

1. 简述现代计算机系统需要存储层级的原因。

- ① 频率差异：CPU的运算速度比内存、硬盘等存储设备的速度要快很多，这导致CPU计算时需要等待内存或硬盘的数据传输。
- ② 成本差异：内存价格比硬盘高得多，而CPU内部寄存器和缓存成本更高。
- ③ 并发性：计算机系统需要处理多个不同任务，为避免多任务干扰和冲突，需将任务分配到不同存储空间，隔离空间。

2. 在页式虚拟存储中，过大或过小的页分别会引起什么问题？

- ① 页太大时：会导致内存浪费；同时也会直接影响缺页中断的延迟，会降低系统性能受到影响。
- ② 页太小时：会导致每个进程都有很多次目录和页表项，而这些项在内存中占用空间，这会导致内存开销较大，同时会导致性能下降；过小的页还会增加缺页中断的次数。

3. 页表条目除了保存物理页号外，一般还包含各种状态和权限标记位。它们为内存访问提供了各种细粒度的控制。例如，RISC-V 指令集的 Sv32 页表条目具有如下的形式：

31 PPN[1]	20 19 PPN[0]	10 9 RSW	8 D	7 A	6 G	5 U	4 X	3 W	2 R	1 V	0
12 10	10 2	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1

- 1) 查阅 RISC-V 规范，简要描述上述条目中的位 7 至位 0 具有什么功能。
- 2) 结合上述功能讨论：如果用户进程能够自由修改自己的页表，会发生什么问题？
- 3) 在 RISC-V 的虚拟内存管理中，一个 X/W/R 位全部为 0 的有效页表条目有什么含义？

- 1) V位：表示 PTE 是否合法，若为 0，则 PTE 的 31-1 bit 位无关且可由软件自由使用。
R/W/X 位：分别指明 page 是否可读、可写、可执行。
U位：表示该页表是否可由 U态使用，为 1 时，可由 U态使用。
G位：表示一个全局映射，全局映射是存在于所有地址空间中的映射。
A位：获取位，虚拟地址被读写或匹配时，对应的 PTE 的 A 位被置位。
D位：当虚拟地址被写时，对应的 PTE 的 D 位被设置。

- 2) 一旦用户进程的页表项被修改为指向其他进程的内存位置，权限机制将形同虚设。
- 3) 表示此 PTE 指向下一级页表的指针，否则是一个叶页表项。

4. RISC-V 的物理内存保护 (PMP) 机制允许硬件线程为特定的物理内存区域指定访问权限，其配置寄存器有如下的形式：

7	6	5	4	3	2	1	0
L (WARL)	0 (WARL)	A (WARL)		X (WARL)	W (WARL)	R (WARL)	
1	2	2		1	1	1	

查阅 RISC-V 规范，回答以下问题：

- 1) 在页表条目中已经存在 X/W/R 位的情况下，PMP 控制寄存器中的 X/W/R 位有什么作用？
- 2) 说明 PMP 配置寄存器中的 L 和 A 位有什么作用。

1) PMP 控制寄存器中的 X/W/R 位主要用于与页表条目中的权限位进行匹配，实现对物理内存的访问保护。

→ L 位：指示 PMP 寄存器是否被锁定，L=1 时表示被锁定，不能对其进行修改。

A 位：用于确定 PMP 寄存器的地址匹配模式。当 A=1 时，表示 PMP 寄存器使用地址比较模式，即与地址范围进行比较；A=0 时，则为地址位域匹配模式，即与访问地址字段位进行比较，在匹配时会触发 PMP 功能。

5. 回答以下问题：

8 byte

- 1) 如果页大小为 4KB，每个页表条目使用 8 字节空间，内存系统按字节寻址。则使用完整的 64 位虚拟地址时，一个单级页表系统需要多大的空间用于存储页表？
- 2) 实际上，多数真实系统仅限制使用 48 位系统的一部分位作为有效的访存空间，例如 S48 即仅使用 48 位的虚拟地址空间，则保持其他假设不变时，一个单级页表系统存储页表所需要的空间被降低到多少？
- 3) 多级页表为什么可以降低虚拟内存系统的实际页表存储开销？

1) 64 位虚拟地址 → 对应的进程大小为 $2^{14} B$

$$\text{页面数目} : \frac{2^{64} B}{4 KB} = 2^{52} \text{ 页}$$

$$\text{进程大小} : 8 B \times 2^{52} = 2^{55} B = 2^{25} GB$$

2) 48 位虚拟地址 → 进程大小为 $2^{48} B$

$$\text{页面数目} : \frac{2^{48} B}{4 KB} = 2^{36} \text{ 页}$$

$$\text{进程大小} : 8 B \times 2^{36} = 2^9 GB$$

- 3) ① 减少了每个进程所需进程数量，当进程访问某个地址时，只需查找几页即可。
② 降低页表的占用，可动态调整页面大小
③ 利用操作系统进行后台管理