

第4章习题

1. 简述现代计算机系统需要存储层级的原因。

现代计算机需要存储层级是因为

1. 访问速度需求: 不同存储设备访问速度不同, 为了快速访问, 层级设计能加快数据访问速度
2. 容量需求: 储存层级利用不同容量的存储设备将数据分级存储
3. 成本效益: 高速存储设备成本较高, 容量大设备成本较低, 层级让资源合理分配
4. 数据持久性: 辅助存储设备通常有数据持久性, 可以保障数据的安全性和可靠性。

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?

过大的页: 内存碎片, 每个页中存在大量未使用空间, 占用不必要的内存空间, 降低内存利用率
页面直接开销: 每次置换需要将整个大页写入磁盘, 再从磁盘读入整个大页。
过小的页: 外部碎片: 程序需要的数据跨越多个页, 内存中有大量零散空间, 浪费内存空间。
页面开销: 需要为同样数量的数据分配更多页。

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	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⁾ 0 (V) Valid 表明物理页在内存中是否分配好 1 (R) Read 可读 2 (W) Write 可写 3 (X) 可执行
4 (U) User 用户模式可访问 5 (G) Global 全局页面标识, 当前页可供多个进程共享
6 (A) Accessed A=1 时表明该页可访问, 0 则不可访问 7 (D) Dirty D=1 时表明该页是否被改写。

²⁾ 会产生安全性问题, 可能会越权访问受限内存区域, 引发系统崩溃。
会产生内存一致性问题, 会破坏虚拟地址和物理地址的映射关系, 导致地址错乱, 程序异常和数据破坏。
会产生进程间通信问题, 一个进程会修改另一个进程的页表, 导致无法正确地访问共享数据。
会产生资源管理问题, 无法对内存资源进行有效的管理和分配, 导致浪费。

³⁾ 代表该页表条目是只读的, 只能读取数据, 不能修改或执行该页面的内容。

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	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 位是用于物理内存保护的, 进一步限制, 在硬件级别上实施更严格的内存保护机制。

²⁾ L 位: 0: 机器模式的访问都将成功
1: 表项被锁住, 无法对相关表项进行修改。

A 位: 表项的地址匹配模式: 00 无效
01 TOR, 使用相邻表项地址作为匹配区间模式
10 NAP4 区间大小为 4 字节的匹配模式。
11 NAPOT 区间大小为 2 的幂次方的匹配模式。

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⁾ $(2^{14} \div 4KB) \times 8B$

⁽²⁾ $(2^{48} \div 4KB) \times 8B$

⁽³⁾ 因为多级页表可以通过分割和组织页表减小每[级]的页表大小,从而降低实际的页表存储开销.