

一、假设虚拟存储器的页面为 8KB，TLB 和页表初始状态如下，使用 LRU 替换算法，访问的虚拟地址流如下（十六进制）：A4EC、C5A6、E8F4、9100，说明每个地址的访问过程并在如下所示的空表样式中给出每次访问后 TLB 的状态，设 TLB 命中表示为 H、TLB 不命中但页表命中表示为 M，发生缺页表示为 PF。

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

空表：

TLB（访问 4 个数据之后）			
有效位	标记位（十进制）	物理页号	命中情况

1. 如果 TLB 采取全相联映射方式，给出访问后 TLB 的状态。

参考解答：页内地址占 13 位，TLB 的标记位就是虚拟页号。

虚拟地址 A4EC：虚拟页号为 5，同时检索 TLB 的各行，**命中！**

物理页号为 11，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘

1	7	4
0	4	9

0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 **C5A6**: 虚拟页号为 6, 同时检索 TLB 各行, **脱靶!** 如下图所示:

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表, **脱靶!** 如下图所示:

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

系统进入缺页异常处理。缺页异常处理时, 根据磁盘地址找到 6 号虚拟页, 将其复制到某个空闲的物理页 (假设复制到 **13 号物理页**), 同时更新页表和 TLB, 如下图所示:

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后:

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 **E8F4**: 虚拟页号为 7, 同时检索 TLB 各行, **命中!**

物理页号为 4, 如下图所示:

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 9100：虚拟页号为 4，同时检索 TLB 各行，**脱靶**！如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，**命中**！物理页号为 9，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

更新 TLB：4 号虚拟页位于 9 号物理页，此信息要记录在 TLB 中。

问题：TLB 已经满了，替换谁？

根据 LRU 策略，应该替换 TLB 的 0 号块，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

1	5	11
1	7	4
1	6	13

0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

替换完成后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	4	9
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	4	9
1	5	11
1	7	4
1	6	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

最后结果：

TLB (访问 4 个数据之后)			
有效位	标记位 (十进制)	物理页号	命中情况
1	4	9	H
1	5	11	PF
1	7	4	H
1	6	13	M

2. 如果 TLB 采取直接映射方式

参考解答：页内地址占 13 位，TLB 共 4 块。虚拟页号的低 2 位为 TLB 索引，高位部分就是 TLB 的标记位。

虚拟地址 A4EC：虚拟页号为 5，TLB 索引为 1，TLB 标记为 1

根据索引检索 TLB，**脱靶！**如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页

1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，**命中**！物理页号为 11，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

更新 TLB，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 C5A6：虚拟页号 6，TLB 索引为 2，TLB 标记为 1

根据索引检索 TLB，**脱靶**！如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，**脱靶**！如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

系统进入缺页异常处理。缺页异常处理时，根据磁盘地址找到 6 号虚拟页，将其复制到某个空闲的物理页（假设复制到 13 号物理页），同时更新页表和 TLB，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 E8F4：虚拟页号为 7，TLB 索引为 3，TLB 标记为 1

根据索引检索 TLB，脱靶！如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，命中！物理页号是 4，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8

1	1	11
1	1	13
0	4	9

0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

更新 TLB，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
1	1	4

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
1	1	4

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 9100：虚拟页号为 4，TLB 索引为 0，TLB 标记为 1

根据索引检索 TLB，脱靶！如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
1	1	4

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，命中！物理页号为 9，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	1	11
1	1	13
1	1	4

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

更新 TLB，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	1	9
1	1	11
1	1	13
1	1	4

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	1	9
1	1	11
1	1	13
1	1	4

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

最后结果：

TLB (访问 4 个数据之后)			
有效位	标记位 (十进制)	物理页号	命中情况
1	1	9	M
1	1	11	PF
1	1	13	M
1	1	4	M

3. 如果 TLB 采取两路组相联映射方式 (原 TLB 的四块分别为：0 组 0 块、1 组 0 块、0 组 1 块、1 组 1 块、)，请给出每次访问后 TLB 和页表的状态。

参考解答：页内地址为 13 位，TLB 分 2 组。虚拟页号的最低位为 TLB 组索引，高位部分为 TLB 标记

虚拟地址 A4EC：虚拟页号为 5，TLB 组索引为 1，TLB 标记为 2

根据索引检索 TLB，**脱靶！**如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	11	12
1	5	11
1	7	4
0	4	9

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，命中！物理页号为 11，如下图所示：

TLB			页表					
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)	有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	11	12	1	5	1	9	1	8
1	5	11	0	磁盘	1	11	0	磁盘
1	7	4	0	磁盘	0	磁盘	1	3
0	4	9	1	6	1	4	1	12

更新 TLB，如下图所示：

TLB			页表					
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)	有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	11	12	1	5	1	9	1	8
1	5	11	0	磁盘	1	11	0	磁盘
1	7	4	0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	2	11	1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB			页表					
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)	有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	11	12	1	5	1	9	1	8
1	5	11	0	磁盘	1	11	0	磁盘
1	7	4	0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	2	11	1	6	1	4	1	12

虚拟地址 C5A6：虚拟页号为 6，TLB 组索引为 0，TLB 标记为 3

根据索引检索 TLB，脱靶！如下图所示：

TLB			页表					
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)	有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	11	12	1	5	1	9	1	8
1	5	11	0	磁盘	1	11	0	磁盘
1	7	4	0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	2	11	1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，脱靶！如下图所示：

TLB			页表					
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)	有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	11	12	1	5	1	9	1	8

1	5	11
1	7	4
1	2	11

0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	0	磁盘	1	3
1	6	1	4	1	12

系统进入缺页异常处理。缺页异常处理时，根据磁盘地址找到 6 号虚拟页，将其复制到某个空闲的物理页（假设复制到 13 号物理页），同时更新页表和 TLB。

问题： TLB 的 0 号组已经满了。根据 LRU 策略应该替换最近最久未用的块。

假设 0 号组 0 号块是最近最久未用的，替换它，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	5	11
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	5	11
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 E8F4： 虚拟页号为 7，TLB 组索引为 1，TLB 标记为 3

根据索引检索 TLB，**脱靶！** 如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	5	11
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，**命中！** 物理页号为 4，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8

1	5	11
1	7	4
1	2	11

0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

更新 TLB，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	3	4
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	3	4
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

虚拟地址 9100：虚拟页号为 4，TLB 组索引为 0，TLB 标记为 2

根据索引检索 TLB，脱靶！如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	3	4
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

根据虚拟页号检索页表，命中！物理页号为 9，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	3	4
1	7	4
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

更新 TLB，如下图所示：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	3	4
1	2	9
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

此次访问后：

TLB		
有效位	标记位 (十进制)	物理页号 (十进制)
1	3	13
1	3	4
1	2	9
1	2	11

页表					
有效位	物理页	有效位	物理页	有效位	物理页
1	5	1	9	1	8
0	磁盘	1	11	0	磁盘
0	磁盘	1	13	1	3
1	6	1	4	1	12

最后结果：

TLB (访问 4 个数据之后)			
有效位	标记位 (十进制)	物理页号	命中情况
1	3	13	M
1	3	4	PF
1	2	9	M
1	2	11	M

二、在一个采用字节编址和页式存储管理并配备高速缓存 Cache 的系统中，页面大小为 256 字节，TLB 分为 4 块，缓存 Cache 容量为 64 字节，按 16 字节分块。

某时刻的 TLB 状态如下：

索引	有效位	标记位	实页号
0	1	4	3
1	0	3	8
2	1	5	10
3	1	8	12

页表状态如下：

索引	有效位	实页号/磁盘地址
0	1	4
1	1	6
2	1	7
3	0	磁盘

4	1	3
5	1	10
6	0	磁盘
7	1	8
8	1	12
9	0	磁盘

缓存 cache 状态如下:

索引	有效位	标记位	数据位
0	1	32	.....
1	0	41	.....
2	1	50	.....
3	0	52	.....

假设刚刚访问完 10 号实页, 接下来如果需要调入虚页, 从 13 号实页开始按顺序使用实页. TLB 采用全相联映像和 LRU 替换策略, 并且假设最近最久未用的是 3 号实页, 内存和缓存 cache 之间采用直接映像. 从此刻起, 需要连续访问 8 个虚拟地址: 0x456, 0x331, 0x633, 0x731, 0x558, 0x777, 0x666, 0x334.

请填写下表 (用 1 表示命中、0 表示未命中、x 表示无需访问):

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号								
页内地址								
TLB 命中								
页表命中								
物理页号								
内存地址								
内存块号								
块内地址								
cache 块号								
cache 地址								
标记字段								
cache 命中								

参考解答: 页内地址占 8 位; 缓存分 4 块, 块内地址占 4 位; 内存块号低 2 位为缓存索引 (即缓存块号), 高位部分为缓存标记位; 虚拟页号为 TLB 标记位; 缓存地址为 6 位

初始状态:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	0	磁盘				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	0	磁盘	0	1	32	.....
1	0	3	8	7	1	8	1	0	41	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	8	12	9	0	磁盘	3	0	52	.....

1) 虚拟地址 0x456

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1							
页表命中	x							
物理页号	0x3							
内存地址	0x356							
内存块号	0x35							
块内地址	0x6							
cache 块号	0x1							
cache 地址	0x16							
标记字段	0xd							
cache 命中	0							

TLB 命中，页表无需访问，Cache 脱靶！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	0	磁盘				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	0	磁盘	0	1	32	.....
1	0	3	8	7	1	8	1	0	41	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	8	12	9	0	磁盘	3	0	52	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	0	磁盘				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	0	磁盘	0	1	32	.....
1	0	3	8	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	8	12	9	0	磁盘	3	0	52	.....

2) 虚拟地址 0x331

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0						
页表命中	x	0						
物理页号	0x3	0xd						
内存地址	0x356	0xd31						
内存块号	0x35	0xd3						
块内地址	0x6	0x1						
cache 块号	0x1	0x3						
cache 地址	0x16	0x31						
标记字段	0xd	0x34						
cache 命中	0	x						

TLB 脱靶，页表脱靶，Cache 无需访问！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	0	磁盘				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	0	磁盘	0	1	32	.....
1	0	3	8	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	8	12	9	0	磁盘	3	0	52	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	0	磁盘	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	8	12	9	0	磁盘	3	1	52	.....

3) 虚拟地址 0x633

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0	0					
页表命中	x	0	0					
物理页号	0x3	0xd	0xe					
内存地址	0x356	0xd31	0xe33					
内存块号	0x35	0xd3	0xe3					
块内地址	0x6	0x1	0x3					
cache 块号	0x1	0x3	0x3					
cache 地址	0x16	0x31	0x33					
标记字段	0xd	0x34	0x38					
cache 命中	0	x	x					

TLB 脱靶，页表脱靶，Cache 无需访问！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	0	磁盘	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	8	12	9	0	磁盘	3	1	52	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	56	.....

4) 虚拟地址 0x731

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0	0	0				
页表命中	x	0	0	1				
物理页号	0x3	0xd	0xe	0x8				
内存地址	0x356	0xd31	0xe33	0x831				
内存块号	0x35	0xd3	0xe3	0x83				
块内地址	0x6	0x1	0x3	0x1				
cache 块号	0x1	0x3	0x3	0x3				
cache 地址	0x16	0x31	0x33	0x31				
标记字段	0xd	0x34	0x38	0x20				
cache 命中	0	x	x	0				

TLB 脱靶，页表命中，Cache 脱靶！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	5	10	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	56	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	32	.....

5) 虚拟地址 0x558

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0	0	0	0			
页表命中	x	0	0	1	1			
物理页号	0x3	0xd	0xe	0x8	0xa			
内存地址	0x356	0xd31	0xe33	0x831	0xa58			
内存块号	0x35	0xd3	0xe3	0x83	0xa5			
块内地址	0x6	0x1	0x3	0x1	0x8			
cache 块号	0x1	0x3	0x3	0x3	0x1			
cache 地址	0x16	0x31	0x33	0x31	0x18			
标记字段	0xd	0x34	0x38	0x20	0x29			
cache 命中	0	x	x	0	0			

TLB 脱靶，页表命中，Cache 脱靶！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	4	3	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	13	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	32	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	32	.....

6) 虚拟地址 0x777

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0	0	0	0	1		
页表命中	x	0	0	1	1	x		
物理页号	0x3	0xd	0xe	0x8	0xa	0x8		
内存地址	0x356	0xd31	0xe33	0x831	0xa58	0x877		
内存块号	0x35	0xd3	0xe3	0x83	0xa5	0x87		
块内地址	0x6	0x1	0x3	0x1	0x8	0x7		
cache 块号	0x1	0x3	0x3	0x3	0x1	0x3		
cache 地址	0x16	0x31	0x33	0x31	0x18	0x37		
标记字段	0xd	0x34	0x38	0x20	0x29	0x21		
cache 命中	0	x	x	0	0	0		

TLB 命中，页表无需访问，Cache 脱靶！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	32	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	33	.....

7) 虚拟地址 0x666

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0	0	0	0	1	1	
页表命中	x	0	0	1	1	x	x	
物理页号	0x3	0xd	0xe	0x8	0xa	0x8	0xe	
内存地址	0x356	0xd31	0xe33	0x831	0xa58	0x877	0xe66	
内存块号	0x35	0xd3	0xe3	0x83	0xa5	0x87	0xe6	
块内地址	0x6	0x1	0x3	0x1	0x8	0x7	0x6	
cache 块号	0x1	0x3	0x3	0x3	0x1	0x3	0x2	
cache 地址	0x16	0x31	0x33	0x31	0x18	0x37	0x26	
标记字段	0xd	0x34	0x38	0x20	0x29	0x21	0x39	
cache 命中	0	x	x	0	0	0	0	

TLB 命中，页表无需访问，Cache 脱靶！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	50	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	33	.....

访问后:

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	57	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	33	.....

8) 虚拟地址 0x334

	1	2	3	4	5	6	7	8
虚拟地址	0x456	0x331	0x633	0x731	0x558	0x777	0x666	0x334
虚拟页号	0x4	0x3	0x6	0x7	0x5	0x7	0x6	0x3
页内地址	0x56	0x31	0x33	0x31	0x58	0x77	0x66	0x34
TLB 命中	1	0	0	0	0	1	1	1
页表命中	x	0	0	1	1	x	x	x
物理页号	0x3	0xd	0xe	0x8	0xa	0x8	0xe	0xd
内存地址	0x356	0xd31	0xe33	0x831	0xa58	0x877	0xe66	0xd34
内存块号	0x35	0xd3	0xe3	0x83	0xa5	0x87	0xe6	0xd3
块内地址	0x6	0x1	0x3	0x1	0x8	0x7	0x6	0x4
cache 块号	0x1	0x3	0x3	0x3	0x1	0x3	0x2	0x3
cache 地址	0x16	0x31	0x33	0x31	0x18	0x37	0x26	0x34
标记字段	0xd	0x34	0x38	0x20	0x29	0x21	0x39	0x34
cache 命中	0	x	x	0	0	0	0	0

TLB 命中，页表无需访问，Cache 脱靶！如下图所示：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	57	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	33	.....

访问后：

TLB 状态				页表状态			缓存状态			
				索引	有效位	实页号/磁盘地址				
				0	1	4				
				1	1	6				
				2	1	7				
				3	1	13				
				4	1	3				
索引	有效位	标记位	实页号	5	1	10	索引	有效位	标记位	数据位
0	1	5	10	6	1	14	0	1	32	.....
1	1	3	13	7	1	8	1	1	41	.....
2	1	7	8	8	1	12	2	1	57	.....
3	1	6	14	9	0	磁盘	3	1	52	.....

三、下面的问题描述的是虚拟地址到物理地址的映射：

- 内存是字节寻址的
- 虚拟地址为 16 位
- 物理地址为 13 位
- 页大小为 512 字节
- TLB 采用 16 个表项的 8 路组相联映射
- cache 采用 2 路组相联映射，行大小为 4 字节，一共 16 行

下面的表中，所有的数字均为 **16 进制**。TLB、前 32 页的页表和 cache 的内容如下所示：

TLB				Page Table					
Index	Tag	PPN	Valid	VPN	PPN	Valid	VPN	PPN	Valid
0	09	4	1	00	6	1	10	0	1
	12	2	1	01	5	0	11	5	0
	10	0	1	02	3	1	12	2	1
	08	5	1	03	4	1	13	4	0
	05	7	1	04	2	0	14	6	0
	13	1	0	05	7	1	15	2	0
	10	3	0	06	1	0	16	4	0
	18	3	0	07	3	0	17	6	0
1	04	1	0	08	5	1	18	1	1
	0C	1	0	09	4	0	19	2	0
	12	0	0	0A	3	0	1A	5	0
	08	1	0	0B	2	0	1B	7	0
	06	7	0	0C	5	0	1C	6	0
	03	1	0	0D	6	0	1D	2	0
	07	5	0	0E	1	1	1E	3	0
	02	2	0	0F	0	0	1F	1	0

2-way Set Associative Cache												
Index	Tag	Valid	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Tag	Valid	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3
0	19	1	99	11	23	11	00	0	99	11	23	11
1	15	0	4F	22	EC	11	2F	1	55	59	0B	41
2	1B	1	00	02	04	08	0B	1	01	03	05	07
3	06	0	84	06	B2	9C	12	0	84	06	B2	9C
4	07	0	43	6D	8F	09	05	0	43	6D	8F	09
5	0D	1	36	32	00	78	1E	1	A1	B2	C4	DE
6	11	0	A2	37	68	31	00	1	BB	77	33	00
7	16	1	11	C2	11	33	1E	1	00	C0	0F	00

1. TLB 标签和 TLB 索引位数分别为多少？TLB 表容量多少位？

参考解答：页内地址占 9 位，物理页号占 $13-9=4$ 位，虚拟页号占 $16-9=7$ 位，TLB 分 2

组，故 TLB 索引占 1 位，TLB 标记占 $7-1=6$ 位，TLB 容量= $16(1+6+4)=176$ 位

计算组件容量时注意！

无论是 TLB 还是 Cache，无论如何分组，每一项/块都是由标记位、有效位和数据位组成的。如何分组，如何分块都只是影响标记位的长度而已。

2. VPN（虚拟页号）、PPN（物理页号）和页偏移分别多少位？

参考解答：页内地址占 9 位，物理页号占 $13-9=4$ 位，虚拟页号占 $16-9=7$ 位

3. 写出物理地址中 cache tag、index 和 offset 的位数。

参考解答：物理地址 13 位长，Cache 共分 8 组，每块 4 字节，因此，物理地址中：offset

（块内地址）占 2 位，index 占 3 位，tag 占 8 位

4. 计算 Cache 总容量多少位？总容量是数据容量的多少倍？

参考解答：Cache 容量= $16(1+8+4*8)=656$ 位

5. 虚拟地址 1DDE 访问时下表的值分别是什么？

Parameter	值 (0x)
VPN（虚拟页号）	
PPN（物理页号）	
cache 索引	
cache 标签	
Cache Byte returned	

参考解答：TLB 脱靶，页表命中，Cache 命中！

Parameter	值 (0x)
-----------	--------------

VPN (虚拟页号)	0x0e
PPN (物理页号)	0x01
cache 索引	0x7
cache 标签	0x1e
Cache Byte returned	0x0f

6. 设 TLB 命中率为 90%，命中时间为 0.5ns，Cache 的局部不命中率为 8%，命中时间为 5ns，所有的请求都会在主存中得到满足，主存的访问时间为 60ns。

(1) 求上述地址访问的时间；

(2) 求平均访问时间。

参考解答：

(1) 上述地址访问时 TLB 表没命中，页表命中，Cache 命中，因此：

访问时间 = 60ns + 5ns = 65ns

(2) 平均访问时间 = $(90\% \times 0.5 + 10\% \times 60 + 5 + 8\% \times 60)$ ns = 16.25ns

说明：黑色部分为完成虚拟地址到物理地址转换的平均时间，红色部分为根据物理地址访问数据的时间。

四、某 mini 计算机系统配备有页表、TLB 和高速缓存 Cache。其虚拟地址为 14 位，物理地址为 12 位，页面大小为 64B。TLB 采用四路组相联方式，共设有 16 项。Cache 按物理地址寻址，采用直接映射方式，其 Cache 行大小为 4B，共有 16 行。下面的表格中数字均为 16 进制，要求你给出的答案也以 16 进制表示，否则判错。

假定该计算机运行到某一时刻时，假定 TLB 内部的内容为：

组	标记位	PPN	有效位	标记位	PPN	有效位	标记位	PPN	有效位	标记位	PPN	有效位
0	03	-	0	09	0D	1	00	-	0	07	02	1
1	03	2D	1	02	-	0	04	-	0	0A	-	0
2	02	-	0	08	-	0	06	-	0	03	-	0
3	07	-	0	03	0D	1	0A	34	1	02	-	0

页表前 16 个页表项为：

VPN	PPN	有效位	VPN	PPN	有效位	VPN	PPN	有效位	VPN	PPN	有效位
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

00	28	1	04	-	0	08	13	1	0C	-	0
01	-	0	05	16	1	09	17	1	0D	2D	1
02	33	1	06	-	0	0A	09	1	0E	11	1
03	02	1	07	-	0	0B	-	0	0F	0D	1

高速缓存中的内容为:

索引	标记位	有效位	字节 0	字节 1	字节 2	字节 3
0	19	1	99	11	23	11
1	15	0	-	-	-	-
2	1B	1	00	02	04	08
3	36	0	-	-	-	-
4	32	1	43	6D	8F	09
5	0D	1	36	72	F0	1D
6	31	0	-	-	-	-
7	16	1	11	C2	DF	03
8	24	1	3A	00	51	89
9	2D	0	-	-	-	-
A	2D	1	93	15	DA	3B
B	0B	0	-	-	-	-
C	12	0	-	-	-	-
D	16	1	04	96	34	15
E	13	1	83	77	1B	D3
F	14	0	-	-	-	-

(1) 计算 TLB 组索引(TLBI), TLB 标记(TLBT), 虚拟页号(VPN), 物理页号(PPN), 虚拟页偏移(VPO), 物理页偏移(PPO), 高速缓存标志(CT), 高速缓存索引(CI), 高速缓存块内偏移(BO)和物理地址标记 (PAT) 的位数, 并分别说明其内容来自虚拟地址或者物理地址的哪些位。

参考解答:

虚拟地址格式如下:

13				8	7	6	5				0
TLB 标记 (TLBT)					TLB 索引 (TLBI)		虚拟页内偏移 (VPO)				
虚拟页号 (VPN)											

从中可以看出各部分的位数及各部分的关系!

物理地址格式如下：

11				6	5				1	0
物理页号 (PPN)					物理页内偏移 (PPO)					
物理地址标记 (PAT)					高速缓存索引 (CI)			块内偏移 (BO)		

从中可以看出各部分的位数及各部分的关系！

(2) 根据以上信息和下表中给出的虚拟地址，完成表格，不存在的部分请填“-”：

参考解答：

虚拟地址	0x027c	0x03a9	0x0040	0x03e7	0x03d7
TLB 命中(T/F)	F	F	F	T	T
缺页(T/F)	F	F	T	F	F
物理页号	0x17	0x11	-	0x0D	0x0D
缓存命中(T/F)	F	F	F	F	T
Cache 块内偏移	0	1	0	3	3
返回的缓存字节	-	-	-	-	0x1D

说明：紫色部分也可以填“-”！课件上的参考解答存在问题！最后一列是补充的！

分析如下：

虚拟地址 0x027c：

展开成 2 进制：00 0010 0111 1100

虚拟页号为 00 0010 01，页内地址为 11 1100

虚拟页号：00 0010 01

TLB 标记为 00 0010，TLB 索引为 01

检索 TLB，脱靶！

检索页表，命中！物理页号为 0x17

2 进制物理地址为 01 0111 11 1100

2 进制物理地址：01 0111 11 1100

物理块号为 01 0111 11 11，块内地址为 00

物理块号为 **01 0111** 11 11

缓存标记为 **01 0111**，缓存索引为 1111

检索缓存，**脱靶**！

结果：

虚拟地址	0x027c	0x03a9	0x0040	0x03e7
TLB 命中(T/F)	F			
缺页(T/F)	F			
物理页号	17			
缓存命中(T/F)	F			
Cache 块内偏移	0			
返回的缓存字节	-			

虚拟地址 **0x03a9**：

展开成 2 进制：**00 0011 10**10 1001

虚拟页号为 **00 0011 10**，页内地址为 10 1001

虚拟页号：**00 0011** 10

TLB 标记为 **00 0011**，TLB 索引为 10

检索 TLB，**脱靶**！

检索页表，**命中**！物理页号为 **0x11**

2 进制物理地址为 **01 0001** 10 1001

2 进制物理地址：**01 0001 10 1001**

物理块号为 **01 0001 10 10**，块内地址为 01

物理块号：**01 0001** 10 10

缓存标记为 **01 0001**，缓存索引为 10 10

检索缓存，**脱靶**！

结果：

虚拟地址	0x027c	0x03a9	0x0040	0x03e7
TLB 命中(T/F)	F	F		

缺页(T/F)	F	F		
物理页号	0x17	0x11		
缓存命中(T/F)	F	F		
Cache 块内偏移	0	1		
返回的缓存字节	-	-		

虚拟地址 **0x0040**:

展开成 2 进制: **00 0000 01**00 0000

虚拟页号为 **00 0000 01**, 页内地址为 00 0000

虚拟页号: **00 0000 01**

TLB 标记为 **00 0000**, TLB 索引为 01

检索 TLB, **脱靶!**

检索页表, **脱靶!** 引起缺页异常。

结果:

虚拟地址	0x027c	0x03a9	0x0040	0x03e7
TLB 命中(T/F)	F	F	F	
缺页(T/F)	F	F	T	
物理页号	0x17	0x11	-	
缓存命中(T/F)	F	F	F	
Cache 块内偏移	0	1	0	
返回的缓存字节	-	-	-	

虚拟地址 **0x03e7**:

展开成 2 进制: **00 0011 11**10 0111

虚拟页号为 **00 0011 11**, 页内地址为 10 0111

虚拟页号: **00 0011 11**

TLB 标记为 **00 0011**, TLB 索引为 11

检索 TLB, **命中!** 物理页号为 **0x0D**

无需检索页表!

2 进制物理地址为 **00 1101** 10 0111

2 进制物理地址：**00 1101 10 0111**

物理块号为 **00 1101 10 01**，块内地址为 11

物理块号：**00 1101** 10 01

缓存标记为 **00 1101**，缓存索引为 1001

检索缓存，**脱靶**！

结果：

虚拟地址	0x027c	0x03a9	0x0040	0x03e7
TLB 命中(T/F)	F	F	F	T
缺页(T/F)	F	F	T	F
物理页号	0x17	0x11	-	0x0D
缓存命中(T/F)	F	F	F	F
Cache 块内偏移	0	1	0	3
返回的缓存字节	-	-	-	-

如果再考虑虚拟地址 0x03d7：

展开成 2 进制：**00 0011 1101** 0111

虚拟页号为 **00 0011 11**，页内地址为 01 0111

虚拟页号：**00 0011** 11

TLB 标记为 **00 0011**，TLB 索引为 11

检索 TLB，**命中**！物理页号为 **0x0D**

无需检索页表！

2 进制物理地址为 **00 1101** 01 0111

2 进制物理地址：**00 1101 01 0111**

物理块号为 **001101 01 01**，块内地址为 11

物理块号：**001101** 01 01

缓存标记为 **001101**，缓存索引为 0101

检索缓存,!

结果:

虚拟地址	0x027c	0x03a9	0x0040	0x03e7	0x03d7
TLB 命中(T/F)	F	F	F	T	T
缺页(T/F)	F	F	T	F	F
物理页号	0x17	0x11	-	0x0D	0x0D
缓存命中(T/F)	F	F	F	F	T
Cache 块内偏移	0	1	0	3	3
返回的缓存字节	-	-	-	-	0x1D