

$$\{0, 1, 2, \dots\}$$

如果地址空间中的整数是连续的, 那么我们说它是一个线性地址空间(linear address space)。为了简化讨论, 我们总是假设使用的是线性地址空间。在一个带虚拟内存的系统中, CPU 从一个有 $N=2^n$ 个地址的地址空间中生成虚拟地址, 这个地址空间称为虚拟地址空间(virtual address space):

$$\{0, 1, 2, \dots, N-1\}$$


一个地址空间的大小是由表示最大地址所需要的位数来描述的。例如, 一个包含 $N=2^n$ 个地址的虚拟地址空间就叫做一个 n 位地址空间。现代系统通常支持 32 位或者 64 位虚拟地址空间。

一个系统还有一个物理地址空间(physical address space), 对应于系统中物理内存的 M 个字节:

$$\{0, 1, 2, \dots, M-1\}$$

M 不要求是 2 的幂, 但是为了简化讨论, 我们假设 $M=2^m$ 。

地址空间的概念是很重要的, 因为它清楚地区分了数据对象(字节)和它们的属性(地址)。一旦认识到了这种区别, 那么我们就可以将其推广, 允许每个数据对象有多个独立的地址, 其中每个地址都选自一个不同的地址空间。这就是虚拟内存的基本思想。主存中的每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。

 **练习题 9.1** 完成下面的表格, 填写缺失的条目, 并且用适当的整数取代每个问号。

利用下列单位: $K=2^{10}$ (kilo, 千), $M=2^{20}$ (mega, 兆, 百万), $G=2^{30}$ (giga, 千兆, 十亿), $T=2^{40}$ (tera, 万亿), $P=2^{50}$ (peta, 千千兆), 或 $E=2^{60}$ (exa, 千兆兆)。

虚拟地址位数 (n)	虚拟地址数 (N)	最大可能的虚拟地址
8		
	$2^? = 64K$	
		$2^{32} - 1 = ?G - 1$
	$2^? = 256T$	
64		

9.3 虚拟内存作为缓存的工具

概念上而言, 虚拟内存被组织为一个由存放在磁盘上的 N 个连续的字节大小的单元组成的数组。每字节都有一个唯一的虚拟地址, 作为到数组的索引。磁盘上数组的内容被缓存在主存中。和存储器层次结构中其他缓存一样, 磁盘(较低层)上的数据被分割成块, 这些块作为磁盘和主存(较高层)之间的传输单元。VM 系统通过将虚拟内存分割为称为虚拟页(Virtual Page, VP)的大小固定的块来处理这个问题。每个虚拟页的大小为 $P=2^p$ 字节。类似地, 物理内存被分割为物理页(Physical Page, PP), 大小也为 P 字节(物理页也被称为页帧(page frame))。

在任意时刻, 虚拟页面的集合都分为三个不相交的子集:

- 未分配的: VM 系统还未分配(或者创建)的页。未分配的块没有任何数据和它们相关联, 因此也就不占用任何磁盘空间。
- 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。

图 9-3 的示例展示了一个有 8 个虚拟页的小虚拟内存。虚拟页 0 和 3 还没有被分配,