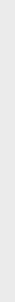


2. 数据的表示与存储

2.10 虚拟存储



2. 数据的表示与存储

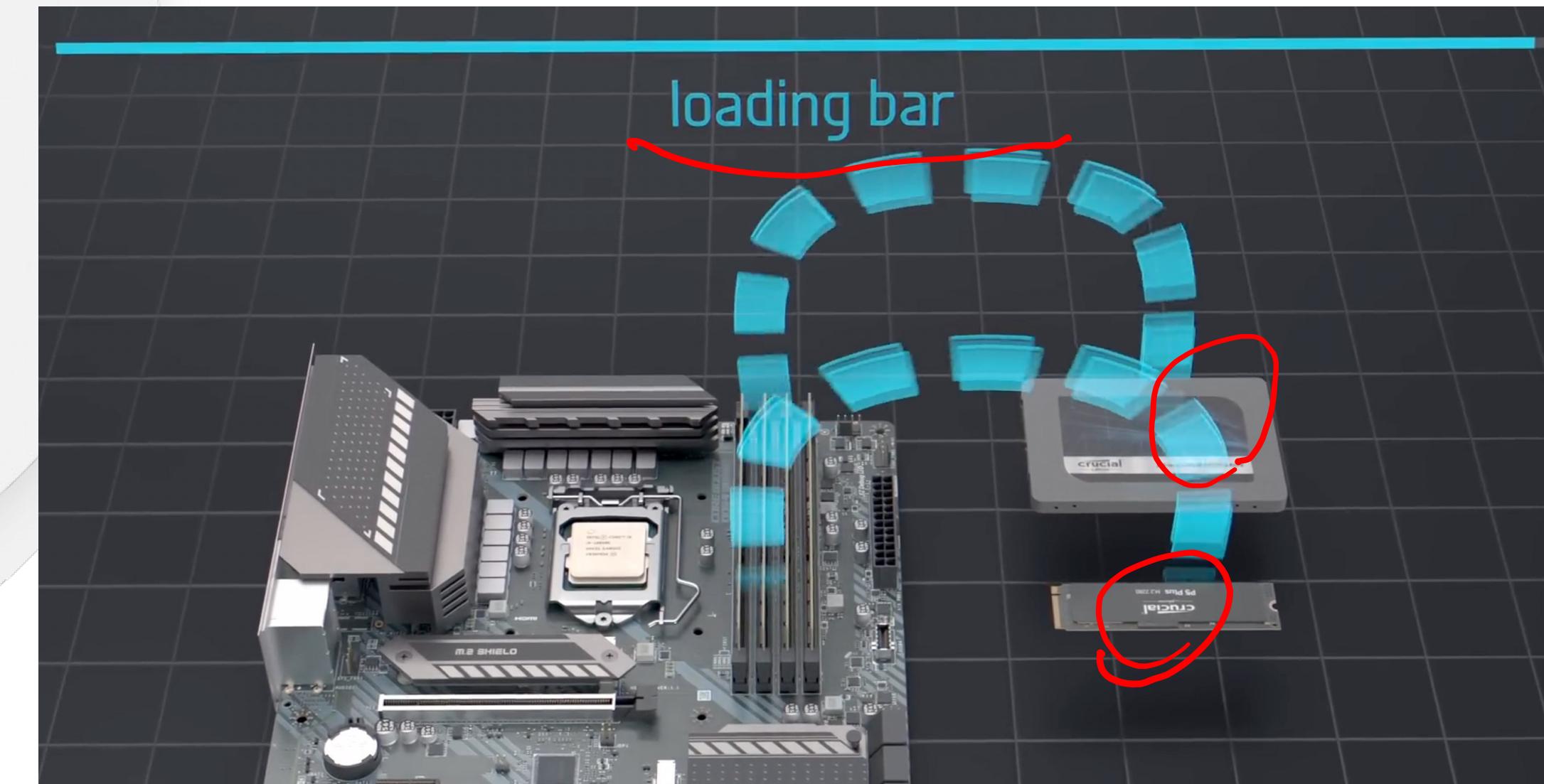
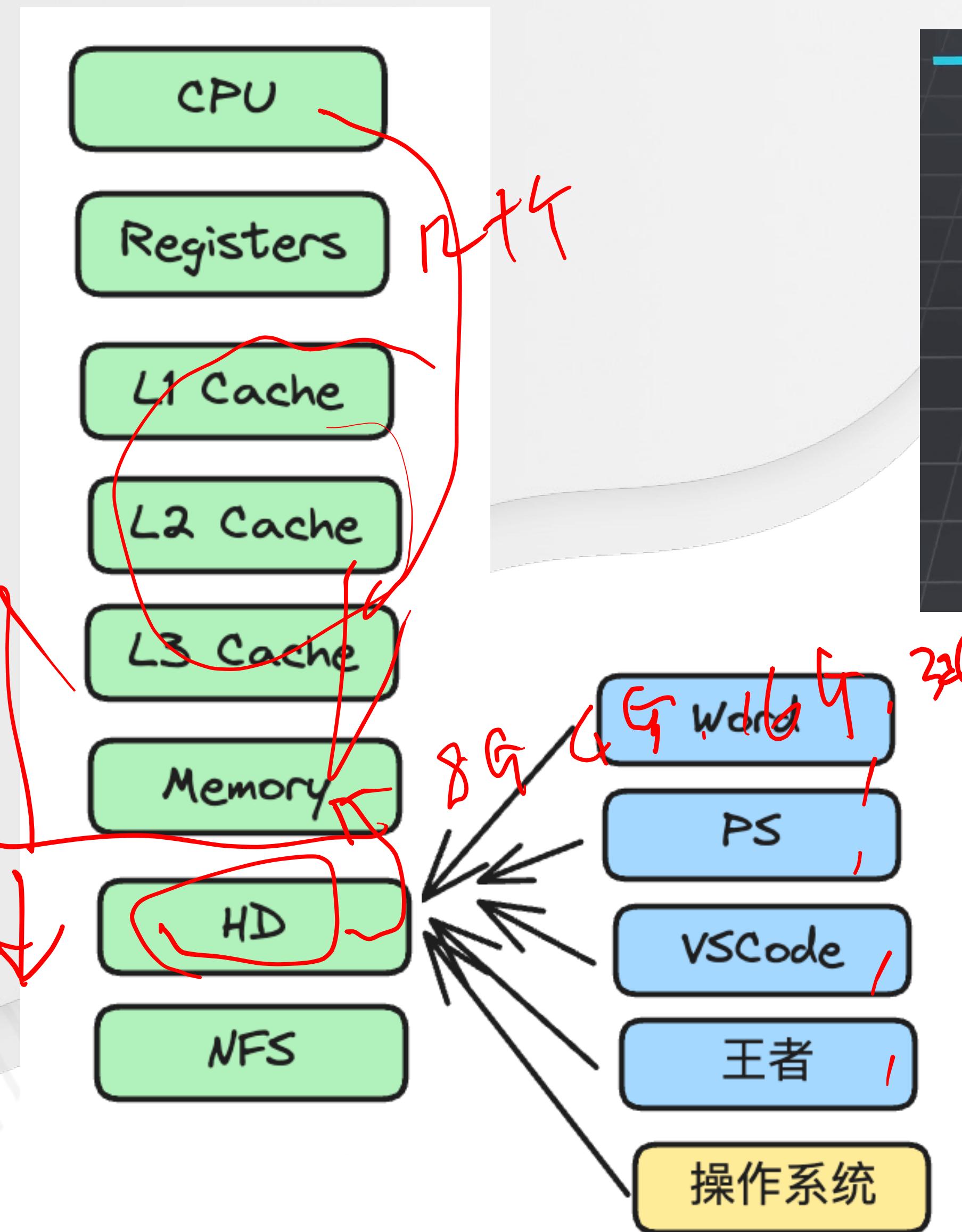
2.10 虚拟存储

- 01 地址空间管理
- 02 页式虚拟存储管理
- 03 段式虚拟存储器
- 04 段页式虚拟存储器
- 05 TLB (快表)
- 06 存储保护
- 07 练习题



2. 数据的表示与存储

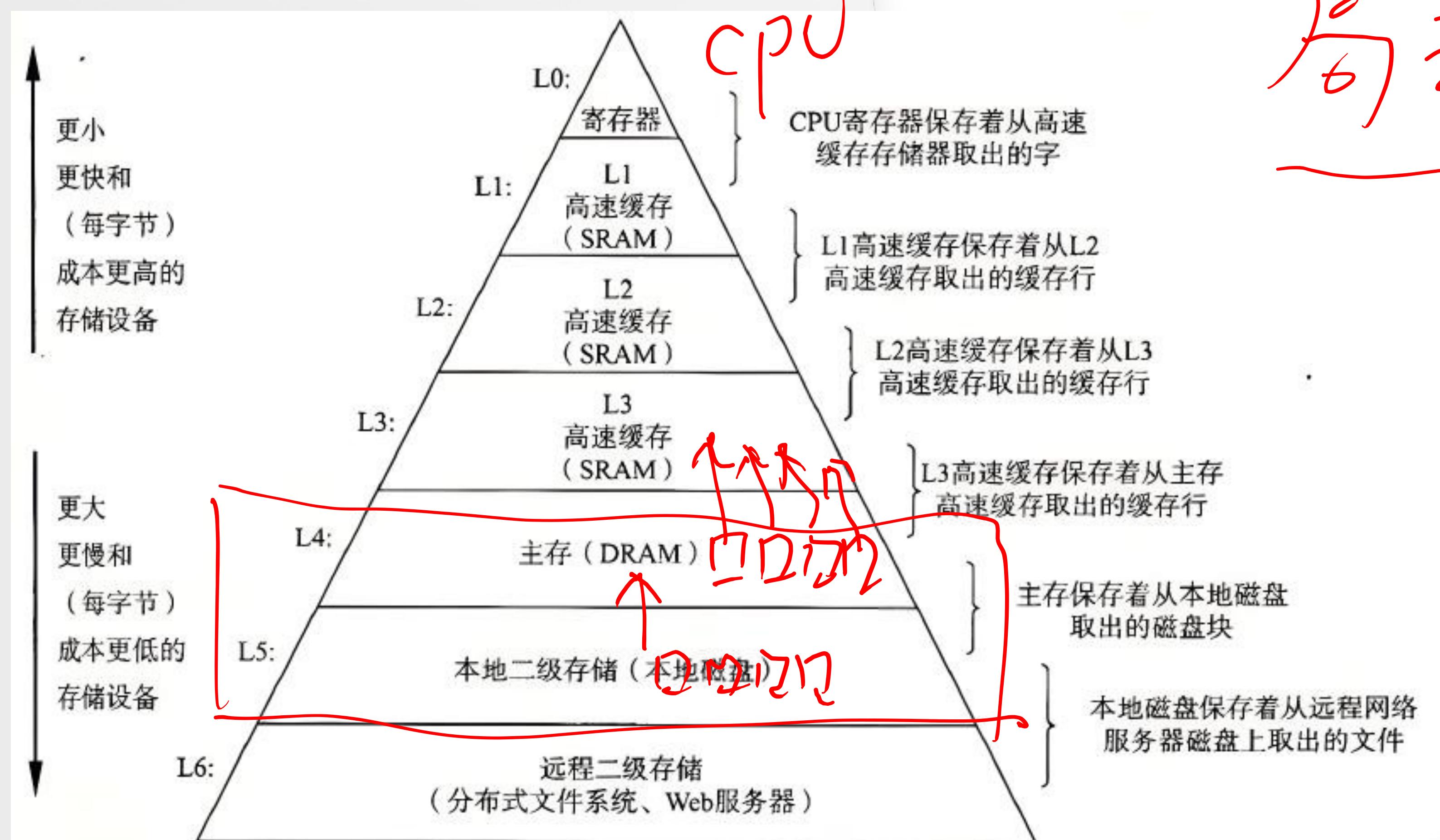
2.10.1 存储系统的层次结构



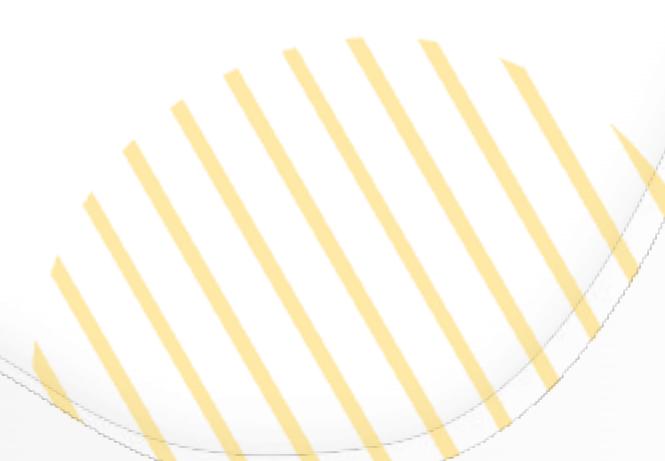


2. 数据的表示与存储

2.10.1 存储系统的数据交互



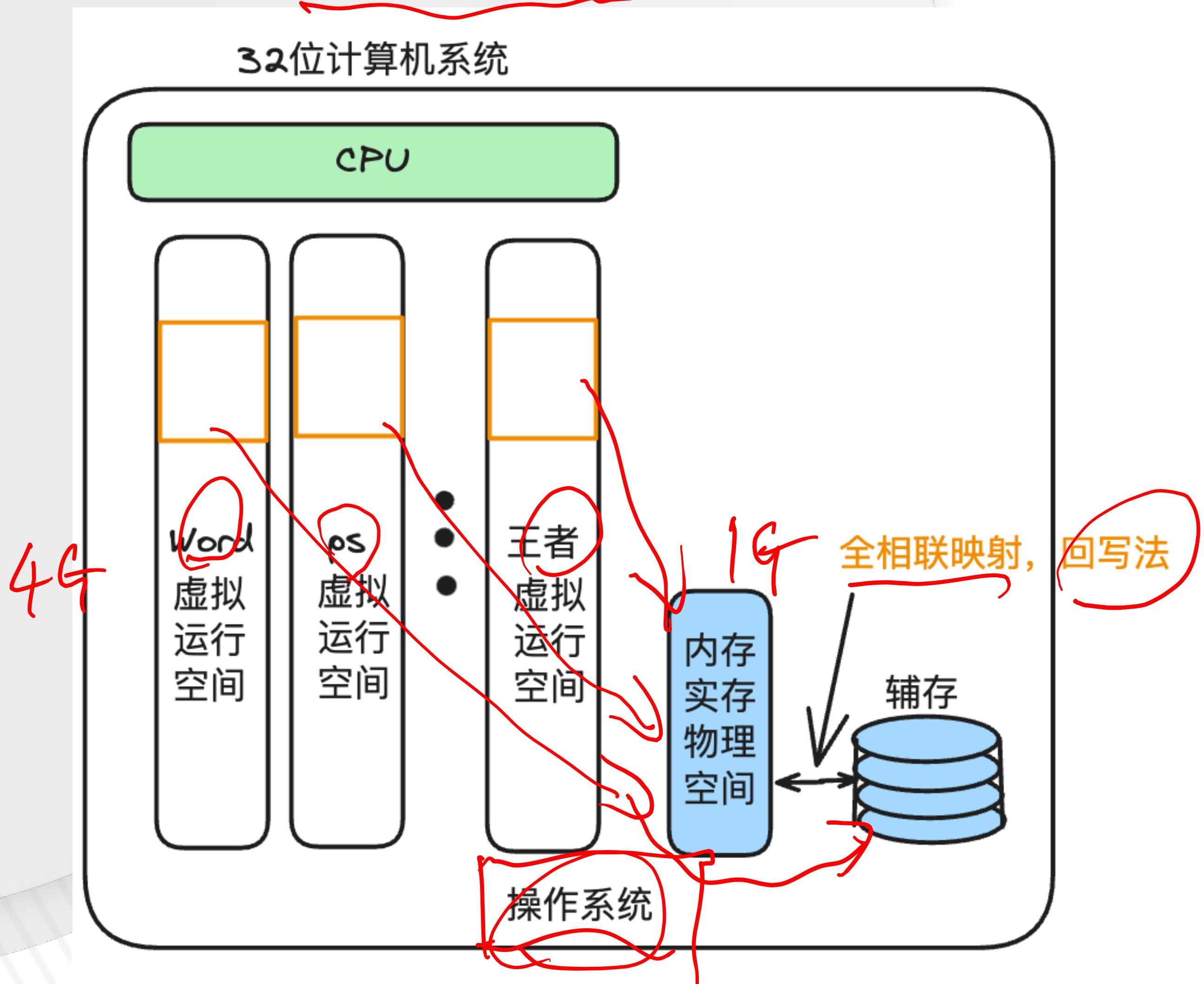
局部性





2. 数据的表示与存储

2.10.1 虚拟存储器的3个地址空间





2. 数据的表示与存储

2.10.1 虚存机制要解决的关键问题

1. 调度问题：决定哪些程序和数据应被调入主存

2. 地址映射问题：在访问主存时把虚地址变为主存物理地址（这一过程称为内地址变换）；在访问辅存时把虚地址变成辅存的物理地址（这一过程称为外地址变换），以便换页。此外还要解决主存分配、存储保护与程序再定位等问题

3. 替换问题：决定哪些程序和数据应被调出主存

4. 更新问题：确保主存与辅存的一致性

CPU → 主存

主存
辅存



2. 数据的表示与存储

2.10.1 虚拟内存空间

DS

PK
W,va



32位Linux内存空间



64位Linux内存空间

16bit



2. 数据的表示与存储

2.10.1 虚拟内存空间

```
song@df 2.bits_data % ./a.out
```

```
song@df 2.bits_data % ./a.out
```

```
song@df 2.bits_data % ./a.out
```

32位

OS

进制a

3G

虚拟空间

进制b

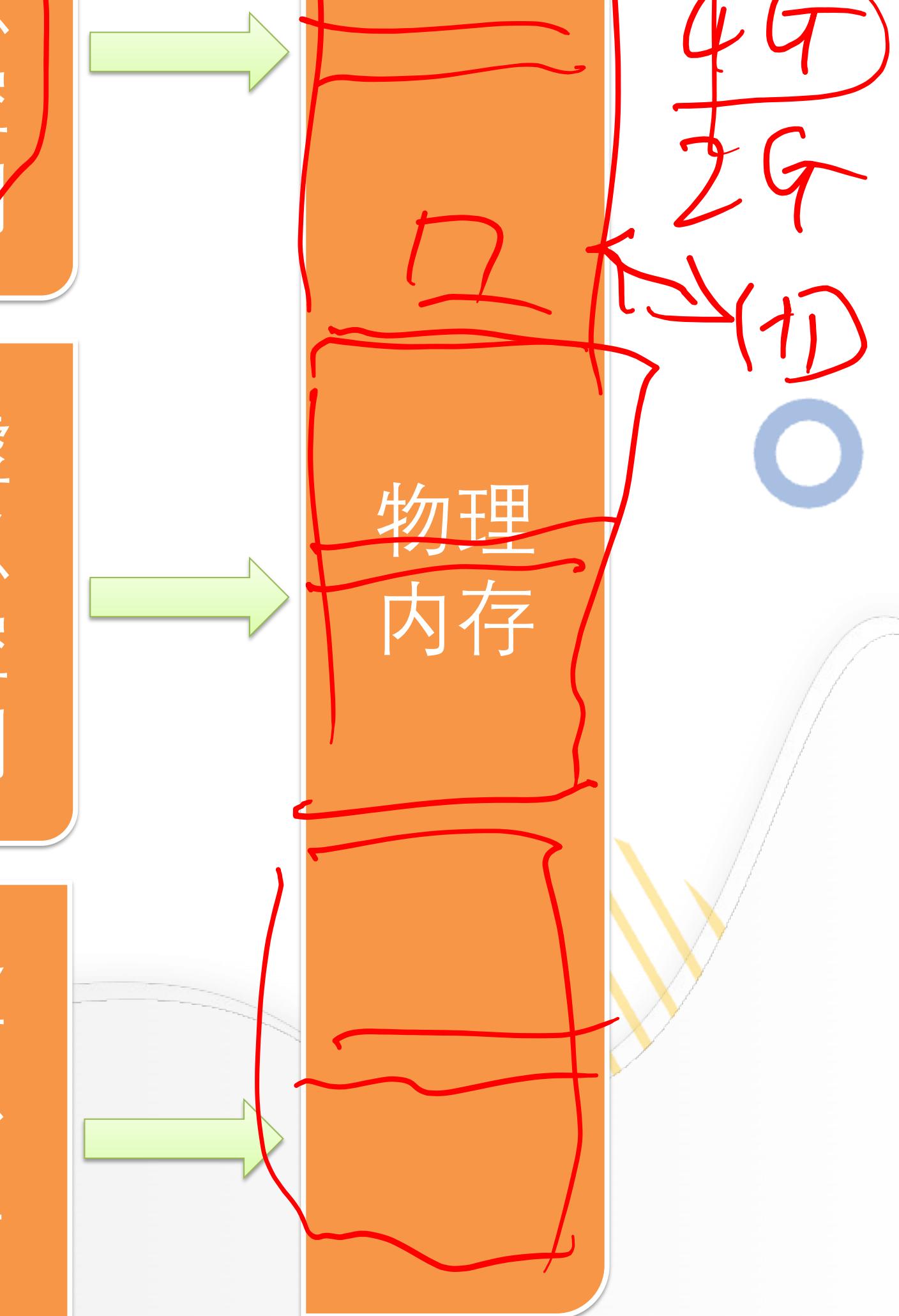
3G

虚拟空间

进制c

3G

虚拟空间

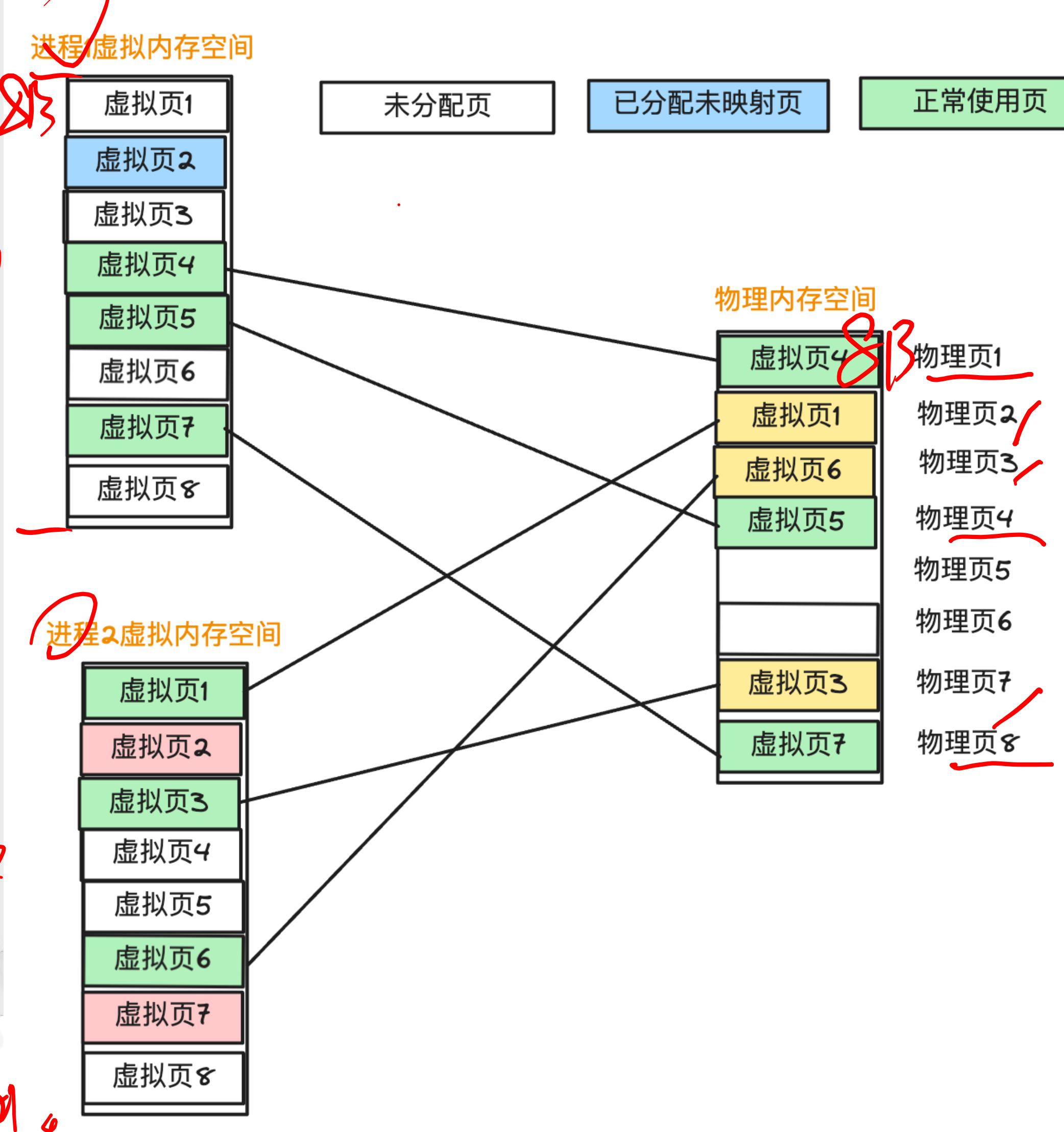




2. 数据的表示与存储

2.10.2 页式虚拟存储器

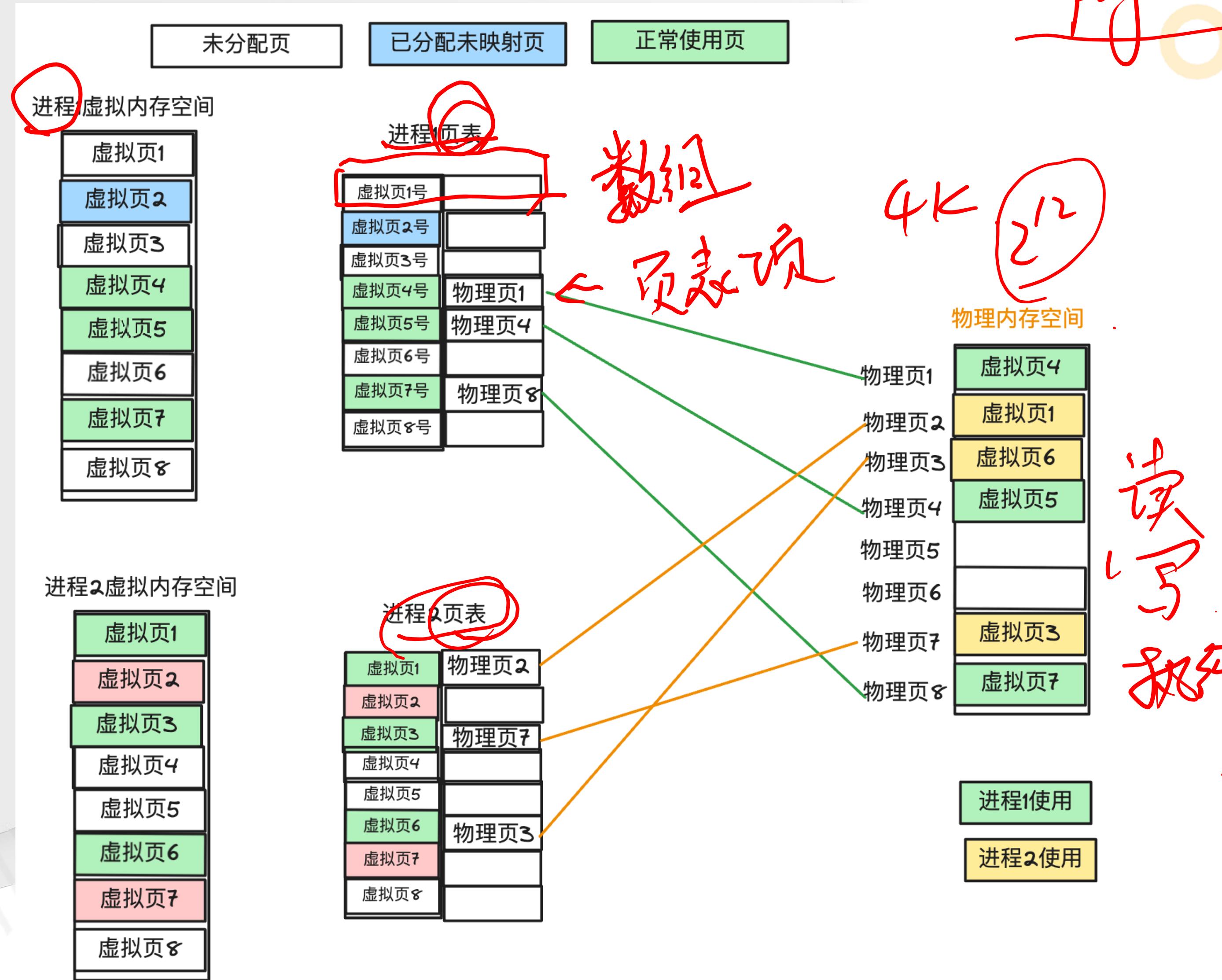
64B





2. 数据的表示与存储

2.10.2 页式虚拟存储器



~~int a[8]~~
~~struct page_info p[8]~~

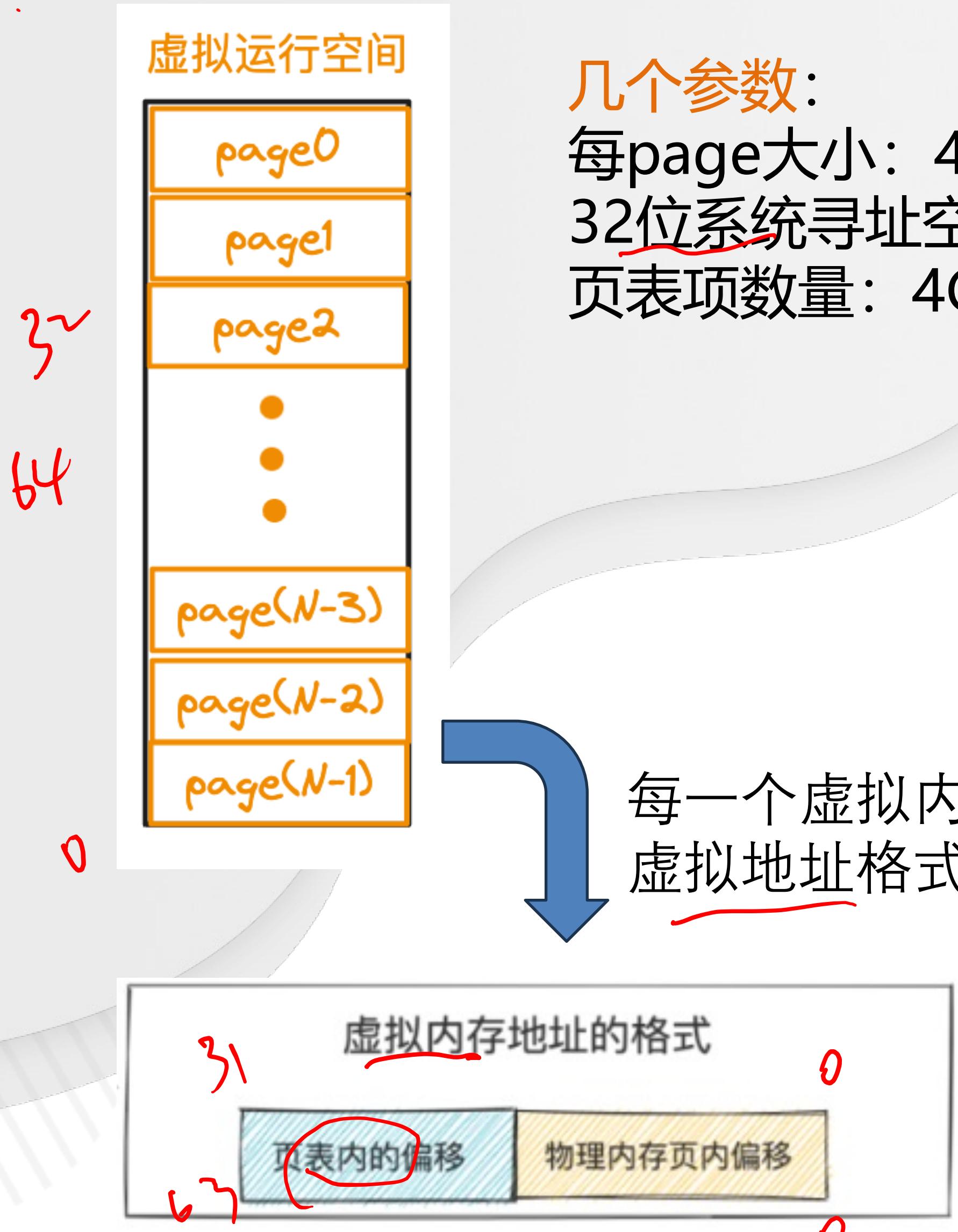
页表作用：

- 1、管理虚拟内存与物理内存之间的映射关系
- 2、访问权限的管理，控制进程对物理内存的访问权限



2. 数据的表示与存储

2.10.2 页式虚拟存储器



几个参数：

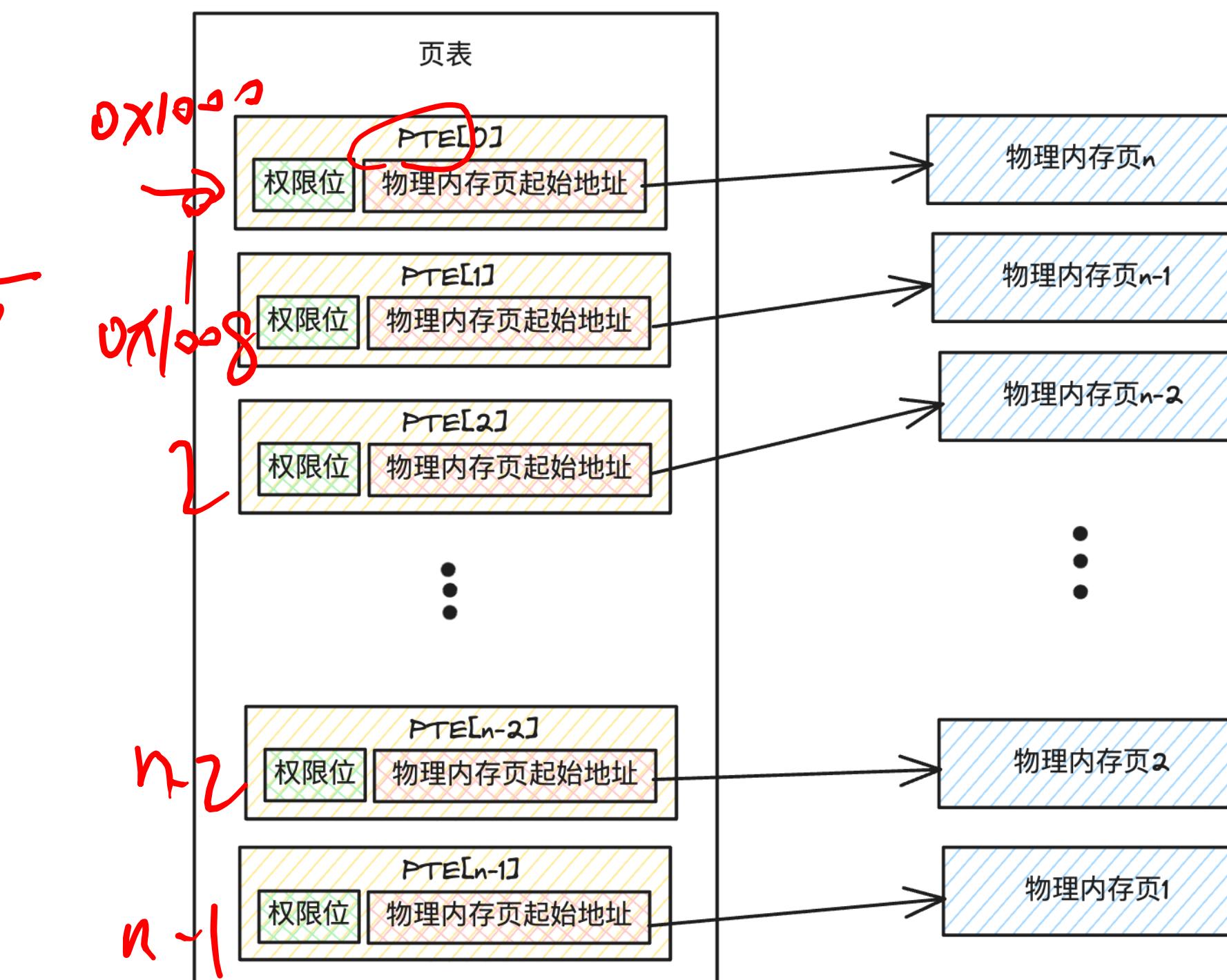
每page大小：4KB

32位系统寻址空间：4GB

页表项数量： $4GB / 4KB = 1MB$

$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$

1= 页表 (专用物理页，保存PTE数组)



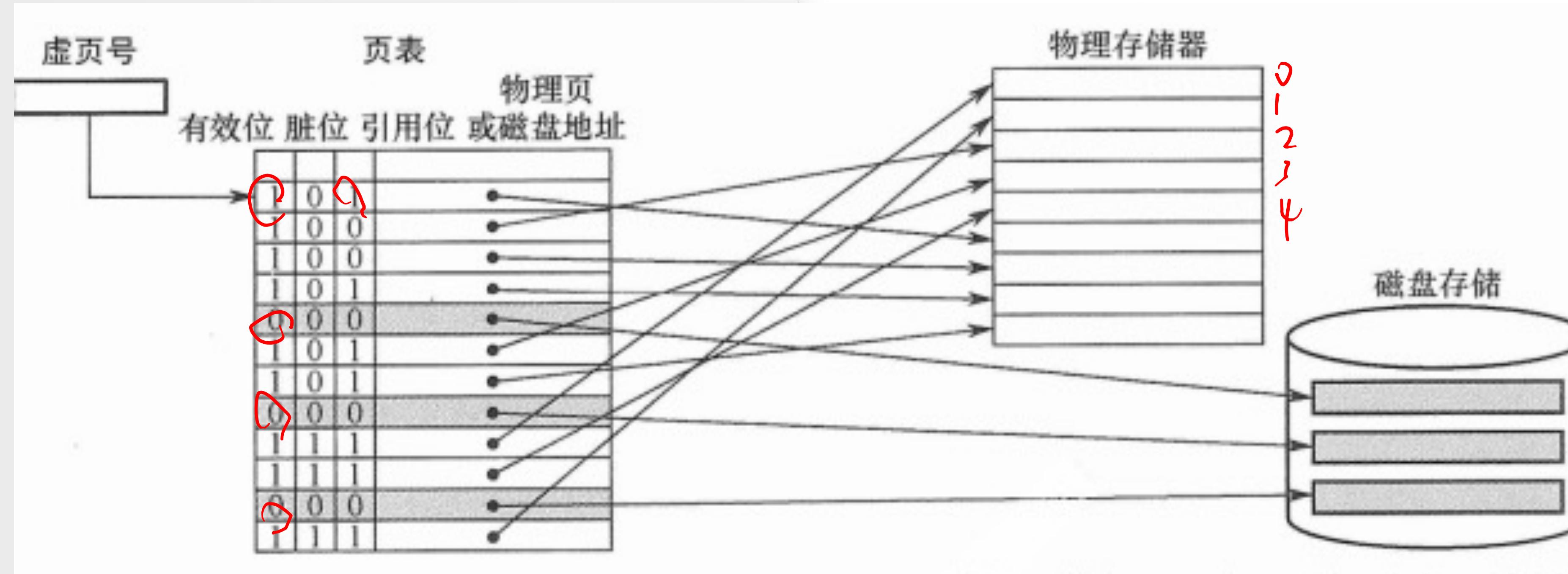
mm_struct->pgd

保存了页表首地址
(页表基址寄存器)



2. 数据的表示与存储

2.10.2 主存中的页表



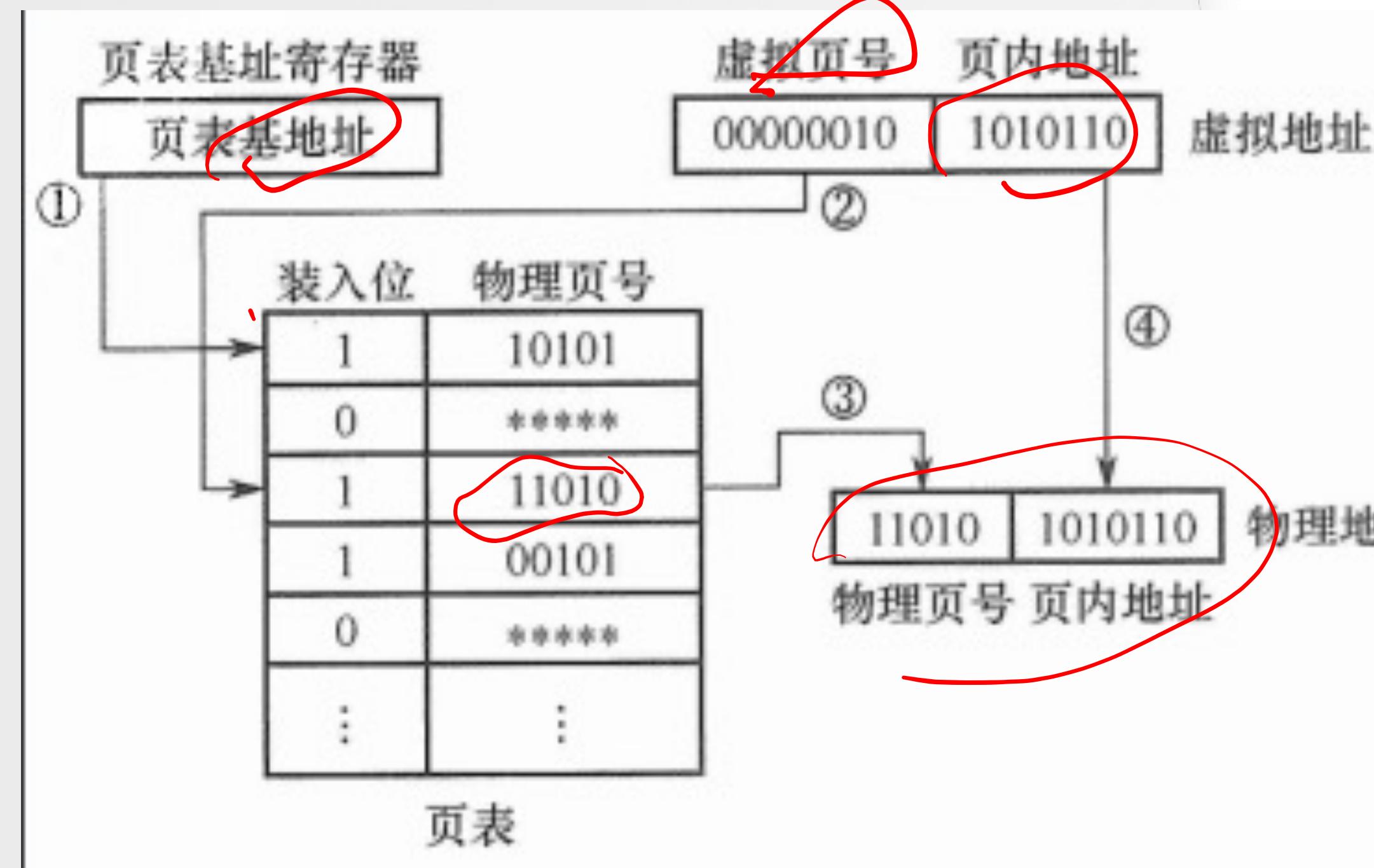
脏位：也称修改位

引用位：也称使用位



2. 数据的表示与存储

2.10.2 页式虚拟存储器的地址变换过程



优点：
页面的长度固定，页表简单，调入方便；
缺点：
由于程序不可能正好是页面的整数倍，
最后一页的零头将无法利用而造成浪
费，并且页不是逻辑上独立的实体，所
以处理、保护和共享都不及段式虚拟
存储器方便，表太大

块

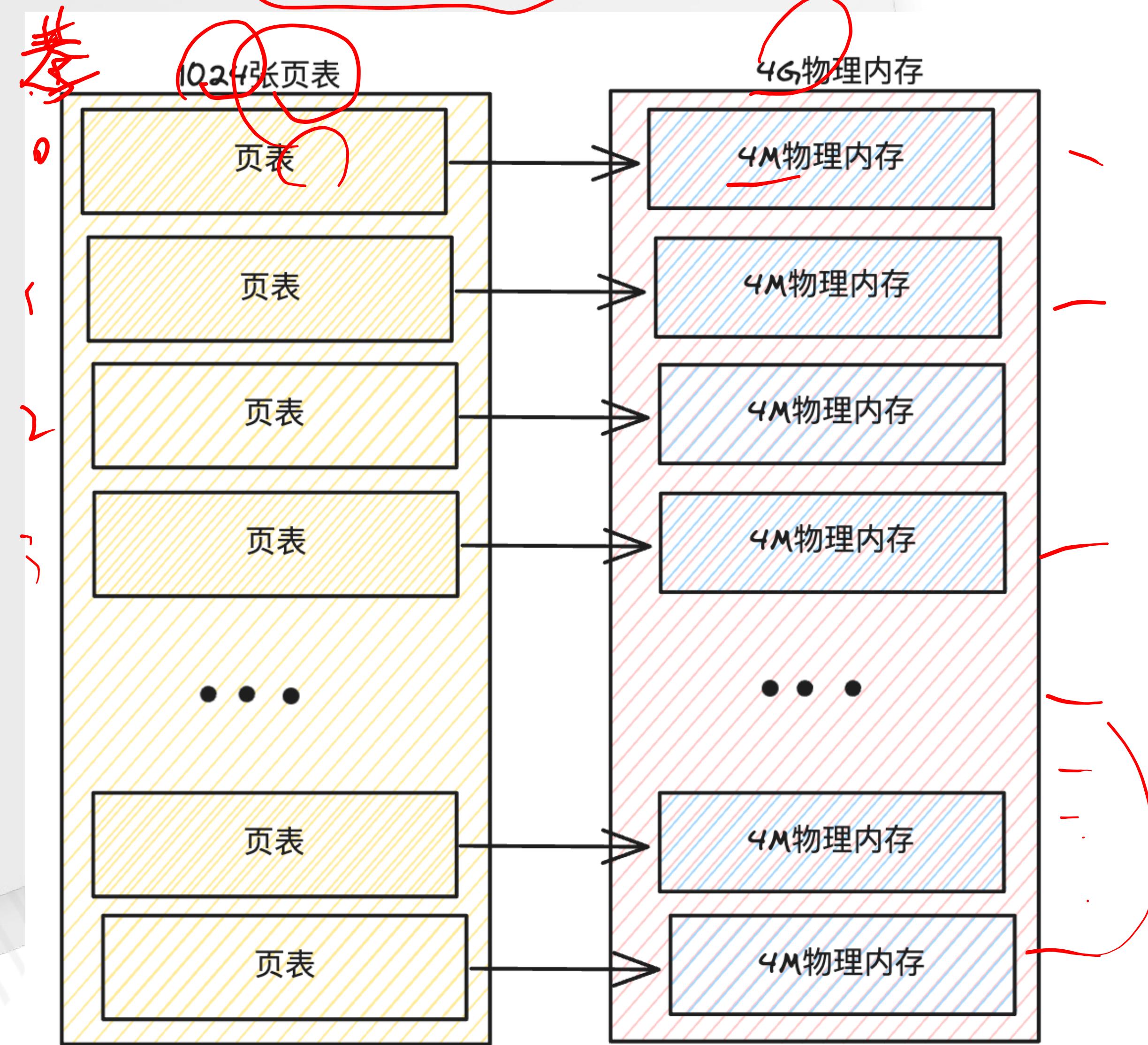
2 12
41< 15n
1014
3页
12C

- 每个进程都有一个页表基址寄存器 (`mm_struct->pgd`)，存放该进程的页表首地址，然后根据虚拟地址高位部分的虚拟页号找到对应的页表项
- 若装入位是1，则取出物理页号，和虚拟地址低位部分的页内地址拼接，形成实际物理地址
- 若装入位是0，说明缺页，需要操作系统进行缺页处理，这在操作系统课程中会讲解



2. 数据的表示与存储

2.10.3 页表大小



page (4C) 根据局部性原理的解决办法：
分段再分页 表



2. 数据的表示与存储

2.10.3 32位虚拟运行空间分布



- 用于存放进程程序二进制文件中的机器指令的代码段。
- 用于存放程序二进制文件中定义的全局变量和静态变量的数据段和 BSS 段。
- 用于在程序运行过程中动态申请内存的堆。ma the
- 用于存放动态链接库以及内存映射区域的文件映射与匿名映射区。
- 用于存放函数调用过程中的局部变量和函数参数的栈。

static int x;



2. 数据的表示与存储

2.10.3 虚拟运行空间

linux. objdump?

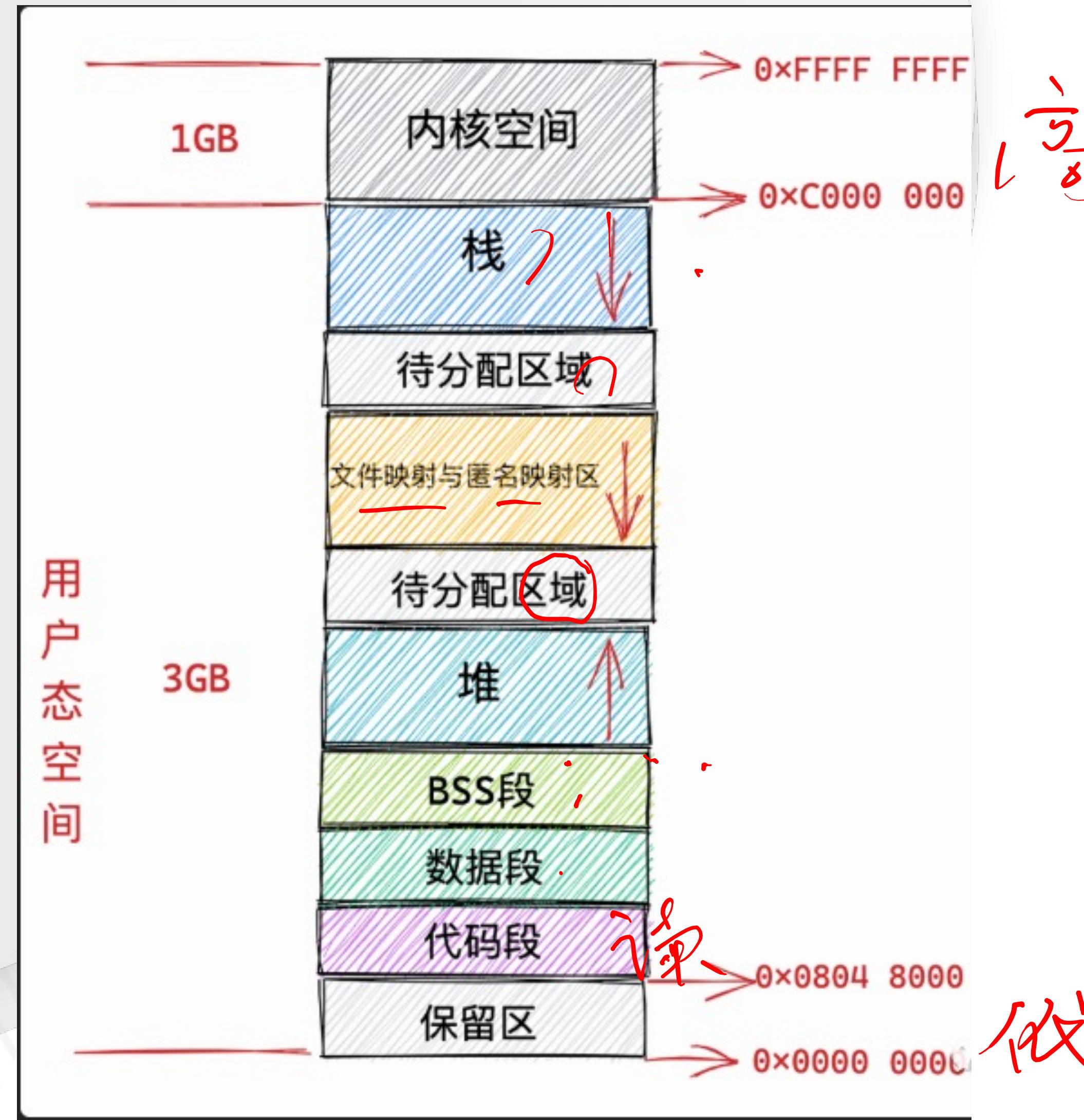


```
song@df 2.bits_data % otool -l a.out | grep -A 4 "segname" | awk '/segname|vmaddr|vmsize/'\n\nsegname __PAGEZERO\n  vmaddr 0x0000000000000000\n  vmsize 0x0000000100000000\nsegname __TEXT\n  vmaddr 0x0000000100000000 ← 代码\n  vmsize 0x00000000004000\nsegname __TEXT\nsegname __TEXT\nsegname __TEXT\nsegname __TEXT\nsegname __DATA_CONST\n  vmaddr 0x0000000100004000 ← 数据\n  vmsize 0x000000000004000\nsegname __DATA_CONST\nsegname __DATA\n  vmaddr 0x0000000100008000 ← BSS\n  vmsize 0x000000000004000\nsegname __DATA\nsegname __LINKEDIT\n  vmaddr 0x000000010000c000\n  vmsize 0x000000000004000
```



2. 数据的表示与存储

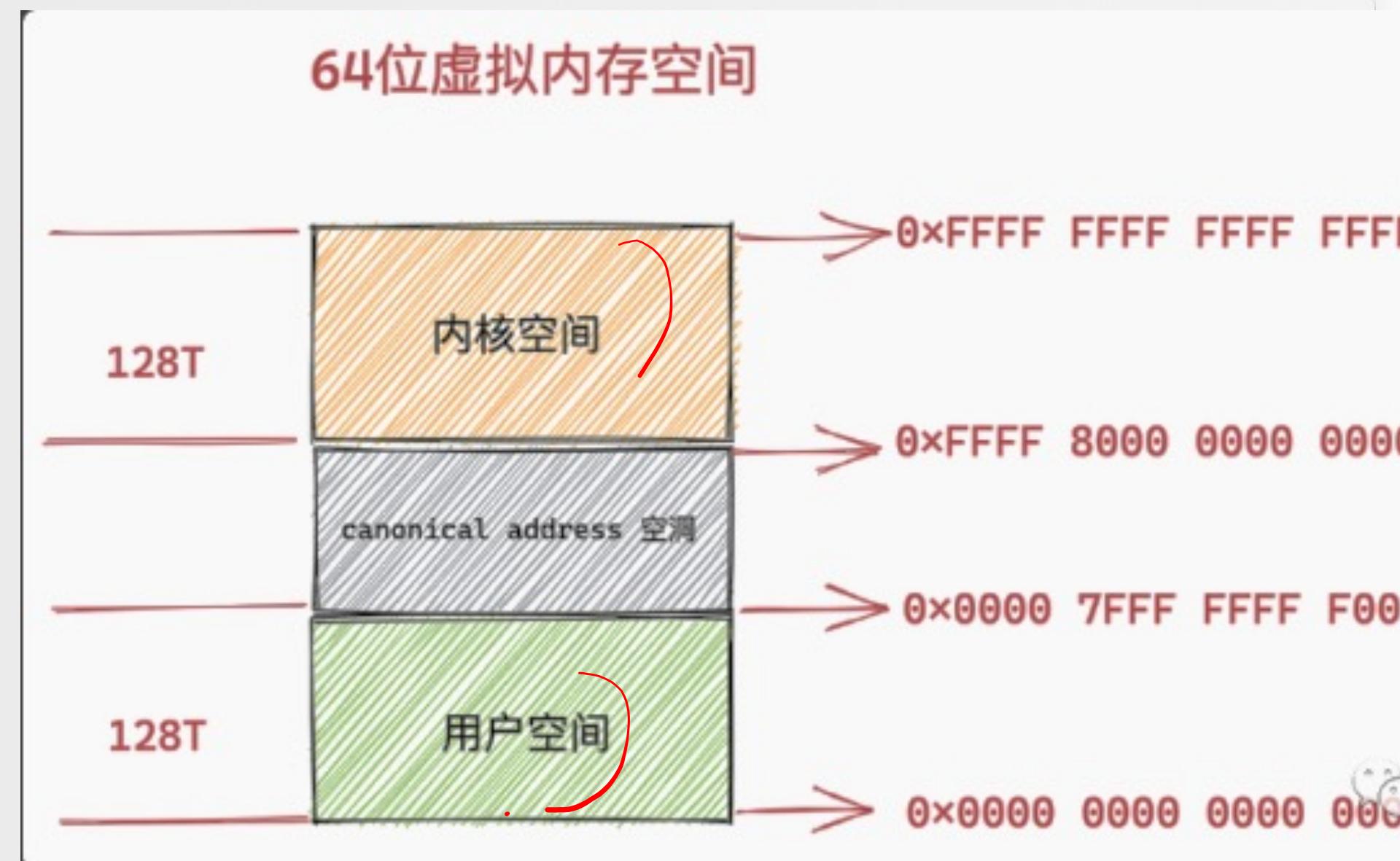
2.10.3 32位Linux虚拟运行空间分布



- 整个区域分为系统内核区和用户区，分别在两端
- 用户区又分为动态区和静态区，分别在两端
- 动态区又分为栈区和堆区分，分别在两端
- 静态区又分为可读写区和只读区，也分别在两端

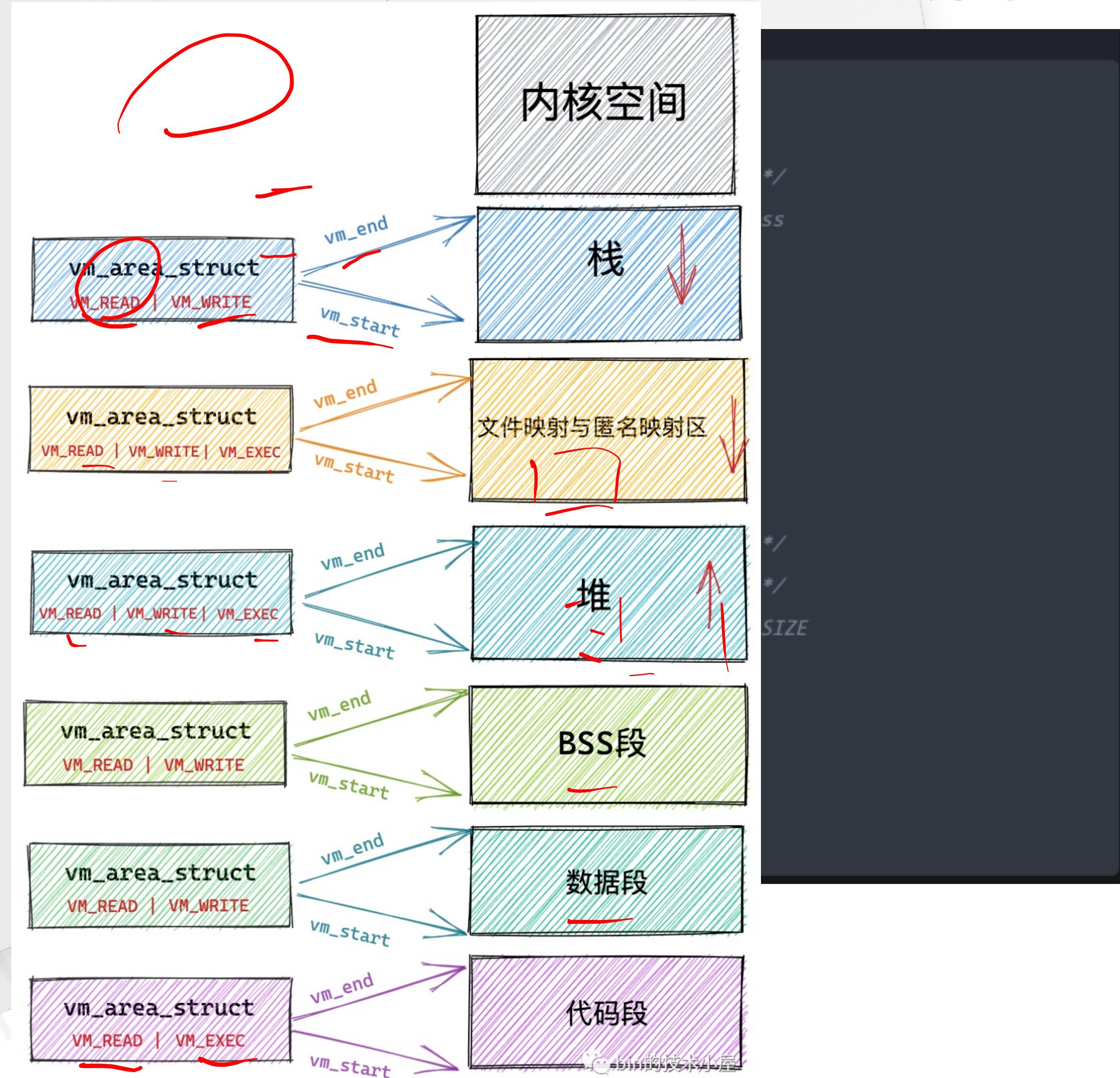
2. 数据的表示与存储

2.10.3 64位Linux虚拟运行空间分布



2. 数据的表示与存储

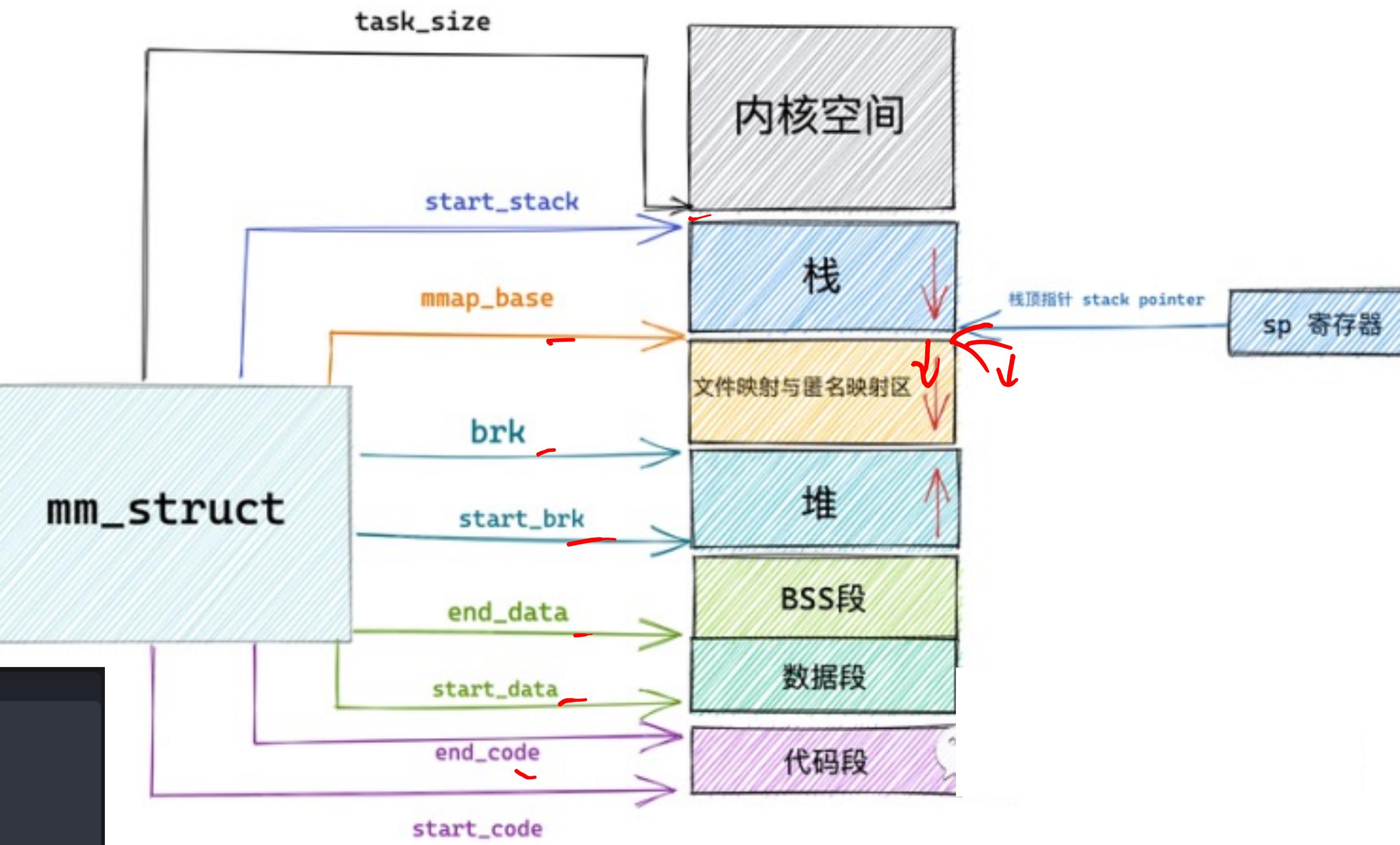
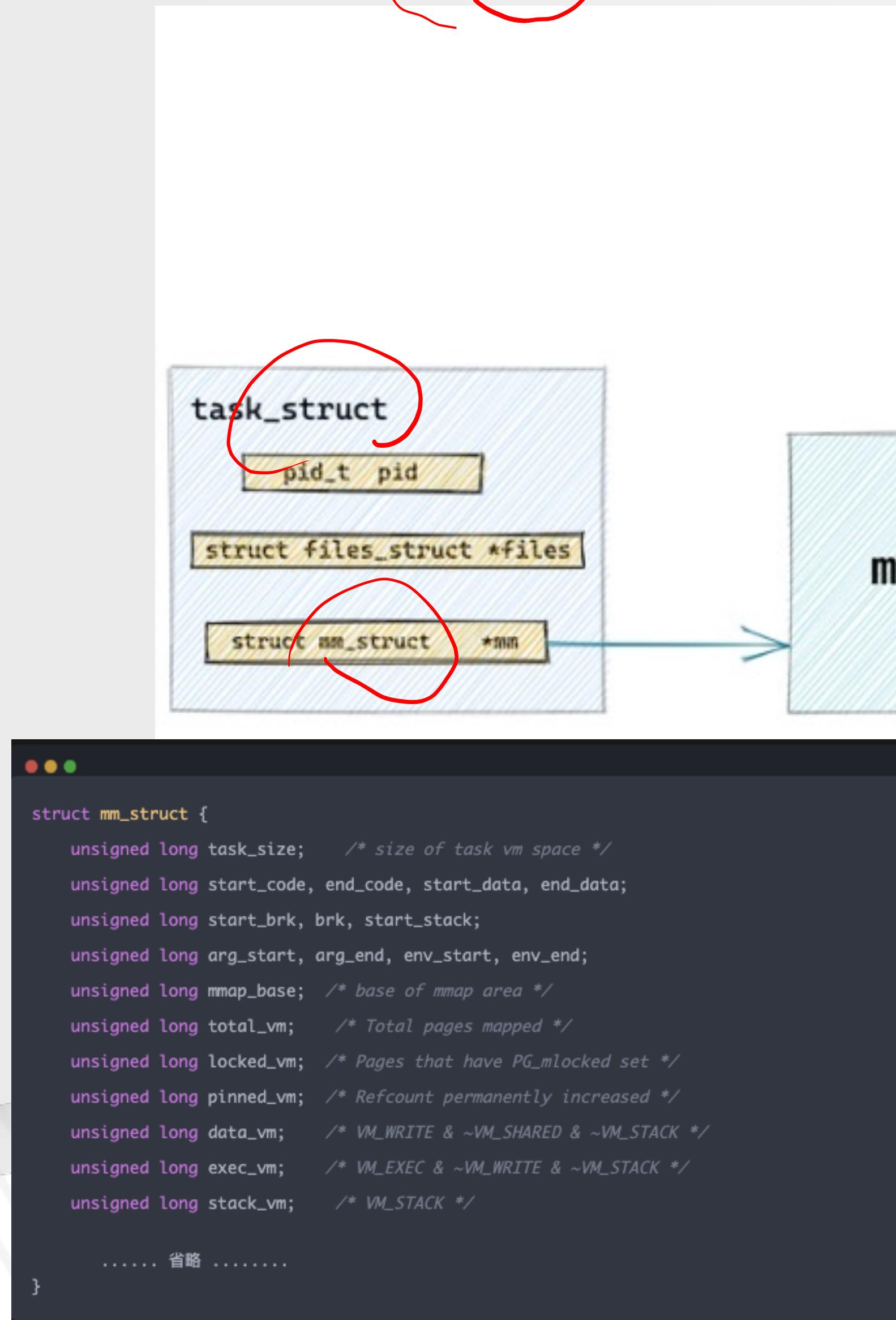
2.10.3 虚拟运行空间区域管理





2. 数据的表示与存储

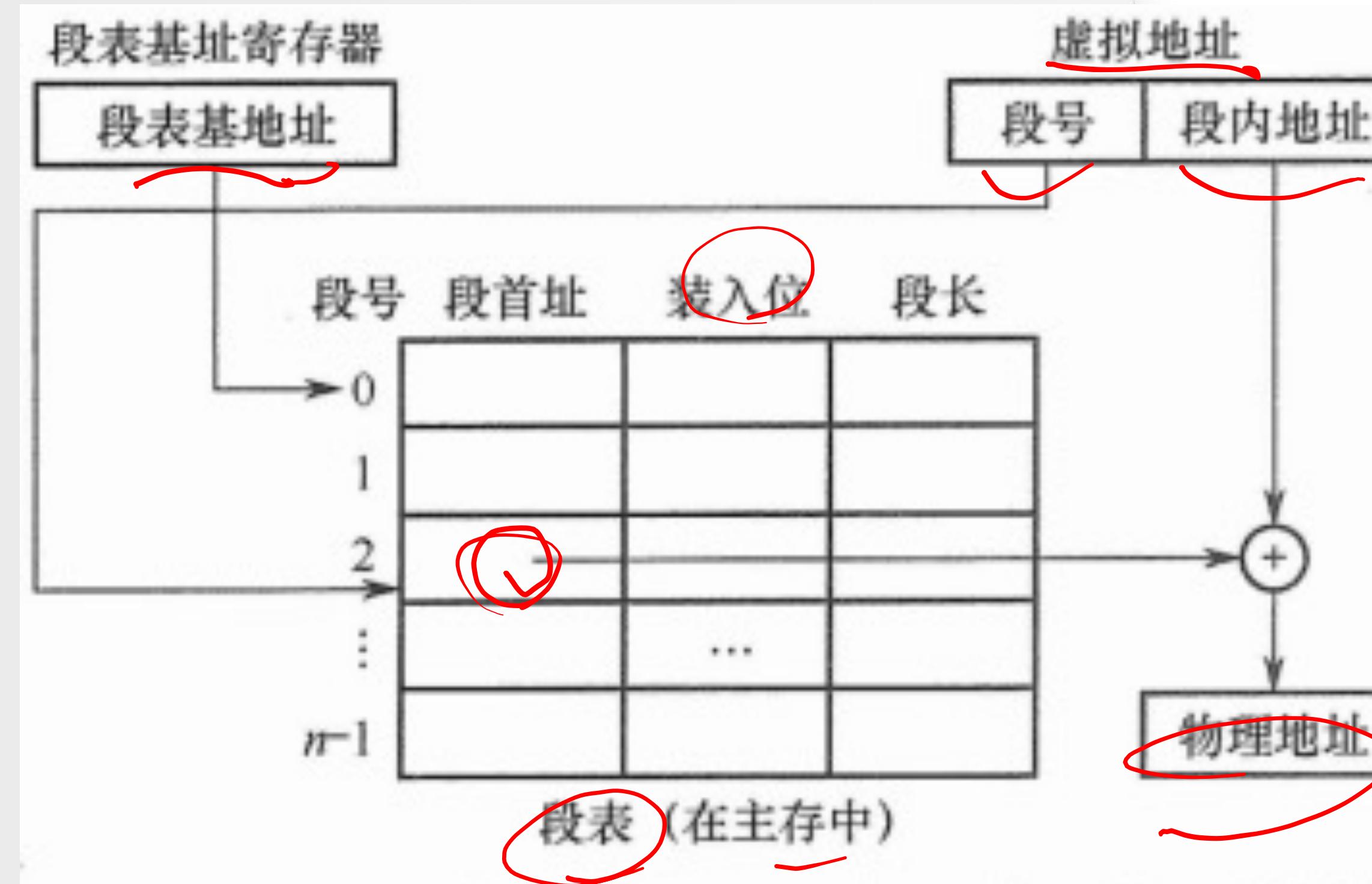
2.10.3 段表管理





2. 数据的表示与存储

2.10.3 段式虚拟存储器



1. 根据段号与段表基址拼接成对应的段表行
2. 根据段表行的装入位判断该段是否已调入主存(1-该段已调入主存,0-该段不在主存中), 已调入主存时, 从段表读出该段在主存中的起始地址, 与段内地址(偏移量)相加, 得到对应的主存实地址

优点:

段的分界与程序的自然分界相对应, 因而具有逻辑独立性, 使得它易于编译, 管理, 修改和保护, 也便于多道程序的共享

缺点:

因为段长度可变, 分配空间不便, 容易在段间留下碎片, 不好利用, 造成浪费



2. 数据的表示与存储

2.10.4 段页式虚拟存储器

基址寄存器

B1
B2
B3
B4

进程1段表

B1+0
B1+1
B1+2
B1+3

⋮

进程3段表

B3+0
B3+1
B3+2
B3+3

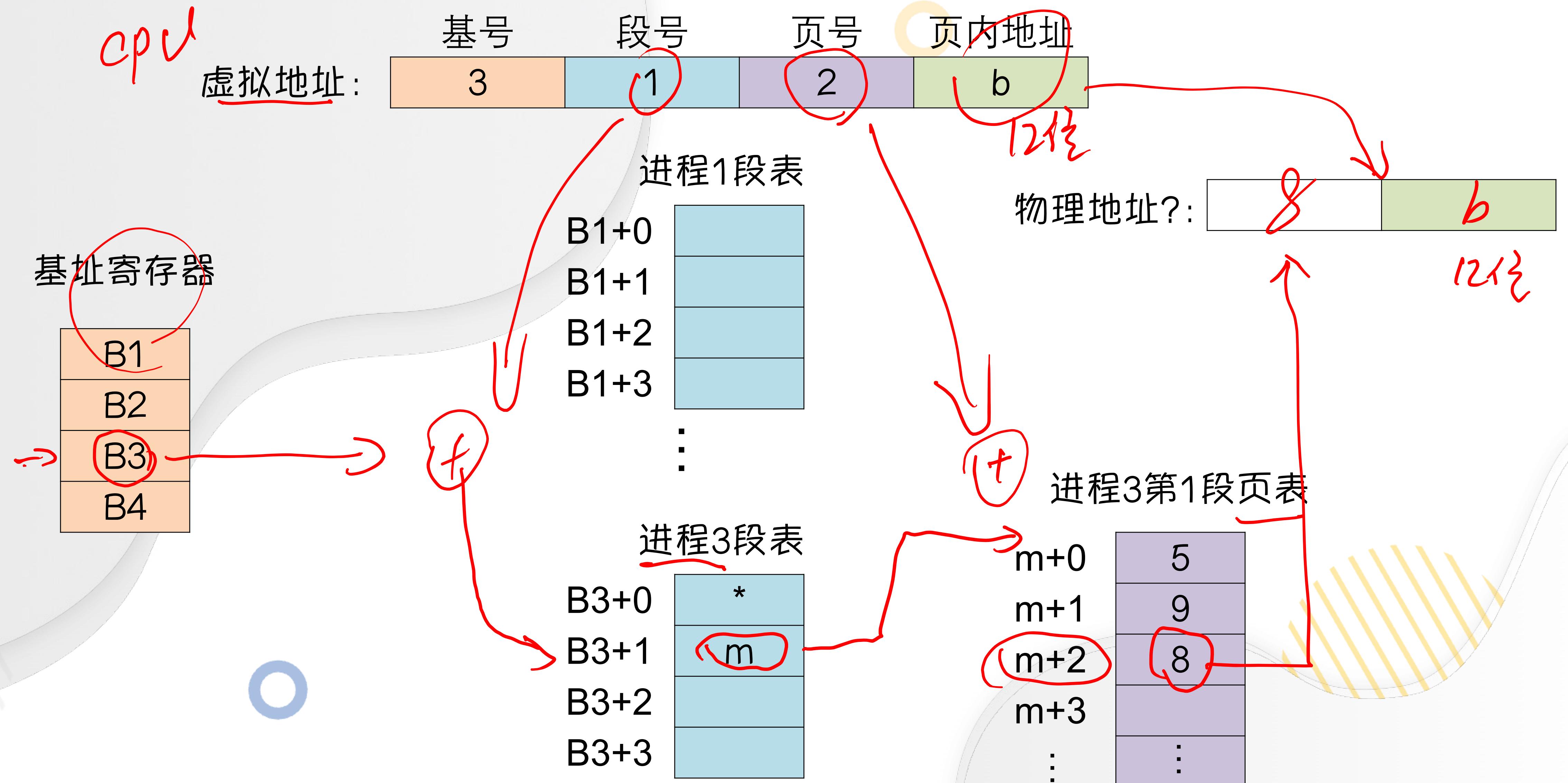
进程3第1段页表

m+0	5
m+1	9
m+2	8
m+3	



2. 数据的表示与存储

2.10.4 段页式虚拟存储器





2. 数据的表示与存储

2.10.5 加快地址转换

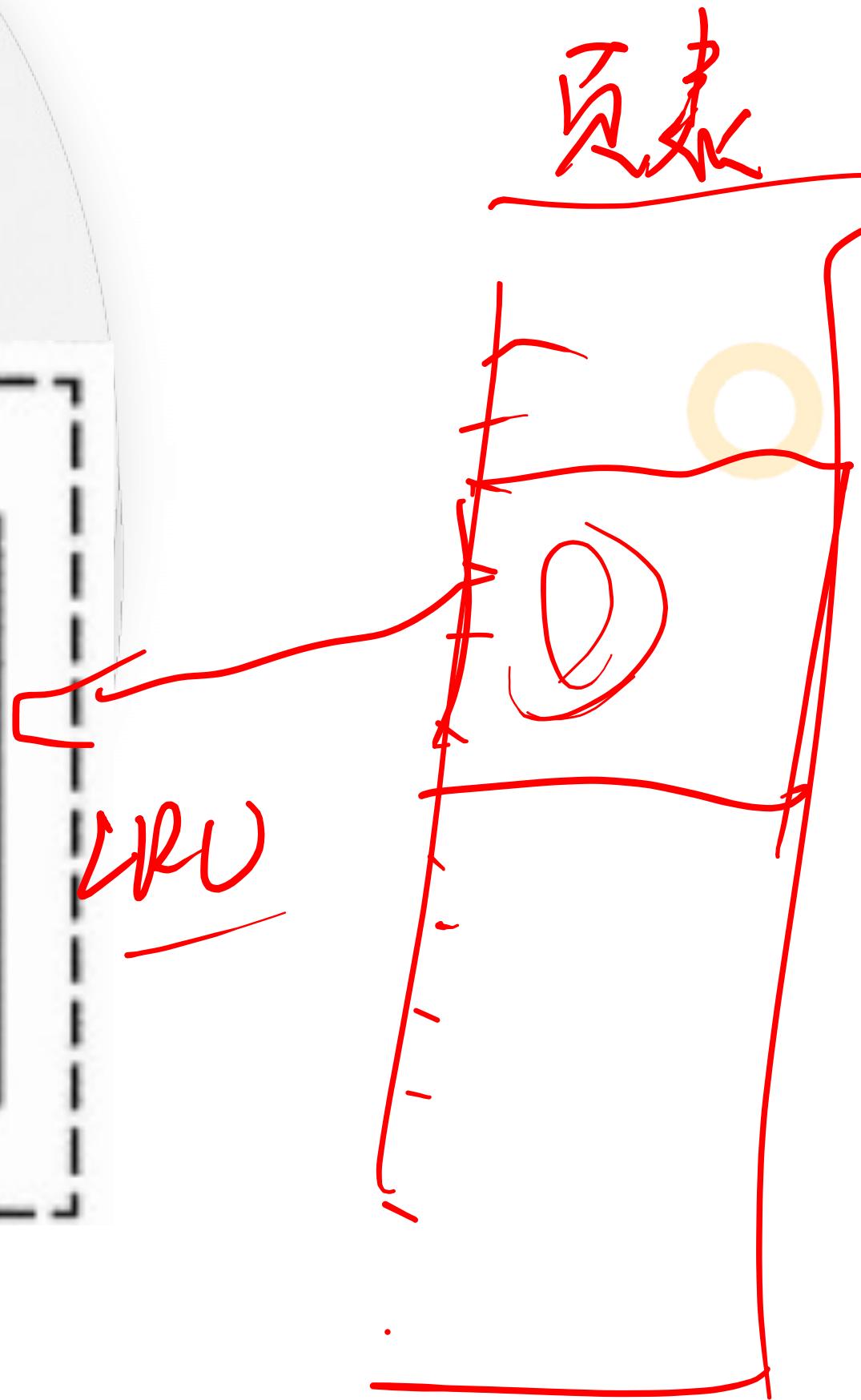
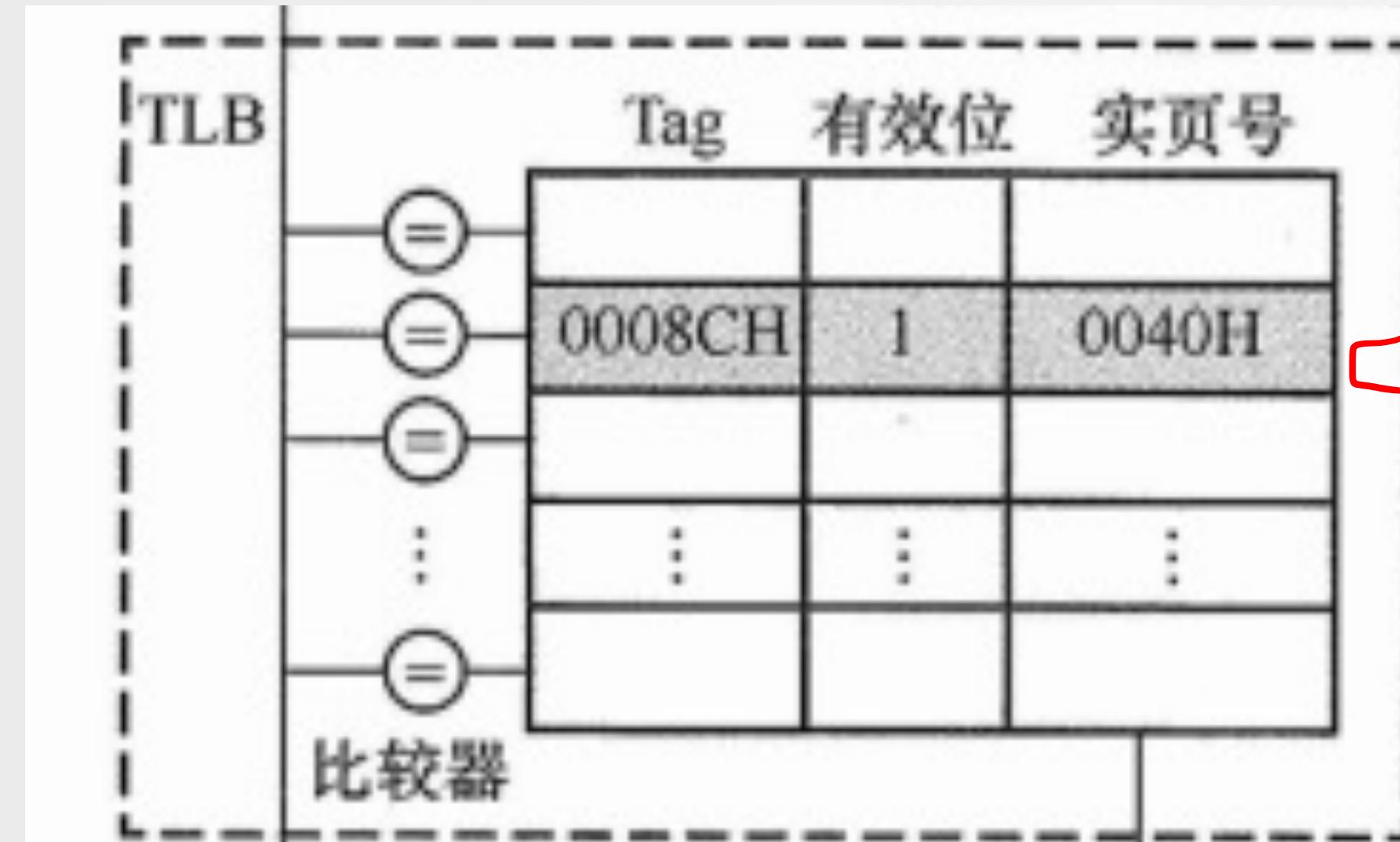
块偏移





2. 数据的表示与存储

2.10.5 快表 (TLB)



快表特点：

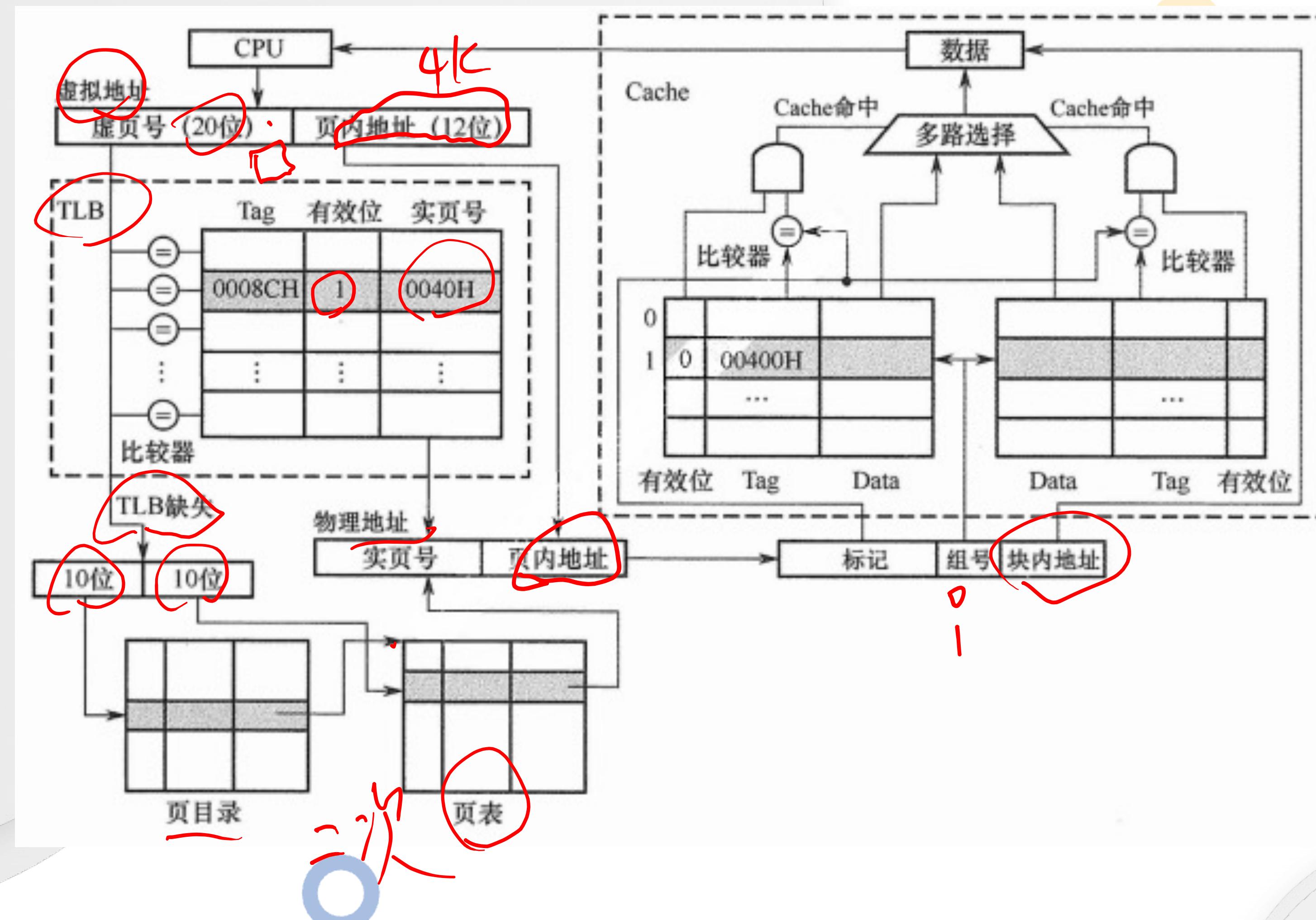
- 1、页表(慢表)的一个子集
- 2、放在Cache中
- 3、全相联或组相联

快表典型参数：

- 1、大小: 16~512项
- 2、块大小: 1~2个页表项(4~8B)
- 3、命中时间: 0.5~1个时钟周期
- 4、缺失代价: 10~100个时钟周期
- 5、缺失率: 0.01%~1%

2. 数据的表示与存储

2.10.5 快表 (TLB)



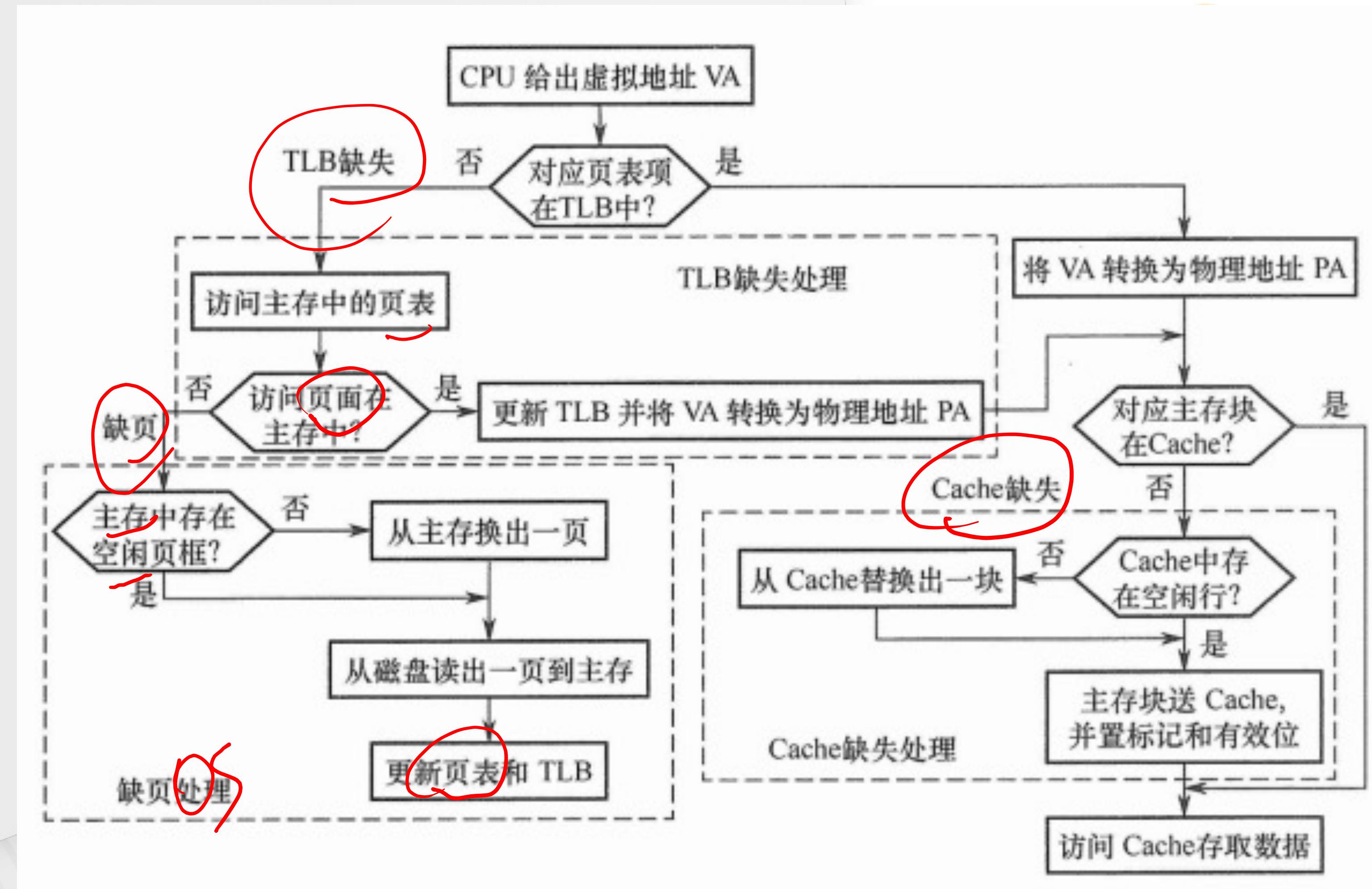
快表匹配：

- 1、TLB项由页表内容加标记
- 2、根据TLB标记定位页表



2. 数据的表示与存储

2.10.5 带TLB虚拟存储器的CPU访存过程



三种缺失情况：

- 1、TLB缺失
- 2、Cache缺失
- 3、缺页

OS



2. 数据的表示与存储

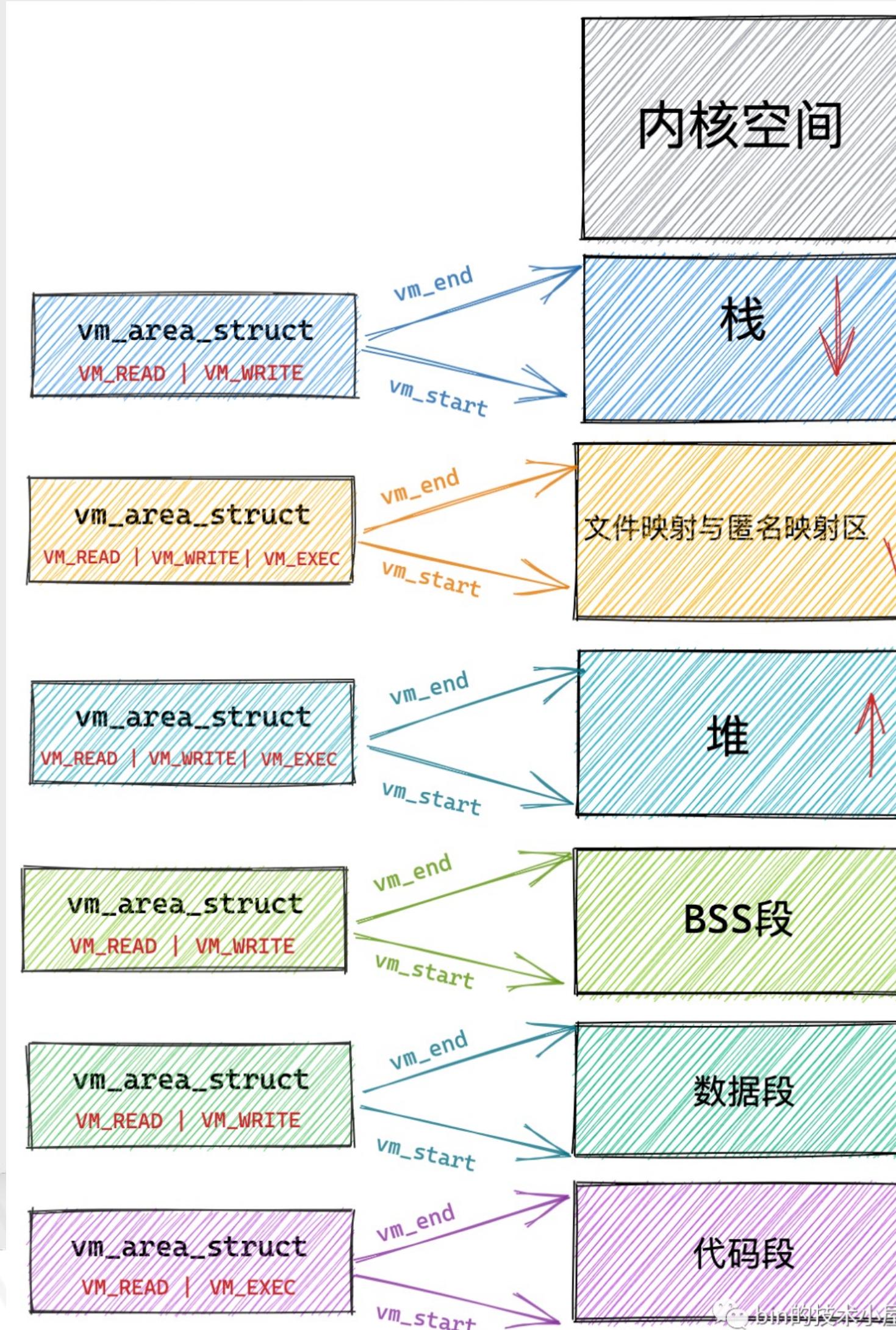
2.10.5 三种缺失的可能组合情况

序号	TLB	Page	Cache	说明
1	命中	命中	命中	TLB命中则Page一定命中，信息肯定在主存中，有可能在Cache
2	命中	命中	缺失	TLB命中则Page一定命中，信息肯定在主存中，也可能不在Cache
3	缺失	命中	命中	TLB缺失，但可能Page命中，信息肯定在主存中，有可能在Cache
4	缺失	命中	缺失	TLB缺失，但可能Page命中，信息肯定在主存中，也可能不在Cache
5	缺失	缺失	缺失	TLB缺失，Page也缺失，信息不在主存，也一定不在Cache
6	命中	缺失	缺失	不可能，如果页不在主存中，TLB中不可能有
7	缺失	缺失	命中	不可能，如果页不在主存中，数据不可能直接在Cache中



2. 数据的表示与存储

2.10.6 存储保护



OS

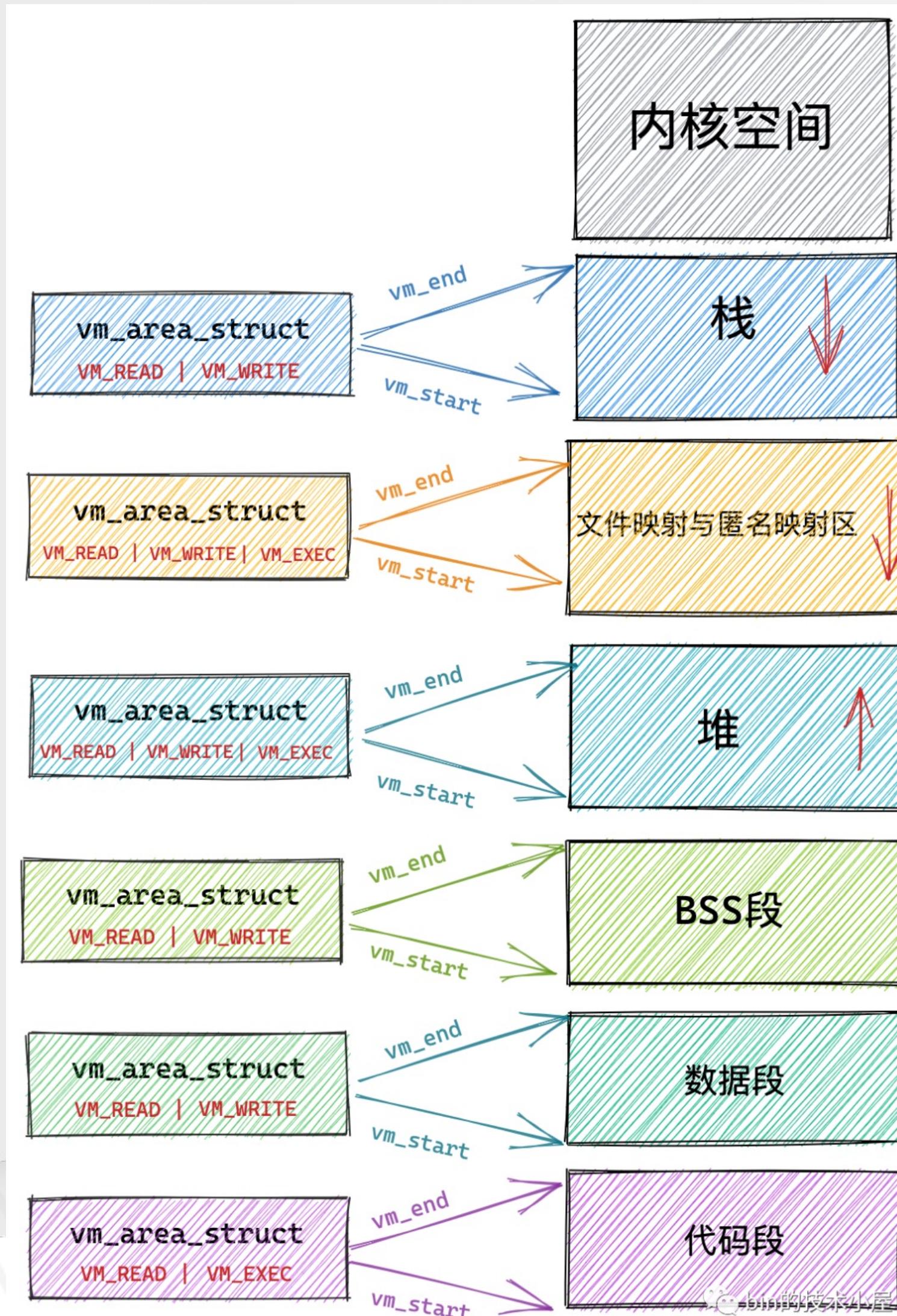
对操作系统的保护

1. 提供至少2种运行模式：管理模式和用户模式
2. 部分CPU状态只能由系统进程写，用户进程只能读：
比如段表、页表首地址、TLB内容等
3. 能在管理模式和用户模式切换，一般通过异常处理



2. 数据的表示与存储

2.10.6 存储保护



对用户进程的保护

1. 访问方式的保护：检查“访问越权”，通过段表或页表的权限位控制。
2. 存储区域保护：检查“地址越界”，通过段页的起始地址和终止地址控制



2. 数据的表示与存储

2.10.6 虚拟存储器与Cache的相同点

1. 最终目标都是为了提高系统的性能，两者都有容量、速度、价格的梯度
2. 都是把数据划分为小的信息块，并作为基本的传递单位，虚存系统的信息块更大。
3. 都有地址的映射、替换算法、更新策略等问题
4. 依据程序的局部性^(LRU)应用“快速缓存的思想”，将活跃的数据放在相对高速的部件中。



2. 数据的表示与存储

2.10.6 虚拟存储器与Cache的不相之处

1. Cache主要解决系统速度，而虚拟存储器却是为了解决主存容量
2. Cache全由硬件实现，是硬件存储器，对所有程序员透明；而虚拟存储器由OS和硬件共同实现，是逻辑上的存储器，对系统程序员不透明，但对应用程序员透明。
3. 对于不命中性能影响，因为CPU的速度约为Cache的10倍，主存的速度为硬盘的100倍以上，因此虚拟存储器系统不命中时对系统的性能影响更大
4. CPU与Cache和主存能和CPU直接通信，同时将数据调入Cache；而虚拟存储器系统不命中时，只能先由硬盘调入主存，而不能直接和CPU通信。



2. 数据的表示与存储

2.10.7 练习

例1 【2022统考真题】：某计算机主存地址为24位，采用分页虚拟存储管理方式，虚拟地址空间大小为4GB，页大小为4KB，按字节编址。某进程的页表部分内容如下表所示。

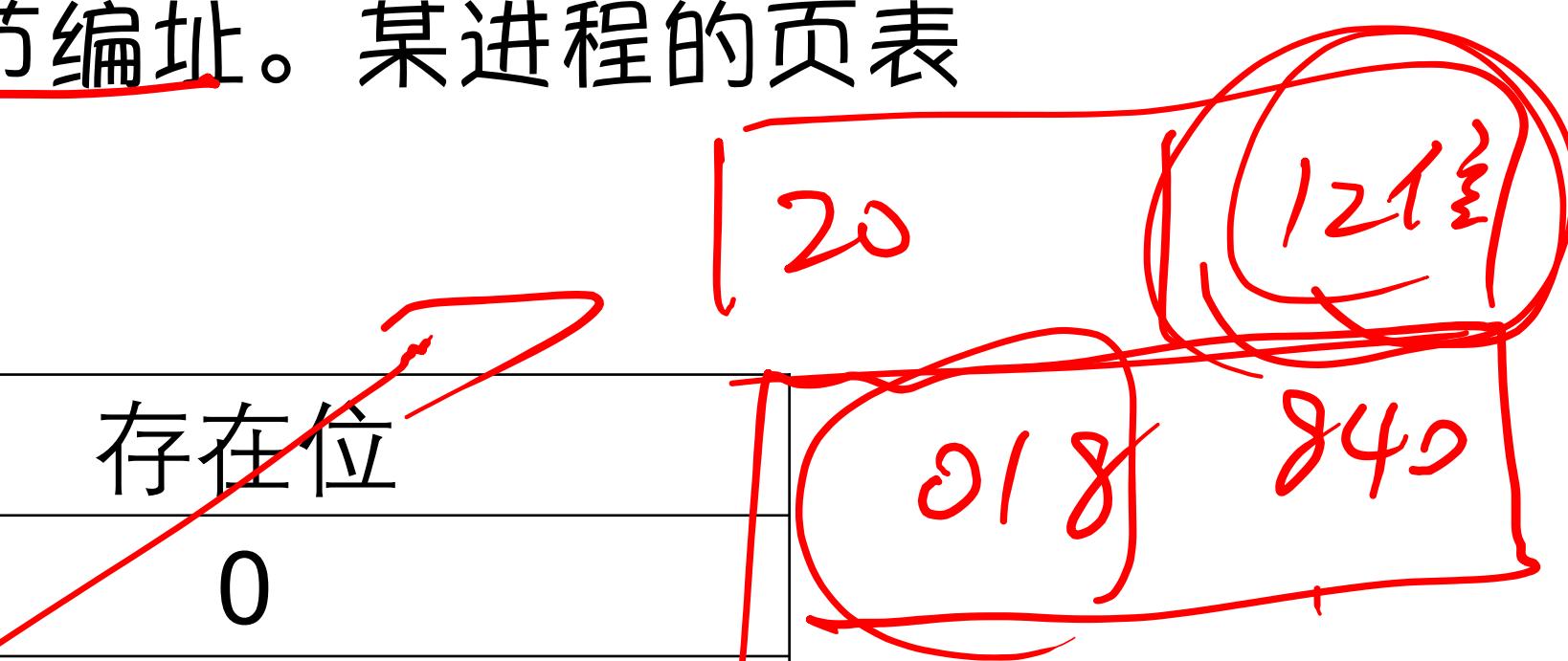
虚页号	实页号	存在位
82	024H	0
...
129	180H	1
130	018H	1

当CPU访问虚拟地址0008 2840H时，虚-实地址转换的结果是 (B)。

- A. 0002 4840H
- C. 0018 0840H
- B. 0001 8840H
- D. 检测到缺页异常

页表

① 页大小、
占位



100>0010
128 + 2



2. 数据的表示与存储

2.10.7 练习

10分

例2 【2021统考真题】：假设计算机M的主存地址为24位，按字节编址；采用分页存储管理方式，虚拟地址为30位，页大小为4KB；¹²¹³ TLB采用二路组相联方式和LRU替换策略，共8组，请回答下列问题。

tag 组号

- 1) 虚拟地址中哪几位表示虚页号？哪几位表示页内地址？
- 2) 已知访问TLB时虚页号高位部分用作TLB标记，低位部分用作TLB组号，M的虚拟地址中哪几位是TLB标记？哪几位是TLB组号？
- 3) 假设TLB初始时为空，访问的虚页号依次为10, 12, 16, 7, 26, 4, 12和20，在此过程中，哪一个虚页号对应的TLB表项被替换？说明理由。
- 4) 若将M中的虚拟地址位数增加到32位，则TLB表项的位数增加几位？



2. 数据的表示与存储

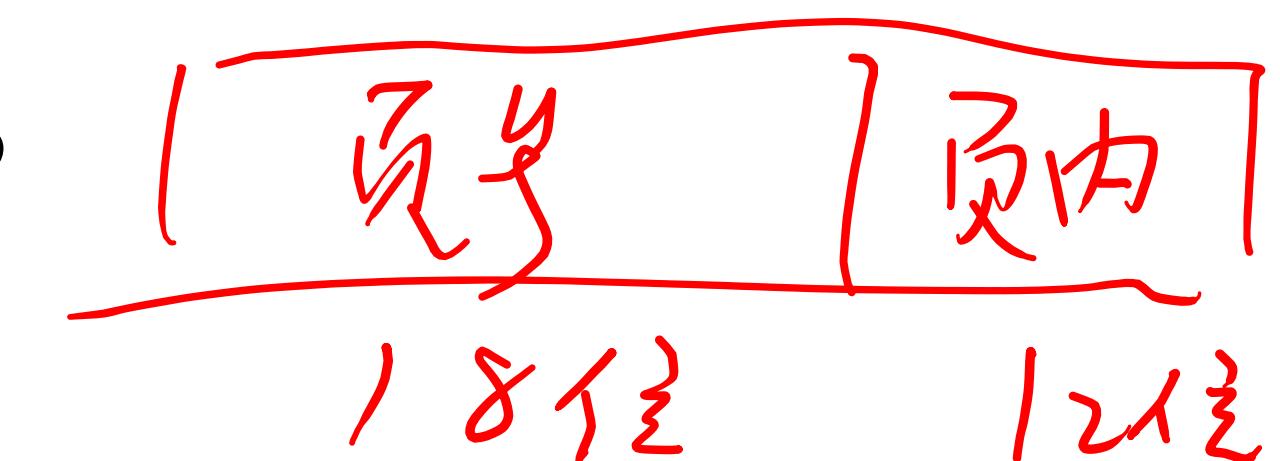
2.10.7 练习

例2【2021统考真题】：假设计算机M的主存地址为24位，按字节编址；采用分页存储管理方式，虚拟地址为30位，页大小为4KB；TLB采用二路组相联方式和LRU替换策略，共8组，请回答下列问题。

1) 虚拟地址中哪几位表示虚页号？哪几位表示页内地址？

18

12





2. 数据的表示与存储

2.10.7 练习

例2【2021统考真题】：假设计算机M的主存地址为24位，按字节编址；采用分页存储管理方式，虚拟地址为30位，页大小为4KB；TLB采用二路组相联方式和LRU替换策略，共8组，请回答下列问题。

18位

2) 已知访问TLB时虚页号高位部分用作TLB标记，低位部分用作TLB组号，M的虚拟地址中哪几位是TLB标记？哪几位是TLB组号？

15位. 3位

$$18 - 3 = 15 \text{位. 标记}$$



2. 数据的表示与存储

2.10.7 练习

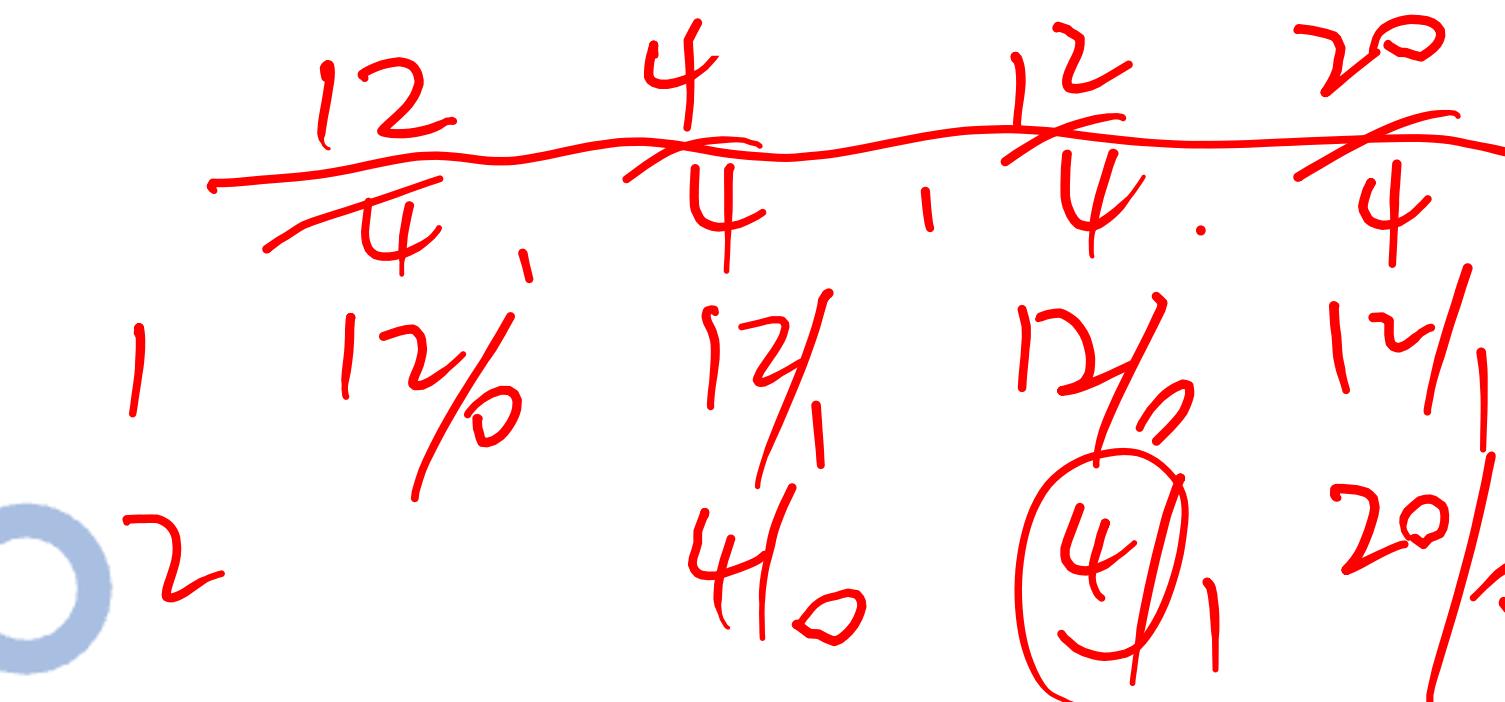
例2【2021统考真题】：假设计算机M的主存地址为24位，按字节编址；采用分页存储管理方式，虚拟地址为30位，页大小为4KB；TLB采用二路组相联方式和LRU替换策略，共8组 请回答下列问题。

3) 假设TLB初始时为空，访问的虚页号依次为10, 12, 16, 7, 26, 4, 12 和20，在此过程中，哪一个虚页号对应的TLB表项被替换？说明理由。

0 120
1 1212
2 1212 10
3 120
4 121
5 -
6 -
7 -

① 组相联，对3对底

$$\frac{10}{2} \frac{9}{8} = 2$$





2. 数据的表示与存储

2.10.7 练习

例2【2021统考真题】：假设计算机M的主存地址为24位，按字节编址；采用分页存储管理方式，虚拟地址为30位，页大小为4KB；TLB采用二路组相联方式和LRU替换策略，共8组，请回答下列问题。

4) 若将M中的虚拟地址位数增加到32位，则TLB表项的位数增加几位？

$$32 - 30 = \underline{\underline{2}}$$



2. 数据的表示与存储

2.10 本节总结

1. 虚拟地址空间对每个运行起来的程序有统一空间，同时将内存划分，并在存储层面进行保护
2. 虚拟存储器的实现包含分页式、分段式、段页式3种方式，其中段页式结合了分段和分页的优点
3. 存储保护的对象包含操作系统和用户程序
4. 操作系统的存储保护主要依赖硬件MMU，用户程序的存储保护通过操作系统控制

欢迎参与学习

WELCOME FOR YOUR JOINING

船说：计算机基础