

➤ **（2010考研试题）** 某计算机的主存地址空间大小为**256 MB**，按字节编址。指令**Cache**和数据**Cache**分离，均有**8个Cache行**，每个**Cache行大小为64 B**，数据**Cache**采用直接映射方式。现有两个功能相同的程序**A**和**B**，其伪代码如下所示：

程序A：

```
int a[256][256];
.....
int sum_array1 ( )
{
    int i, j, sum = 0;
    for ( i = 0; i < 256; i++)
        for (j = 0; j < 256; j++)
            sum += a[i] [j];
    return sum;
}
```

程序B：

```
int a[256][256];
.....
int sum_array2 ( )
{
    int i, j, sum = 0;
    for ( j = 0; j < 256; j++)
        for ( i = 0; i < 256; i++)
            sum += a[i] [j];
    return sum;
}
```

假定**int**类型数据用**32**位补码表示，程序编译时**i**, **j**, **sum**均分配在寄存器中，数组**a**按行优先方式存放，其首地址为**320**（十进制数）。请回答下列问题，要求说明理由或给出计算过程。

- (1) 若不考虑用于**Cache**一致性维护和替换算法的控制位，则数据**Cache**的总容量为多少？
- (2) 数组元素**a[0][31]**和**a[1][1]**各自所在的主存块对应的**Cache**行号分别是多少（**Cache**行号从**0**开始）？
- (3) 程序**A**和**B**的数据访问命中率各是多少？哪个程序的执行时间更短？

[答案]

(1) 数据**Cache**的总容量为：**4256位（532字节）**。

(2) 数组**a**在主存的存放位置及其与**Cache**之间的映射为：

a[0][31]所在主存块映射到**Cache**第**6**行，

a[1][1] 所在主存块映射到**Cache**第**5**行。

(3) 编译时**i, j, sum**均分配在寄存器中，故数据访问命中率仅考虑数组**a**的情况。

①程序**A**的数据访问命中率为**93.75%**；

②程序**B**的数据访问命中率为**0**。

程序**A**的执行比程序**B**快得多。

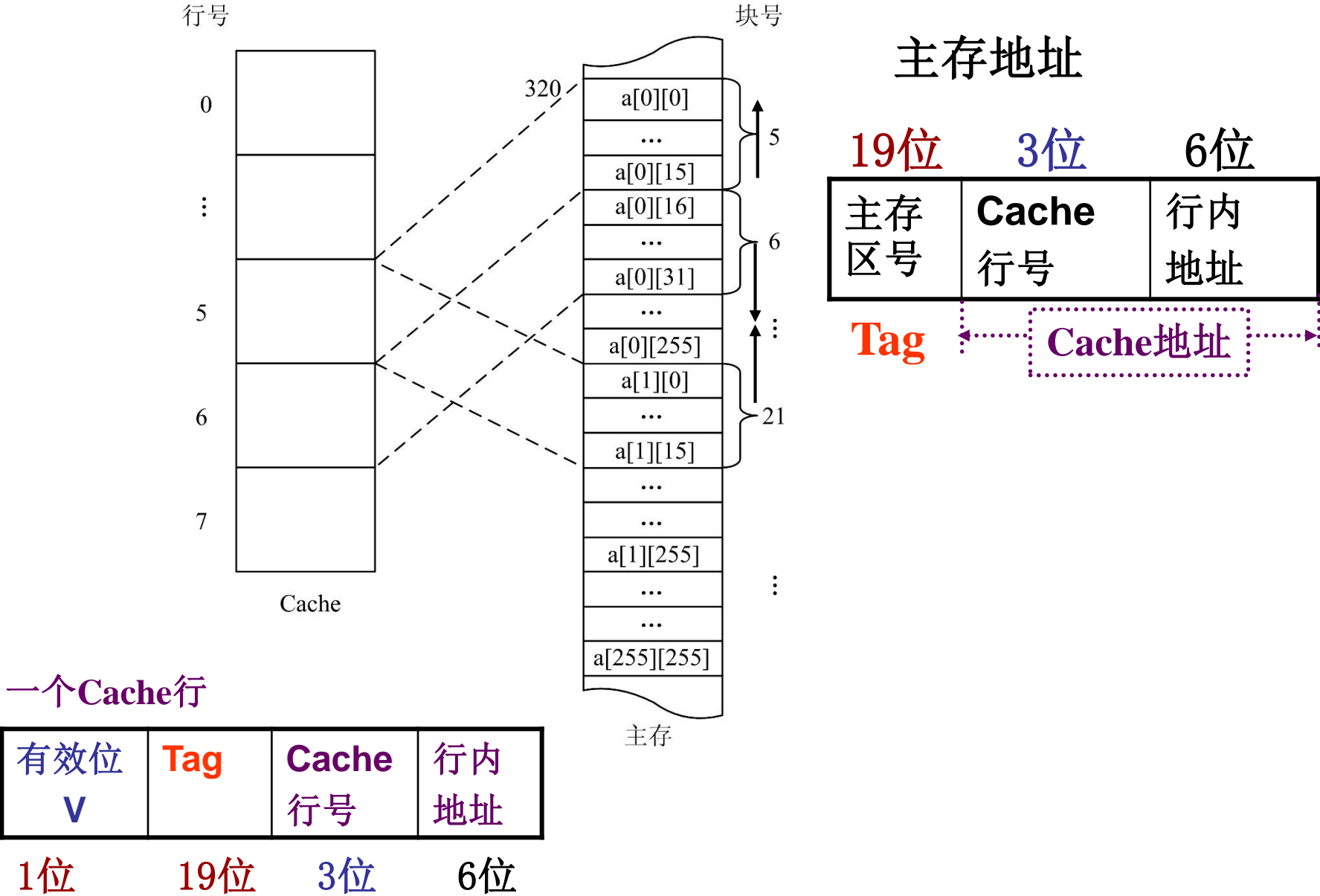
[解析]

(1) 主存容量**256MB**，按字节寻址的地址位数应为**28**位，数据**Cache**分为**8**行（用**3**位地址），每行**64B**（用**6**位地址），因此**Cache**中每个字块的**Tag**字段的位数应是 **$28-9=19$** 位，还要使用一个有效位，二者合计为**20**位；因此数据**Cache**的总容量应为：

$$64\text{B} \times 8 + (20/8 \times 8)\text{B} = 532\text{B}。$$

(2) 数组**a**在主存的存放位置及其与**Cache**之间的映射关系如下图所示。

数组a在主存的存放位置及其与Cache之间的映射关系



[解析]

- 数组**a** 按行优先方式存放，其起始地址： **$a[0][0]=320=140H$** ，**int**类型数据用**32**位补码表示，每个数占**4**个字节单元，数组中， **$a[i][j]$** 在内存的地址：

$$a[i][j] = a[0][0] + (256i+j) \times 4 = 320 + (256i+j) \times 4 = 140H + (256i+j) \times 4$$

- 则 **$a[0][31]$** 所在的主存对应的地址： **$a[0][31]=140H+31 \times 4=1BCH$**

- **$a[1][1]$** 所在的主存对应的地址：

$$A[1][1]=140H+ (256+1) \times 4= 140H+2^{10}+2^2=140H+400H+4H=544H$$

- 主存地址空间大小为 **$256MB=2^{28}$** ，每个**Cache**行大小为**64 B**，**8**行

数组 **$A[0][31]$** 所在的主存块对应的**Cache**行号是：

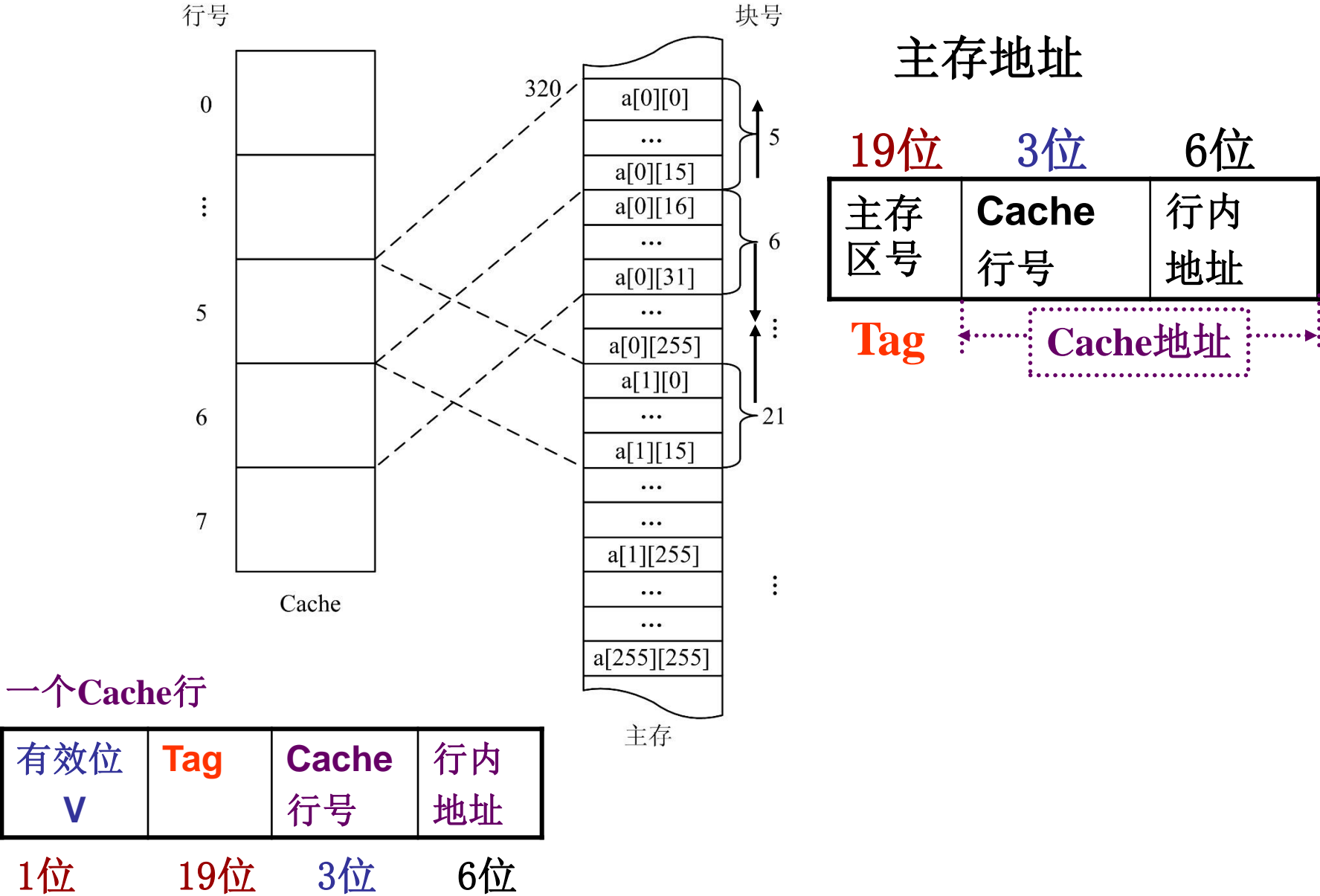
$$((320+31 \times 4) / 64) \bmod 8 = 6。或 1BCH = \cdots 000 \textcolor{red}{110} 111100 B$$

数组 **$A[1][1]$** 所在主存块对应的**Cache**行号：

$$((320+256 \times 4+ 1 \times 4) / 64) \bmod 8 = 5。或 544H = \cdots 010 \textcolor{red}{101} 000100 B$$

所以 **$a[0][31]$** 所在主存块映射到**Cache**第**6**行， **$a[1][1]$** 所在主存块映射到**Cache**第**5**行。

数组a在主存的存放位置及其与Cache之间的映射关系



(3) 编译时*i*, *j*, *sum*均分配在寄存器中，故数据访问命中率仅考虑数组*a*的情况。

①这个程序的特点是数组中的每一个int 类型的数据只被使用一次。数组*A*按行优先存放，因为 $64\text{B} \times 8 = 128 \times 4\text{B}$ ，数据Cache正好放下数组半行中的全部数据，即数据的存储顺序与使用次序有更高的吻合度，每个字块存16个int类型的数据，访问每个字块中头一个字不会命中，但接下来的15个字都会命中，访问全部字块都符合这一规律，命中率是15/16，即程序*A*的数据访问命中率为93.75%；

②而程序*B*是按照数组的列执行外层循环，在内层循环过程中，将连续访问不同行的同一列的数据，不同行的同一列数据使用的是同一个Cache单元，每次都不会命中，命中率是0，程序执行特别慢。

根据上述计算出的命中率，得出程序*B*每次取数都要访问主存，所以程序*A*的执行比程序*B*快得多。

(2014考研试题) 单选题

15. 假定主存地址为32位，按字节编址，主存和Cache之间采用直接映射方式，主存块大小为4个字，每字32位，采用回写（Write Back）方式，则能存放4K字数据的Cache的总容量的位数是（）

A. 146k B. 147K C. 148K D. 158K

[解析]主存与Cache分成相同大小的数据块。主存块 $4 \times 32/8 = 16\text{B}$ ，按字节寻址的地址位数应为4位， $4\text{K}/4 = 1\text{K}$ ，即4K字数据Cache分为 2^{10} 行（用10位地址），每行16B（用4位地址），主存地址为32位，因此Cache中每个字块的Tag字段的位数应是 $32 - 10 - 4 = 18$ 位，还要使用一个有效位，二者合计为19位；因此数据Cache的总容量的位数至少应为：

$$19 \times 2^{10} + 4\text{K} \times 32 = 147\text{K}。$$

【参考答案】 B

