

“计算机组织结构”作业 07 参考答案

- 考虑一个有 10 个磁盘，每个磁盘 100GB 的 RAID 阵列。对于 RAID0、1、2、3、4、5、6 中的各级，有效数据的存储容量为多大？

RAID0: 1000G

RAID1: 500G

RAID2: 600G

RAID3: 900G

RAID4: 900G

RAID5: 900G

RAID6: 800G

- 假定有两个用来存储 10TB 数据的 RAID 系统，每个磁盘的大小均为 2TB。系统 A 使用 RAID 1 技术，系统 B 使用 RAID 5 技术。请问：

[刘璟, 121250083]

- 系统 A 需要比系统 B 多用多少存储容量（单位：TB）？

A 系统需 20TB 存储容量；B 系统采用 6 个磁盘，需 12TB 存储容量，多用 8TB

- 假定一个应用需要向磁盘写入一块数据，若磁盘读或写一块数据的时间为 30ms，则最坏情况下，在系统 A 上写入一块数据需要多少时间（单位：毫秒）？

30ms

- 如果问题 2) 是在系统 B 上写入一块数据，需要多少时间（单位：毫秒）？

120ms (最坏情况：两读两写)

- 哪个系统更加可靠？

A 更加可靠。

从直观角度来说，RAID1 通过镜像对整个数据进行了备份，只要其中一份数据所在磁盘出现了问题，通过另一份数据就可以很方便的进行恢复；而 B 系统中，如果同一对应位置的任意两块磁盘同时存在故障，相应的数据就无法进行恢复了。

具体而言，假设每一位损坏的概率为 p，则

- RAID1 的可靠性为： $R_1 = 1 - p^2$

- RAID5 的可靠性为： $R_5 = (1-p)^n C_n^0 + p(1-p)^{n-1} C_n^1 = [(n-1)p + 1](1-p)^{n-1}$, n 为磁盘数

当 n=2 时两者相等，n>2 时，对 n 求偏导：

- $\partial R_1 / \partial n = 0$

- $\partial R_5 / \partial n = (1-p)^{n-1} \{p + [(n-1)p + 1]\ln(1-p)\}$

$\because 1-p > 0$, \therefore 再对 $p + [(n-1)p + 1]\ln(1-p)$ 对 n 求导，得到二阶导 $p\ln(1-p) < 0$

\therefore 曲线以 n 为自变量的 R5 曲线单调递减

此时有 $R_1 - R_5 = 1 - p^2 - (2p+1)(1-p)^2 = (1-p)[(1+p) - (2p+1)(1-p)] = (1-p)(2p^2) > 0$

因此 RAID1 的可靠性比 RAID5 更高，且 RAID5 的磁盘数越多，可靠性越低。

- 假定在一个使用 RAID5 的系统中，采用先更新数据块，再更新校验块的信息更新方式。

如果在更新数据块和更新校验块的操作之间发生了掉电现象，那么会出现什么问题？采用什么样的信息更新方式可以避免这个问题？

对于 RAID5 来说，如果在写完数据块但未写入校验块时发生断电，则写入的数据和对应的校验信息不匹配，无法正确恢复数据。这种情况可以避免，因为 RAID5 是大数据块交叉方式，每个盘独立进行操作，所以只要同时写数据块所在盘和校验块所在盘即可。

4. 【2013 统考真题】下列选项中，用于提高 RAID 可靠性的措施有（ ）。

- I. 磁盘镜像 II. 条带化 III. 奇偶校验 IV. 增加 Cache 机制
- A. 仅 I、II
- B. 仅 I、III
- C. 仅 I、III 和 IV
- D. 仅 II、III 和 IV

B

RAID0 方案是无冗余和无校验的磁盘阵列，而 RAID1~RAID5 方案均是加入了冗余(镜像)或校验的磁盘阵列。因此，能够提高 RAID 可靠性的措施主要是对磁盘进行镜像处理和奇偶校验，其余选项不符合条件。

5. 假设一个分页虚拟存储系统的虚拟地址为 40 位，物理地址为 36 位，页大小为 16KB，按字节编址。若页表中的有效位、存储保护位、修改位、使用位共占 4 位，磁盘地址不在页表中。则该存储系统中每个程序的页表大小为多少（单位：MB）？（说明：1.假设每个程序都能使用全部的虚拟内存；2.页表项的长度必须为字节的整数倍）

256

按字节编址，故：

虚拟主存页面个数： $2^{(40-14)}=2^{26}$

物理主存页面数： $2^{(36-14)}=2^{22}$

页表项的最小长度： $22+4=26$

根据说明 2，取 32 位（4B）

页表大小： $2^{26}*4B=256MB$

6. 虚拟内存的大小是否等于主存的容量加上磁盘的容量？为什么？

不对。

一个系统虚拟内存的上限由两方面决定：

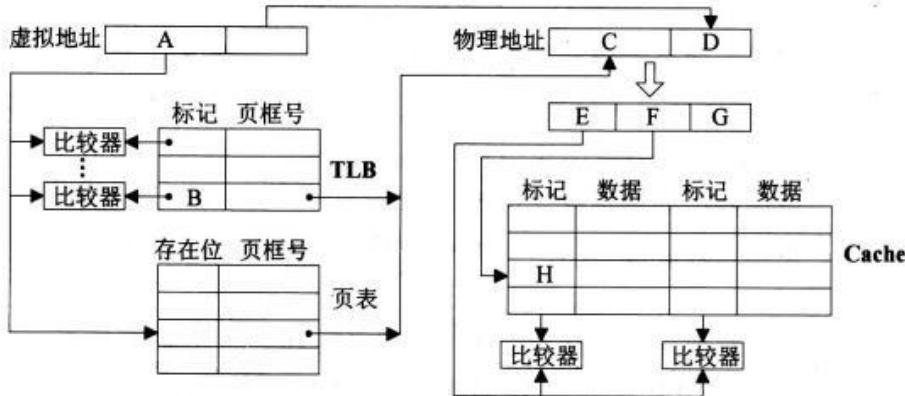
1) 系统寻址空间的大小，如系统寻址宽度为 32 位，则能支持的虚拟内存大小最多为 (2^{32})，即 4G 大小。

2) 虚拟内存借助磁盘空间来实现，所以虚拟内存一定小于磁盘空间大小。

在不超过上述两条限制的情况下，具体的虚拟内存大小会根据具体设置而定，但磁盘的容量通常会远大于虚拟内存的容量。

7. 【2016 统考真题】某计算机采用页式虚拟存储管理方式，按字节编址，虚拟地址为 32 位，物理地址为 24 位，页大小为 8 KB；TLB 采用全相联映射；Cache 数据区大小为 64

KB，按 2 路组相联方式组织，主存块大小为 64 B。存储访问过程的示意图如下。



请回答下列问题：

- 1) 图中字段 A~G 的位数各是多少？TLB 标记字段 B 中存放的是什么信息？
- 2) 将块号为 4099 的主存块装入 Cache 时，所映射的 Cache 组号是多少？对应的 H 字段内容是什么？
- 3) 是 Cache 缺失处理的时间开销大还是缺页处理的时间开销大？为什么？
- 4) 为什么 Cache 可以采用直写策略，而修改页面内容时总是采用回写策略？
- 1) 页大小为 8KB，页内偏移地址为 13 位，因此 $A = B = 32 - 13 = 19$; $D = 13$; $C = 24 - 13 = 11$; 主存块大小为 64B，因此 $G = 6$ 。二路组相联，每组数据区容量有 $64B \times 2 = 128B$ ，共有 $64KB / 128B = 512$ 组，因此 $F = 9$; $E = 24 - G - F = 24 - 6 - 9 = 9$ 。因而 $A = 19$, $B = 19$, $C = 11$, $D = 13$, $E = 9$, $F = 9$, $G = 6$ 。
TLB 中标记字段 B 的内容是虚页号，表示该 TLB 项对应哪个虚页的页表项。
- 2) 块号 $4099 = 00\ 0001\ 0000\ 0000\ 0011B$ ，因此所映射的 Cache 组号为 $0\ 0000\ 0011B = 3$ ，对应的 H 字段内容为 $0\ 0000\ 1000B$ 。
- 3) Cache 缺失带来的开销小，而处理缺页的开销大。因为缺页处理需要访问磁盘，而 Cache 缺失只要访问主存。
- 4) 因为采用直写策略时需要同时写快速存储器和慢速存储器，而写磁盘比写主存慢很多，所以在 Cache- 主存层次，Cache 可以采用直写策略，而在主存- 外存（磁盘）层次，修改页面内容时总是采用回写策略。

8. 【2010 统考真题】下列命令组合的一次访存过程中，不可能发生的是（ ）。

- A. TLB 未命中，Cache 未命中，Page 未命中
- B. TLB 未命中，Cache 命中，Page 命中
- C. TLB 命中，Cache 未命中，Page 命中
- D. TLB 命中，Cache 命中，Page 未命中

D

考查 TLB、Cache 及 Page 之间的关系。TLB 即为快表，快表只是慢表（Page）的小小副本，因此 TLB 命中，必然 Page 也命中，而当 Page 命中，TLB 则未必命中，故 D 不可能发生；而 Cache 的命中与否与 TLB、Page 的命中与否并无必然联系。

9. 【2013 统考真题】某计算机主存地址空间大小为 256MB，按字节编址。虚拟地址空间大小为 4GB，采用页式存储管理，页面大小为 4KB，TLB（快表）采用全相联映射，有 4 个页表项，内容如下表所示。

有效位	标记	页框号	...
0	FF180H	0002H	...
1	3FFF1H	0035H	...
0	02FF3H	0351H	...
1	03FFFH	0153H	...

则对虚拟地址 03FF F180H 进行虚实地址变换的结果是（ ）。

- A. 015 3180H
- B. 003 5180H
- C. TLB 缺失
- D. 缺页

A

按字节编址，页面大小为 4KB，页内地址共 12 位。地址空间大小为 4GB，虚拟地址共 32 位，前 20 位为页号。虚拟地址为 03FF F180H，因此页号为 03 FFFH，页内地址为 180H。查找页标记 03FFFH 所对应的页表项，页框号为 0153H，页框号与页内地址拼接即为物理地址 015 3180H。

10. 【2015 统考真题】假定编译器赋值语句“ $x=x+3;$ ”转换为指令“add xaddr, 3”，其中 xaddr 是 x 对应的存储单元地址。若执行该指令的计算机采用页式虚拟存储管理方式，并配有相应的 TLB，且 Cache 使用直写方式，则完成该指令功能需要访问主存的次数至少是（ ）。

- A. 0
- B. 1
- C. 2
- D. 3

B

上述指令的执行过程可划分为取数、运算和写回过程，取数时读取 xaddr 可能不需要访问主存而直接访问 Cache，而写直通方式需要把数据同时写入 Cache 和主存，因此至少访问 1 次。

11. 【2019 考真题】下列关于缺页处理的叙述中，错误的是（ ）。

- A. 缺页是在地址转换时 CPU 监测到的一种异常
- B. 缺页处理由操作系统提供的缺页处理程序来完成
- C. 缺页处理程序根据页故障地址从外存读入所缺失的页
- D. 缺页处理完成后回到发生缺页的指令的下一条指令执行

D

在请求分页系统中，每当要访问的页面不在内存中时，CPU 检测到异常，便会产生缺页中断，请求操作系统将所缺的页调入内存。缺页处理由缺页中断处理程序完成，根据发生缺

页故障的地址从外存读入所缺失的页，缺页处理完成后回到发生缺页的指令继续执行。选项 D 中描述回到发生缺页的指令的下一条指令执行，明显错误，所以选 D。

12. 【2020 统考真题】下列关于 TLB 和 Cache 的叙述中，错误的是（ ）。

- A. 命中率都与程序局部性有关
- B. 缺失后都需要去访问主存
- C. 缺失处理都可以由硬件实现
- D. 都由 DRAM 存储器组成

D

Cache 由 SRAM 组成；TLB 通常由相联存储器组成，也可由 SRAM 组成。DRAM 需要不断刷新，性能偏低，不适合组成 TLB 和 Cache。选项 A、B 和 C 都是 TLB 和 Cache 的特点。

13. 【2011 统考真题】某计算机存储器按字节编址，虚拟（逻辑）地址空间大小为 16MB，主存（物理）地址空间大小为 1MB，页面大小为 4KB；Cache 采用直接映射方式，共 8 行；主存与 Cache 之间交换的块大小为 32B。系统运行到某一时刻时，页表的部分内容和 Cache 的部分内容分别如下的左图和右图所示，图中页框号及标记字段的内容为十六进制形式。

虚页号	有效位	页框号	...
0	1	06	...
1	1	04	...
2	1	15	...
3	1	02	...
4	0	—	...
5	1	2B	...
6	0	—	...
7	1	32	...

行号	有效位	标记	...
0	1	020	...
1	0	—	...
2	1	01D	...
3	1	105	...
4	1	064	...
5	1	14D	...
6	0	—	...
7	1	27A	...

回答下列问题：

1) 虚拟地址共有几位，哪几位表示虚页号？物理地址共有几位，哪几位表示页框号（物理页号）？

存储器按字节编址，虚拟地址空间大小为 $16MB = 2^{24}B$ ，因此虚拟地址为 24 位；页面大小为 $4KB = 2^{12}B$ ，因此高 12 位为虚页号。主存地址空间大小为 $1MB = 2^{20}B$ ，因此物理地址为 20 位；由于页内地址为 12 位，因此高 8 位为页框号。

2) 使用物理地址访问 Cache 时，物理地址应划分成哪几个字段？要求说明每个字段的位数及在物理地址中的位置。

由于 Cache 采用直接映射方式，所以物理地址各字段的划分如下：

主存字块标记	Cache 字块标记	字块内地址
--------	------------	-------

由于块大小为 32B，因此字块内地址占 5 位；Cache 共 8 行，因此 Cache 字块标记占 3 位；主存字块标记占 $20 - 5 - 3 = 12$ 位。

- 3) 虚拟地址 001C60H 所在的页面是否在主存中？若在主存中，则该虚拟地址对应的物理地址是什么？访问该地址时是否 Cache 命中？要求说明理由。

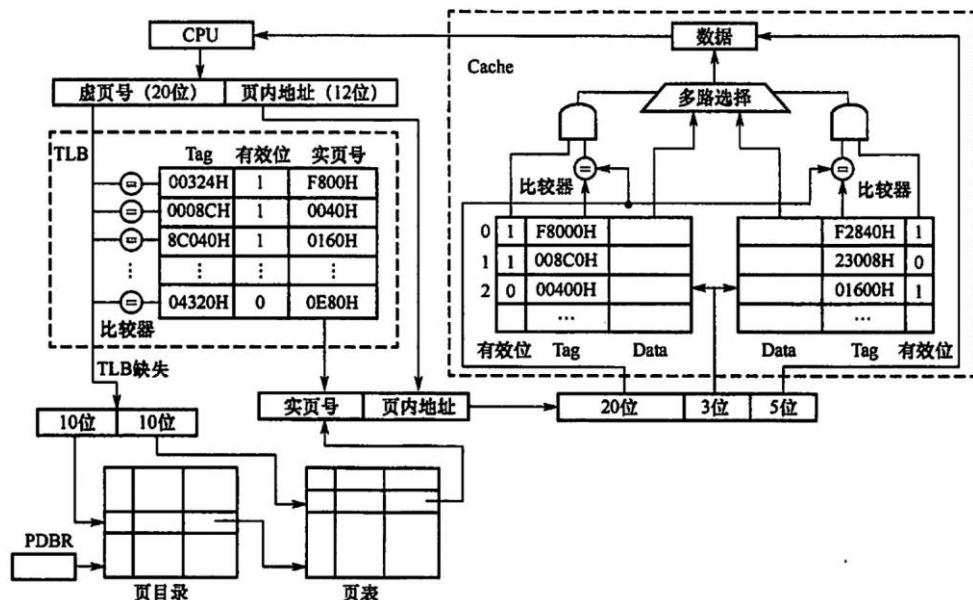
虚拟地址 001C60H 的前 12 位为虚页号，即 001H，查看 001H 处的页表项，其对应的有效位为 1，因此虚拟地址 001C60H 所在的页面在主存中。页表 001H 处的页框号为 04H，与页内偏移（虚拟地址后 12 位）拼接成物理地址 04C60H。物理地址 04C60H = 0000 0100 1100 0110 0000B，主存块只能映射到 Cache 的第 3 行（即第 011B 行），由于该行的有效位 = 1，标记（值为 105H）≠ 04CH（物理地址高 12 位），因此未命中。

- 4) 假定为该机配置一个四路组相关联的 TLB，共可存放 8 个页表项，若其当前内容（十六进制）如下图所示，则此时虚拟地址 024BACH 所在的页面是否存在主存中？要求说明理由。

组号	有效位	标记	页框号									
0	0	—	—	1	001	15	0	—	—	1	012	1F
1	1	013	2D	0	—	—	1	008	7E	0	—	—

由于 TLB 采用四路组相联，因此 TLB 被分为 $8/4=2$ 个组，因此虚页号中高 11 位为 TLB 标记、最低 1 位为 TLB 组号。虚拟地址 024BACH = 0000 0010 0100 1011 1010 1100B，虚页号为 0000 0010 0100B，TLB 标记为 0000 0010 010B（即 012H），TLB 组号为 0B，因此该虚拟地址所对应的物理页面只能映射到 TLB 的第 0 组。组 0 中存在有效位 = 1、标记 = 012H 的项，因此访问 TLB 命中，即虚拟地址 024BACH 所在的页面在主存中。

14. 【2018 统考真题】某计算机采用页式虚拟存储管理方式，按字节编址。CPU 进行存储访问的过程如下图所示：



根据该图回答下列问题。

- 1) 主存物理地址占多少位？

物理地址由实页号和页内地址拼接，因此其位数为 $16 + 12 = 28$ ；或直接得 $20 + 3 + 5 = 28$ 。

- 2) TLB 采用什么映射方式？TLB 是用 SRAM 还是用 DRAM 实现？

TLB 采用全相联映射，可把页表内容调入任一块空 TLB 项中，TLB 中的每项都有一个比较器，没有映射规则，只要空闲就行。TLB 采用静态存储器（SRAM），读写速度快，但成本高，多用于容量较小的高速缓冲存储器。

3) Cache 采用什么映射方式？若 Cache 采用 LRU 替换算法和回写策略，则 Cache 每行中除数据（Data）、Tag 和有效位外，还应有哪些附加位？Cache 总容量是多少？Cache 中有效位的作用是什么？

图中可看到，Cache 中每组有两行，因此采用二路组相联映射方式。因为是二路组相联并采用 LRU 替换算法，所以每行需要 1 位 LRU 位；因为采用回写策略，所以每行有 1 位修改位（脏位），根据脏位判断数据是否被更新，若脏位为 1 则需要写回内存。28 位物理地址中 Tag 字段占 20 位，组索引字段占 3 位，块内偏移地址占 5 位，因此 Cache 共有 $2^3=8$ 组，每组 2 行，每行有 $2^5=32$ B；Cache 的总容量为 $8 \times 2 \times (20 + 1 + 1 + 1 + 32 \times 8) = 4464B = 558B$ 。

Cache 中有效位用来指出所在 Cache 行中的信息是否有效。

4) 若 CPU 给出的虚拟地址为 0008 C040H，则对应的物理地址是多少？是否在 Cache 中命中？说明理由。若 CPU 给出的虚拟地址为 0007 C260H，则该地址所在主存块映射到的 Cache 组号是多少？

虚拟地址分为两部分：虚页号、页内地址；物理地址分为两部分：实页号、页内地址。利用虚拟地址的虚页号部分去查找 TLB 表（缺失时从页表调入），将实页号取出后和虚拟地址的页内地址拼接，形成物理地址。虚页号 008CH 恰好在 TLB 表中对应实页号 0040H（有效位为 1，说明存在），虚拟地址的后 3 位为页内地址 040H，对应的物理地址是 0040040H。

物理地址为 0040040H，其中高 20 位 00400H 为标志字段，低 5 位 00000B 为块内偏移量，中间 3 位 010B 为组号 2，因此将 00400H 与 Cache 中的第 2 组两行中的标志字段同时比较，可以看出，虽然有一个 Cache 行中的标志字段与 00400H 相等，但对应的有效位为 0，而另一 Cache 行的标志字段与 00400H 不相等，因此访问 Cache 不命中。因为物理地址的低 12 位与虚拟地址的低 12 位相同，即为 0010 0110 0000B。根据物理地址的结构，物理地址的后八位 01100000B 的前三位 011B 是组号，因此该地址所在的主存映射到 Cache 组号为 3。

15. 【2021 统考真题】假设计算机 M 的主存地址为 24 位，按字节编址；采用分页存储管理方式，虚拟地址为 30 位，页大小为 4KB；TLB 采用二路组相联方式和 LRU 替换策略，共 8 组。请回答下列问题。

1) 虚拟地址中哪几位表示虚页号？哪几位表示页内地址？

按字节编址，页面大小为 $4KB = 2^{12}B$ ，页内地址为 12 位。虚拟地址中高 $30 - 12 = 18$ 位表示虚页号，虚拟地址中低 12 位表示页内地址。

2) 已知访问 TLB 时虚页号高位部分用作 TLB 标记，低位部分用作 TLB 组号，M 的虚拟地址中哪几位是 TLB 标记？哪几位是 TLB 组号？

TLB 采用二路组相联方式，共 $8 = 2^3$ 组，用 3 位来标记组号。虚拟地址（或虚页号）中高 $18 - 3 = 15$ 位为 TLB 标记，虚拟地址中随后 3 位（或虚页号中低 3 位）为 TLB 组号。

3) 假设 TLB 初始时为空，访问的虚页号依次为 10, 12, 16, 7, 26, 4, 12 和 20，在此过程中，哪一个虚页号对应的 TLB 表项被替换？说明理由。

虚页号 4 对应的 TLB 表项被替换。因为虚页号与 TLB 组号的映射关系为 $TLB\ 组号 = 虚页号 \ mod\ TLB\ 组数 = 虚页号 \ mod\ 8$ ，因此，虚页号 10, 12, 16, 7, 26, 4, 12, 20 映射到

TLB 组号依次为 2, 4, 0, 7, 2, 4, 4, 4。TLB 采用二路组相联方式，从上述映射到的 TLB 组号序列可以看出，只有映射到 4 号组的虚页号数量大于 2，相应虚页号依次是 12, 4, 12 和 20。根据 LRU 替换策略，当访问第 20 页时，虚页号 4 对应的 TLB 表项被替换出来。

4) 若将 M 中的虚拟地址位数增加到 32 位，则 TLB 表项的位数增加几位？

虚拟地址位数增加到 32 位时，虚页号增加了 $32 - 30 = 2$ 位，使得每个 TLB 表项中的标记字段增加 2 位，因此，每个 TLB 表项的位数增加 2 位。