

1. 简述现代计算机系统需要存储层级的原因。

1. 在性能和成本之间取得平衡。

这是由于不同存储技术在技术指标、成本、速度上都有差异造成的。
一般来说访问速度越快，造价越昂贵。

2. 合理分配热量。

如果元器件密度过大集中于CPU附近则就要单独风扇或冷水帮助部件降温。

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. 页过大，则内存中由于一个进程至少占据一页，则易造成页内浪费 这种情况叫页内碎片。

2. 页太小，就要花费很多时间在查找和维护页表上，增加时间开销

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	
12	10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	

- 1) 查阅 RISC-V 规范，简要描述上述条目的位 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) D-Dirty 表示该页是否被修改 4) U-User 用户模式访问

1'b1: 当前页已被写/可写 1'b1: 用户模式可访问

2) A-Accessed: 表示是否被访问 5) X, W, R 可执行, 可写, 可读标志。

1'b1: 可被访问 6) V-Valid 表明物理页内存是否可用

3) G-Global 全局标志, 是否可被共享 1'b1: 当前页内存已分配。

1'b0: 非共享页, 进程私有

2) 如果用户进程能修改自己的页表，那么其可以将某页映射到其他地址空间，导致安全问题。

3) 它代表多级页表的非尾素，其指向下一級页表的指针。

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

查阅 RISC-V 规范，回答以下问题：

- 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？
- 说明 PMP 配置寄存器中的 L 和 A 位有什么作用。

1) 页表条目中 X/W/R 表示页表属性

PMP 中 X/W/R 表示给指向的物理地址提供的属性

2) L: 表项 Lock 使能位

0: 机器模态的访问都得成功 1: 表项被锁，无法更改，当配置 TOR 模式，其前一个表项地址寄存器也无法修改。

系统 / 用户 根据 R/X/W 判断 所有模式根据 R/X/W 判断

A 地址区配模式

00: OFF 无效表项

11: TOR (Top of Range)

16: NAA

11: NAPOT

5. 回答以下问题：

- 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？
- 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？
- 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 即偏移地址为 12 位。

共使用 $2^{4+2} \times 8B = 2^{10} B$ 空间

2) $2^{55-16} B = 2^{37} B$ 空间

3) 多级页表将一个页表拆成多个小页表，每个小页表只需要存储对应

的虚拟地址范围内的物理地址映射关系，而不需映射整个虚拟地址空间。