

第五部分 指令系统

1. 指令字长、机器字长、存储字长三者间有何关系？

答：机器字长= $n \times$ 存储字长，整数 $n \geq 1$ 且为常数。解析：由于机器字长为 CPU 一次能处理数据的最大位数，故机器字长为常数；由于数据可存放在 MEM 中，故机器字长为存储字长的倍数；由于数据可表示为多种长度，为了节省其所占存储空间，存储字长通常为最短数据的长度，即 $n \geq 1$ 。

指令字长= $m \times$ 存储字长，整数 $m \geq 1$ ，指令字长与机器字长没有关系。解析：由于指令存放在 MEM 中，故指令字长为存储字长的倍数；由于指令系统有定长指令字、变长指令字 2 种结构，故 m 不一定为常数。

2. 若某指令系统中有 10 种操作，使用频率分别为 0.25、0.20、0.15、0.10、0.08、0.08、0.05、0.04、0.03、0.02，请分别用定长编码、哈夫曼编码、扩展编码（两种长度）进行操作码编码，并计算三种编码方式的平均码长。

答：定长编码为 $\lceil \log_2 10 \rceil = 4$ 位，哈夫曼编码根据哈夫曼树求得，编码如下表中部所示：

操作 I_i	频率 P_i	定长编码	霍夫曼编码 1	霍夫曼编码 2	霍夫曼扩展编码
I_1	0.25	0000	10	00	00
I_2	0.20	0001	00	10	01
I_3	0.15	0010	110	010	1000
I_4	0.10	0011	010	110	1001
I_5	0.08	0100	1110	0110	1010
I_6	0.08	0101	0110	1110	1011
I_7	0.05	0110	0111	01110	1100
I_8	0.04	0111	11110	01111	1101
I_9	0.03	1000	111110	11110	1110
I_{10}	0.02	1001	111111	11111	1111
平均码长($\sum I_i P_i$)		4	2.99	2.99	3.10
码长种类		1	5	4	2

扩展编码有 3 位+5 位、2 位+5 位、2 位+4 位多种方案。3 位+5 位方案的平均码长为 $(0.25+0.20+0.15+0.10+0.08+0.08+0.05) \times 3 + (0.04+0.03+0.02) \times 5 = 3.18$ 位，2 位+5 位方案的平均码长为 $(0.25+0.20+0.15) \times 2 + (0.10+0.08+0.08+0.05+0.04+0.03+0.02) \times 5 = 3.2$ 位，2 位+4 位方案的平均码长位 3.1，故 2 位+4 位方案较优。2 位+4 位方案的编码如上表右部所示。

3. 某指令系统中，指令字长为 16 位，指令格式有单地址、双地址两种，操作码采用扩展编码方式，单地址指令的地址码为 A（6 位），双地址指令的地址码为 A_1 （3 位）及 A_2 （6 位）。回答下列问题：

（1）若双地址指令已经定义了 40 条，则单地址指令最多有多少条？

（2）若单地址指令已经定义了 100 条，则双地址指令最多有多少条？

答：依题意，双地址指令的操作码为 $16b - (3b + 6b) = 7b$ ，单地址指令的操作码为 $16b - 6b = 10b$ ，单地址指令的操作码可划分成 7b 和 3b，7b 部分为扩展码。

（1）双地址指令的操作码中，空闲编码数 $\leq 2^7 - 40 = 88$ 种，故单地址指令最多有 88×2^3

=704 条。

(2) 单地址指令的前 7 位操作码中, 使用编码数 $\geq \lceil 100/2^3 \rceil = 13$ 种, 故双地址指令最多有 $2^7 - 13 = 115$ 条。

4. 某机器字长为 16 位, 存储单元长度为 16 位, 有符号数用补码表示。指令系统中, 有一个基址寄存器 B 及一个变址寄存器 I, 指令格式如下图所示, 其中, F=00、01、10 分别表示立即数寻址、基址寻址、相对寻址方式, A 用补码表示。

6bit	2bit	8bit
操作码 OP	寻址方式位 F	形式地址 A

若(B)=8000H、(I)=0029H、(PC)=1234H, 请回答下列问题:

(1) 分别计算指令字 8888H、5555H、6699H 的操作数值或操作数地址。

(2) 若分支指令的转移目标地址为 1200H, 则该指令采用相对寻址方式时, 指令字第二个字节的内容是多少?

答: (1) 指令字 8888H=100010 00 10001000B, F=00 表示立即寻址, $[OPD]_{\text{补}} = 88H$;
指令字 5555H=010101 01 01010101B, F=01 表示基址寻址, A=55H, A 扩展为 16 位的机器数为 0055H, OPD 的 $EA = (B) + A = 8000H + 0055H = 8055H$;
指令字 6699H=011001 10 10011001B, F=10 表示相对寻址, A=99H, A 扩展为 16 位的机器数为 FF99H, 指令字存放在 $16b/16b = 1$ 个存储单元中, 转移目标的 $EA = (PC) + A = (1234H + 1) + FF99H = 11CEH$ 。

(2) 转移目标地址 $= (PC) + A$, 即 $1200H = (1234H + 1) + A$, $A = -53$, $[A]_{\text{补}} = 11001011B$, 即指令字第二个字节的内容是 11001011B=CBH。

5. 某机器字长为 16 位, 存储器按字节编址, 指令格式如下, 请回答下列问题:

5bit	1bit	2bit	8bit
操作码 OP	寻址方式位 F	通用寄存器号 R	地址参数 A

(1) 该指令格式最多可定义多少条指令? 指令系统中有几个通用寄存器?

(2) 若该指令格式用作单地址指令, 指令中没有空闲位, 也无其他隐含约定, 则操作数可以有哪几种寻址方式? 存储器地址空间是多大?

(3) 若该指令格式用作双地址指令, 指令中没有空闲位, 也无其他隐含约定, 则两个操作数可以有哪几种寻址方式组合?

答: (1) 该指令格式最多可定义 $2^5 = 32$ 条指令, 因为指令条数指指令系统支持的操作类型个数, 指令条数 \leq 操作码个数; 指令系统中有 $2^2 = 4$ 个通用寄存器。

(2) 操作数可有基址寻址、变址寻址 2 种寻址方式; 由于基址/变址寄存器的长度=机器字长=16 位, 故操作数的 EA 为 16 位, MEM 地址空间=EA 的寻址空间=16 位。

(3) 两个操作数的寻址方式组合可有寄存器+立即、寄存器+直接、寄存器+间接、寄存器间接+立即、寄存器间接+直接、寄存器间接+间接供 6 种。其中, 直接寻址、间接寻址的寻址范围为 2^8 。

6. 基于本部分定义的 Demo_IS 指令系统, 写出实现下列 C 代码的机器指令序列。其中, i、s、A[0]的地址自行给定。

```
int i, A[100], s=0;
for ( i=0; i< 100; i++ ) s += A[i];
```

答: 该指令系统中, 机器字长为 8 位, MEM 按字节编址, 故 int 型数据位 8 位。

假设 i、A[0]、s 地址分别为 0、1、101; 语句 “for (i=0; i< 100; i++) s += A[i];” 等价于

“int *p=&A[0], j=100; s=0; do {s += *p; p++; j--;} while(j≠0);”, 对应的机器指令、指令功能的序列如下（从 102 单元开始）:

66H:	00000000 00000001	;R0←1	即 p=&A[0]
68H:	00000100 01100100	;R1←100	即 j=100
6AH:	00001000 00000000	;R2←0	即 s=0
6CH:	01011000	;R2←(R2)+M[(R0)]	即 s←s+*p
		//或 R3←M[(R0)], R2←(R2)+(R3)	
6DH:	10000000	;R0←(R0)+1	即 p++
6EH:	10010100	;R1←(R1)-1	即 j--
6FH:	11010000 01101100	;JNZ 6CH	即 j≠0 时转 s←s+*p
		//或 JNZ -4	
71H:	00111000	;M[(R0)]←(R2)	即 M[p]=s