

第4章习题

1. 简述现代计算机系统需要存储层级的原因。

随着现代处理器性能不断攀升，处理器和内存之间的速度差距不断扩大，形成“内存墙”的问题。为此，现代计算机使用多级分层存储体系，并引入存储层级，利用数据的时间局部性和空间局部性来改善访存性能。

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？

页太大：每个进程需要巨大的内存空间用于存储页表，对于拥有数以百计的进程的计算机来说，硬件开销巨大，内存浪费较大。

页太小：降低访问效率，如果频繁翻看内存地址，系统运行会耗费较多时间；虽然可能利用了存储，但不利于数据的连续访问。

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	2	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？

D: dirty bit, 当页被写后, 置对应 PTE 中 D 位

A: access bit, 当页被读、写或正被获取, 置对应 PTE 中 A 位

G: global mapping, 标记全局映射

U: 是否对用户模块可访问

X, W, R: 标记是否可以读、写、执行

V: 标记 PTE 是否有效

PTE: page table entry

2) 如果用户进程能自由修改自己的页表，很有可能破坏其他进程的物理数据储存，甚至可通过 r, w, a 等方式锁定某些内存禁止访问造成严重后果

3) 该页不可读、不可写、不可访问

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。

Bits	Description
0	R: Read permissions { 0X0: No read permission 0X1: read permission}
1	W: Write permissions { 0X0: No write permission 0X1: write permission}
2	X: execute permissions { 0X0: No execute permission 0X1: execute permissions}

如果内存映射的非保留区域没有应用 PMP 权限，则默认情况下，管理员或用户访问模式将失败，而机器模式访问将被允许。访问设备内存映射中的保留区域时，访问时将返回 0X0，写入将被忽略。在没有 PMP 保护的情况下访问设备内存之外的保留区域将导致系统错误。

2) L: Locked Bit:	{ 0X0: Entry Unlocked 0X1: Entry locked}
A: Address matching code	{ 0X0: PMP 逻辑访问 0X1: TOR 区域被定义为两个邻近的寄存器 0X2: suppose only a four-byte region with only a four-byte granularity 0X3: Naturally aligned power-of-two region}

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 12 位，虚拟页号占剩余 52 位
每个页表条目占用 8 字节， \therefore 共需存储空间 $2^{52} \times 8 = 2^{54}$ 字节

2) 虚拟页号占剩余的 36 位，同 1) 一个单级页表所需
存储空间另加 $2^{39} = 512G$

3) 多级页表的优势在于能跟随进程占用内存空间的增大，对应地增加
属于该进程的页表数目；而当进程占用空间很小时，页表数目也小，以此减小页表占用的
内存空间，大大减少了硬件开销