

假定计算机 M 字长为 16 位，按字节编址，连接 CPU 和主存的系统总线中地址线为 20 位、数据线为 8 位，采用 16 位定长指令字，指令格式及说明如下：

格式	6 位	2 位	2 位	2 位	4 位	指令功能或指令类型说明
R 型	000000	rs	rt	rd	opl	$R[rd] \leftarrow R[rs] \text{ opl } R[rt]$
I 型	op2	rs	rt	imm		含ALU运算、条件转移和访存操作3类指令
J 型	op3	target				PC 的低 10 位 $\leftarrow$ target

其中， $op1 \sim op3$  为操作码，rs,rt 和 rd 为通用寄存器编号， $R[r]$  表示寄存器 r 的内容，imm 为立即数，target 为转移目标的形式地址。回答以下问题：

1. ALU 的宽度是多少位？可寻址主存空间大小为多少字节？指令寄存器、主存地址寄存器（MAR）和主存数据寄存器（MDR）分别应有多少位？
2. R 型格式最多可定义多少种操作？I 型和 J 型格式总共最多可定义多少种操作？通用寄存器最多有多少个？
3. 假定  $op1$  为 0010 和 0011 时，分别表示带符号整数减法和带符号整数乘法指令，则指令 01B2H 的功能是什么（参考上述指令功能说明的格式进行描述）？若 1、2、3 号通用寄存器当前内容分别为 B052H、0008H、0020H，则分别执行指令 01B2H 和 01B3H 后，3 号通用寄存器内容各是什么？各自结果是否溢出？
4. 若采用 I 型格式的访存指令中 imm（偏移量）为带符号整数，则地址计算时应对应 imm 进行零扩展还是符号扩展？
5. 无条件转移指令可以采用上述哪种指令格式？

没见过那么长的题目，吓到了吗？别急，一题一题来。

【第 1 题】 这题问的是各种「位数」的辨析。

题干表明按字节编址，并给出了四种「位数」：

- 字长：16 位
- 地址线：20 位
- 数据线：8 位
- 指令字长：16 位

下面要问那么几个问题：

- ALU 宽度：16 位——与字长相同，即为 ALU 运算对象的宽度；
- 可寻址主存空间大小： $2^{20}$  字节（1 MB）——按字节编址，而且是 20 位地址线，因此存储芯片容量为  $1\text{M} \times 8$  位，即 1MB；
- 指令寄存器位数：16 位——与单条指令字长相同；
- 地址寄存器 MAR 位数：20 位——与地址线位数相同；
- 数据寄存器 MDR 位数：8 位——与数据线宽度相同。

【第 2 题】 这题问的是指令系统，各种指令的可用数量。

格式	6 位	2 位	2 位	2 位	4 位	指令功能或指令类型说明
R 型	000000	rs	rt	rd	opl	$R[rd] \leftarrow R[rs] \text{ opl } R[rt]$
I 型	op2	rs	rt	imm		含ALU运算、条件转移和访存操作3类指令
J 型	op3	target				PC 的低 10 位 $\leftarrow$ target

- R 型指令：这是三地址指令，op1 是 4 位操作码，所以共  $2^4 = 16$  种。
- I, J 型指令：I 型是二地址指令，J 型是一地址指令，op2, op3 是 6 位操作码。本来能用  $2^6 = 64$  种，不过全零的一种被 R 型指令占据，所以是 63 种。**注意题干问的是 I 型和 J 型格式「总共」可定义，这两种指令共享前 6 位的操作码空间。**
- 通用寄存器最多有多少个：寄存器编号 rs, rt, rd 都是 2 位，说明只有 00, 01, 10, 11 共 4 种可能，因此最多有 4 个。

【第 3 题】 这题问的是指令翻译，以及十六进制数的计算。

把两条指令都翻译一下，得到表 1：

指令	二进制	rs	rt	rd	opl
01B2H	0000 0001 1011 0010	01	10	11	0010
01B3H	0000 0001 1011 0011	01	10	11	0011

表 1: 第 3 题两条指令的信息

格式	6 位	2 位	2 位	2 位	4 位	指令功能或指令类型说明
R 型	000000	rs	rt	rd	opl	$R[rd] \leftarrow R[rs] \text{ opl } R[rt]$
I 型	op2	rs	rt	imm		含ALU运算、条件转移和访存操作3类指令
J 型	op3	target				PC 的低 10 位 $\leftarrow$ target

于是指令 01B2H 的功能就是，把 1 号寄存器 rs 的内容和 2 号寄存器 rt 的内容做出带符号整数减法，放在 3 号寄存器 rd 中，也就是： $R[3] \leftarrow R[1] - R[2]$ 。

现在  $R[1], R[2], R[3]$  分别为 B052H, 0008H, 0020H，执行指令 01B2H，列竖式计算：（像三年级学过的四位数减四位数一样，最低位借来一个 16，作退位减法）

$$\begin{array}{r} \text{B } 0 \ 5 \ 2 \\ - \ 0 \ 0 \ 0 \ 8 \\ \hline \text{B } 0 \ 4 \ \text{A} \end{array}$$

于是  $R[3]$  变成了 B04AH，没有溢出。

执行指令 01B3H，也就是  $R[3] \leftarrow R[1] \times R[2]$ ，也就是  $B052H \times 8$ 。列竖式计算：

$$\begin{array}{r} \text{B } 0 \ 5 \ 2 \\ \times \ 50 \ 0 \ 20 \ 18 \\ \hline \text{8 } 2 \ 9 \ 0 \end{array}$$

（在十六进制下： $2 \times 8 = 16 = 10_{(16)}$ ，二八一十； $5 \times 8 + 1 = 41 = 29_{(16)}$ ，五八二十八，加一二十九； $B \times 8 = 88 = 58_{(16)}$ ，B 八五十八。）

于是  $R[3]$  变成了 8290H，而且有溢出（溢了一个 5）。

另一种理解方式是，把 B052H 左移 3 位，这样恰好是乘  $2^3$ 。

1011 0000 0101 0010  
1000 0010 1001 0000

由于 B052H 符号位为 1，是个负数，左移的时候移出了 101，并不都与符号位 1 相同，所以发生了溢出。或许这样理解更直观一些。

**【第 4 题】** 偏移量 imm 是带符号整数，相当于相对寻址的  $S = ((PC) \pm \text{imm})$ ，所以当然带符号扩展。

零扩展和符号扩展：举个例子，要把一个 6 位二进制数扩展到 16 位，那么高 10 位应该填补 0 还是填补符号位？

比如数字 6：6 位二进制数为 000110，那么扩展后的 16 位数是 0000 0000 0000 0110。此时零扩展和符号扩展都算正确。

比如数字 -6：6 位二进制数源码为 100110（最高位为符号），补码为 111010，那么扩展后的 16 位数应该是什么呢？

- A. 0000 0000 0011 1010  
B. 1111 1111 1111 1010

显然，A 属于零扩展，符号位在扩展后却消失了，明显不合适；B 属于符号扩展，填补了符号位 1，而且 B 还原至原码为 1000 0000 0000 0110，仍然是 -6。因此，对于负数，只有符号扩展正确。

**【第 5 题】** 无条件转移指令是 JMP x，属于一地址指令，且需要更新 PC 内容，因此使用 J 型指令格式，把 target 写入 PC 的低 10 位，完成跳转。

**【结论】** 见各题详细解析。

**【点评】** 这道题是计组考研的一道综合题，融合了各种「位数」的辨析，指令系统中指令的类型、可用数量、指令翻译，十六进制数的运算，零扩展与符号扩展等知识点，难度较大，需要同学们把知识融会贯通才能解决此题。

