

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、速度上因差异导致。
一般地说访问速度越快，造价越高。

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水冷帮助器件降温。

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，则易造成内存浪费。

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) D-Dirty 表示该页是否被改写

1'b1: 当前页已被写/可写

4) U-User 用户模式可访问

1'b1: 用户模式可访问

2) A-Accessed 表示是否可被访问

1'b1: 可被访问

5) X, W, R 可执行、可写、可读标志

6) V-Valid 表明物理页内存是否已映射

3) G-Global 全局标志，是否可被共享

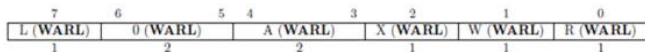
1'b0: 非共享页，进程号私有

1'b1: 当前页内存已分配

2) 如果用户进程能够修改自己的页表，那么其可以随意将其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表，其指向下一级页表的指针。

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:



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) 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: 机器模式的访问即成功

1: 表项被锁, 无法更改, 当配置 TOR 模式, 其第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 地址匹配模式

00: OFF 无效表项

11: TOR (Top of Range)

10: NAA

11: NAPOT

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 即偏移地址为 12 位。

∴ 共使用 $2^{64-12} \times 8B = 2^{52}B$ 空间

2) $2^{52-12}B = 2^{40}B$ 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