

#### 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：辅助存储器通常有数据持久性，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：内部碎片，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或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) 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 时表明该页是否被修改。

(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。  
会产生一致性问题，会破坏虚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)	

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：表示被锁住，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 NAF 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？

$$^{(1)} (2^4 \div 4KB) \times 8B$$

$$^{(2)} (2^{48} \div 4KB) \times 8B$$

<sup>(3)</sup> 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。