

1. 简述现代计算机系统需要存储层级的原因。

- ① 频率差异: CPU的运算速度比内存、硬盘等存储设备的速度要快得多,这导致CPU计算所需等待内存或硬盘的数据传输
- ② 成本差异: 内存价格比硬盘高得多,而CPU内部寄存器和缓存成本更高。
- ③ 并行性: 计算机系统需要处理多个不同任务,为避免访问干扰和冲突,需将任务分流到不同内存空间、磁盘空间。

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 页太大时: 会导致内存浪费;同时也会影响缺页中断的延迟,会导致系统性能受到影响。
- ② 页太小时: 会导致每个进程需有很多次目录和页表项,而这些项在内存中占用空间,这会导致内存开销较大,同时会导致性能下降;过小的页还会增加缺页中断的次数

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) V位: 表示 PTE 是否合法, 若为 0, 则 PTE 的 31-1bit 位未知且可由软件自由使用
- RWX位: 分别指明 page 是否可读、可写、可执行
- U位: 表示该页表是否可由 U 态使用, 为 1 时, 可由 U 态使用。
- G位: 表示一个全局映射, 全局映射是存在于所有地址空间中的映射。
- A位: 获取位, 虚拟地址被读写或匹配时, 对应的 PTE 的 A 位被置位。
- D位: 当虚拟地址被写时, 对应的 PTE 的 D 位被设置。

2) 一旦用户进程的页表项被修改为指向其他进程的内存位置, 权限机制将不同步。

3) 表示此 PTE 指向下一级页表的指针, 否则是一个叶页表项

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。

1) PMP 控制寄存器中的 X/W/R 位主要用于与页表条目中的权限位进行匹配, 实现对物理内存的访问保护。

2) L 位: 指示 PMP 寄存器是否被锁定, L=1 时表示被锁定, 不允许对其进行修改。

A 位: 用于确定 PMP 寄存器的地址匹配模式。当 A=1 时, 表示 PMP 寄存器使用地址比较模式, 即与地址范围进行比较; A=0 时, 则为地址位域匹配模式, 即与访问地址特定位进行比较, 在匹配时会触发 PMP 功能。

5. 回答以下问题:

8 byte

- 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) 64 位虚拟地址 \rightarrow 对应的进程大小为 $2^{64} B$

$$\text{页表数目} = \frac{2^{64} B}{4KB} = 2^{52} \text{ 页}$$

$$\text{则页表大小} = 8B \times 2^{52} = 2^{55} B = 2^{25} GB$$

2) 48 位虚拟地址 \Rightarrow 进程大小为 $2^{48} B$

$$\text{页表数目} = \frac{2^{48} B}{4KB} = 2^{36} \text{ 页}$$

$$\text{页表大小} = 8B \times 2^{36} = 2^9 GB$$

- 3) ① 减低了每个进程所需进程数量,当进程访问某个地址时,只需查找几次即可。
② 降低页表内存占用,可动态调整页大小
③ 方便操作系统进行内存管理