

1. 简述现代计算机系统需要存储层级的原因。

- ① **访问速度**: 不同层级的存储介质访问速度不同。将数据存储在不同层级的存储介质中, 可以根据数据的访问频率和速度的要求, 选择合适的存储层级, 提高速度。
- ② **存储容量**: 高速缓存容量最小, 而外层的存储器容量大, 可以选择多级的存储介质提高存储容量。
- ③ **成本**: 不同层级的存储成本不同, 高速缓存成本最高。可以根据数据的重要性及成本要求, 调整成本。

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 **过大**: 若页过大, 则每个进程所需的页数减少, 导致内存浪费。
如果进程所需的内存不足一页, 则会出现内部碎片, 造成浪费掉。
- ② **过小**: 若页过小, 则每个进程所需的页数增加, 导致内存中出现很多小的空闲块, 这些空闲块无法被利用, 导致外部碎片的产生。
同时每个进程所需页表变大, 增加了页面的维护成本。

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

- 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?
 - D: V: 有效位, 表示该页表条目是否有有效。R: 读取权限位。W: 写权限位
X: 执行权限位 U: 用户权限位, 如果为 0, 则只能被内核访问
 - C: 全局位, 若为 1, 则表示该页表条目是全局页表条目
 - A: 访问位, 若为 1, 表示该页表条目被访问过
 - F: 表示该页表条目是否被修改过
- 4) 用户进程若修改页表来获取系统中其他进程的内存数据, 将导致系统的安全性受到威胁, 同时也将自己的页表指向内核区域, 将破坏系统的稳定性。
- 5) 不可执行、不可写、不可读, 通常出现在操作系统内核区域的页表中。

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) 用采进一步限制对该页表条目的访问权限，从而提高系统的安全性稳定性。
同时还可以用来实现内存保护和隔离，防止不同进程之间的内存相互干扰。
- 2) L 位决定了是否启用对应的物理内存保护。
A 位可以通过不同的取值来实现不同的内存保护策略。

5. 回答以下问题：

- 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 64 位系统的一部分位作为有效的访存空间，例如 Sv48 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) 页大小为 4KB，则页内索引位数为 12 位，剩余 $64 - 12 = 52$ 位
至少需要 2^{52} 个页表项，每个页表项使用 8 字节空间。

$$2^{52} \times 8 \text{ byte} = 2^{55} \text{ byte} = 2^{45} \text{ KB} = 2^{35} \text{ MB} = 2^{25} \text{ GB}$$

2) 若仅使用 48 位的虚拟地址空间。

则至少需要 2^{36} 个页表项

$$2^{36} \times 8 \text{ byte} = 2^{59} \text{ byte} = 2^9 \text{ GB}$$

3) 因为它采用了分层递进的方式进行地址映射。二级页表仅需要存储当前级别的页表所占用的内存块的指针和标志位，而不需要存储整个虚拟地址所对应的页表项。

同时还可以减小空间大小对页表开销的影响。