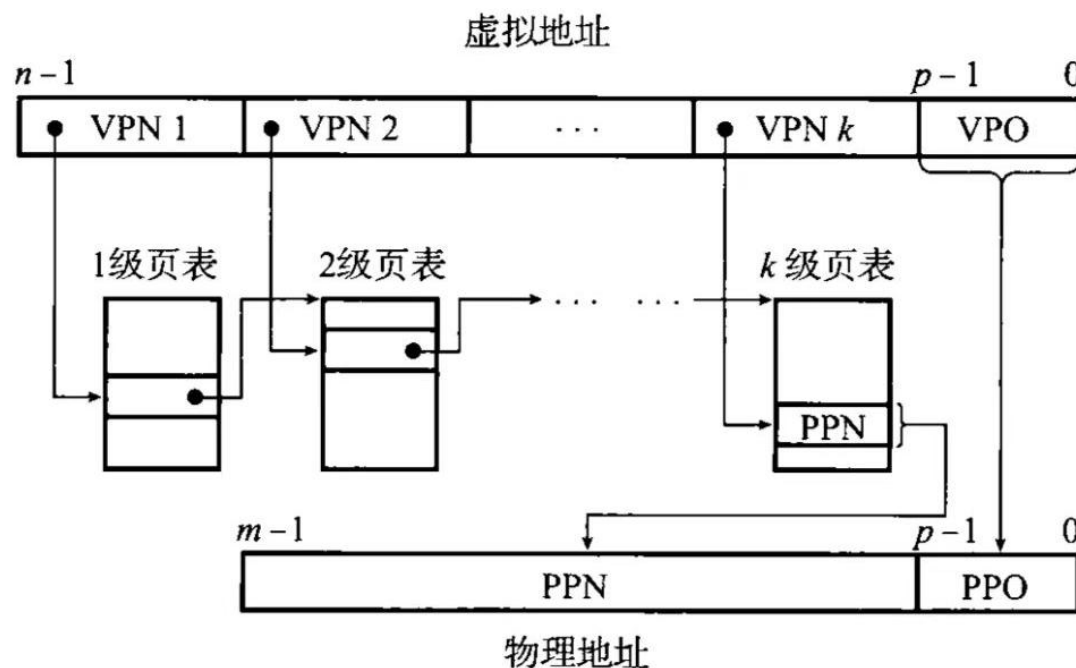
采用层次结构的页表来压缩页表



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

32位地址空间，4KB的页面和一个4字节的PTE

## k级页表



虚拟地址被划分为k个虚拟页号 (VPN) 和一个虚拟页面偏移量 (VPO)

每个 $VPN_i$ 都是一个到第i级页表的索引

第j级页表中的每个PTE都指向j+1级某个页表的基址

第k级页表中的每个PTE包含某个物理页面的物理页号 (PPN) 或一个磁盘块地址

# 谢谢

Thank You



北京大学  
PEKING UNIVERSITY