

01 概论与数据的机器层次表示

1 概论

- 电子管、晶体管、集成电路
- 存储程序概念 - 冯诺依曼结构
 - 组成：运算器、存储器、控制器、输入设备、输出设备
 - 采用二进制表示数据和指令,事先将程序和数据放入存储器, 然后启动计算机
- 非冯诺依曼结构
- 计算机硬件组成
 - CPU=计算器+控制器
 - 组成：CPU+主存储设备+外围设备
- 总线结构
 - 单总线结构：总线结构=地址总线+数据总线+控制总线
 - 总线电路：三态门
- 大中型计算机结构
 - 主机-->通道-->控制器-->外设
- 计算机系统
 - 多层次结构
 - 微程序级（微指令集）--传统机器级（机器指令）--操作系统级（作业控制语言）--汇编语言---高级语言--应用语言
- 工作过程和性能指标
 - 程序放入主存储器，控制器控制逐条取出执行
 - 指标
 - 机器字长：参与运算的数的基本位数，只内部加法器、寄存器位数，1Byte=8bit
 - 数据通路宽度：数据总线一次所能并行传送信息的位数，指外部数据总线宽度，可能与CPU寄存器大小不一致
 - 主存容量：K M G T P
 - 运算速度：
 - 评估机器运算速度的指标:平均运算速度、每条指令执行所需的时钟周期数、MIPS/MFLOPS

2 数据的机器层次表示

- 无符号数、带符号数、定点数、浮点数、字符和汉字编码、数据校验码

2.1 数值数据的表示

- 数制：B后缀-2进制，Q/O后缀-8进制，H后缀-16进制、D后缀-10进制
- 无符号与带符号数字
 - 字长为 $n+1$ 的无符号数表示范围：0到 $2^{n+1} - 1$
 - 带符号数：使用最高位作为符号位（原码），0-正数，1-负数
- 原码表示
 - 最高位为符号位，数值部分与真值相同
 - 真值0有两种表示形式： $[+0]_{原} = 0000$ ， $[-0]_{原} = 1000$
 - 机器数和真值换算简单，实现乘、除简单，但是实现加、减复杂

$$[X]_{原} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^n \\ 2^n - X & -2^n \leq X \leq 0 \end{cases}$$

- 补码表示
 - 模和同余：A和B对模M同余， $A \equiv B \pmod{M}$
 - 补码作用将减法运算简化为加法运算 $A - B = A + (-B) = A + (M - B) = X \pmod{M}$
 - 对于正数，数值部分与真值形式相同，对于负数，将数值部分按位取反，然后在最低位+1
 - 对于真值0， $[+0]_{补} = [-0]_{补} = 00000$ ，使用10000表示最小的负数 -2^n

$$[X]_{补} = \begin{cases} X & 0 \leq X < \frac{M}{2} \\ M + X & -\frac{M}{2} \leq X < 0 \end{cases}$$

真值、原码与补码转换 $X > 0$: $X = X_{原} = X_{补}$ $X < 0$: $X_{补} = X_{原} \oplus 1$ 符号位不变其他各位取反 后尾数第一个1及其右侧的0保持不变，左侧各位取反，符号

- 反码表示
 - 对于正数，数值与真值相同
 - 对于负数，将数值部分按位取反
 - 真值0有两种不同表示， $[+0]_{反} = 0000$ ， $[-0]_{反} = 1111$
- 三种码制的比较
 - 1.对于正数，原码=补码=反码，对于负数不同

- 2. 最高位都是符号位，补码和反码的符号位可作为数值位的一部分参与运算，原码需分开处理
- 3. 对于真值0，原码和反码有两种不同的表示形式，补码只有唯一的形式
- 4. 表示范围，原码和反码相对0对称 $[-(2^n - 1), 2^n - 1]$ ，补码的范围 $[-2^n, 2^n - 1]$

2.2 机器的定点表示与浮点表示

针对小数需要指出小数点的位置，根据小数点的位置是否固定区分为定点表示和浮点表示

- 十进制小数转换成二进制小数
 - 先将十进制数的整数部分和小数部分分别转换后，再加以合并
 - 采用“乘2取整，顺序排列”法。具体做法是：用2乘十进制小数，可以得到积，将积的整数部分取出，再用2乘余下的小数部分，又得到一个积，再将积的整数部分取出，如此进行，直到积中的小数部分为零，或者达到所要求的精度为止。然后把取出的整数部分按顺序排列起来，先取的整数作为二进制小数的最高有效位，后取的整数作为低位有效位
- 由二进制数转换成十进制数的基本做法
 - 把二进制数首先写成加权系数展开式，然后按十进制加法规则求和。这种做法称为“按权相加”法
- 定点表示
 - 约定：所有的数据的小数点的位置不变，通常小数点固定在有效数据位的最前面或者末尾
 - 定点小数
 - 纯小数，小数点位置固定在有效数据位前，符号位之后， $X_s X_1 X_2 X_3 \cdots X_n$ ，小数点位置隐含，不占据二进制位， $X_{\text{最大正数}} = 1 - 2^{-n}$, $X_{\text{最小正数}} = 2^{-n}$
 - 定点整数
 - 纯整数，小数点位置隐含在最低有效数位之后
- 浮点表示
 - 小数点的位置根据需要而浮点， $N = M \times r^E$, E阶码，M尾数，通常 $r=2$
 - 尾数为纯小数，阶码为纯整数，含两个符号位 e_s, m_s , k位的 e , n位的 m , 表示范围由 e 决定，表示精度由 m 决定
 - 范围：
 - $X_{\text{最大正数}} = (1 - 2^{-n}) \cdot 2^{2^k - 1}$
 - $X_{\text{最小正数}} = 2^{-n} \cdot 2^{-2^k}$
 - 格式化浮点数：尾数的最高位必须是一个有效值
 - $|M| \in (\frac{1}{r}, 1)$

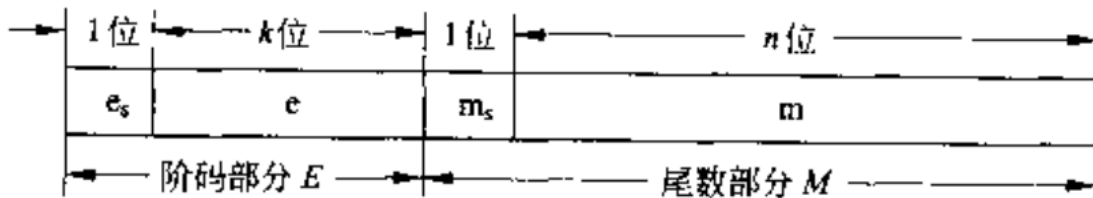


图 2-4 浮点数的一般格式

- 浮点数的阶码移码表示法
 - $X_{\text{移}} = \text{偏置值} + X$
 - 在移码中最高位与原码的最高符号位相反
 - 移码全0时最小，全1时最大
 - 真值0在移码中唯一 $[+0] = [-0] = 10000000$
 - 移码将真值映射到一个正数域，可以视作无符号数，可无视符号进行比较运算
 - 同一数值的移码和补码最高位相反，其他位相同
 - 浮点数的阶码通常用移码表示
 - 1. 方便比较大小
 - 2. 方便进行判零
 - 如何选择偏置值？
 - 阶码 $n+1$ 位，则有 2^{n+1} 个无符号整数
 - 选择偏置值应使阶码的真值的正数和负数分布均匀（即都是 2^n 个），因此选择中间值 $2^n - 1$ 或者 2^n
- 定点、浮点表示与定点、浮点计算机
 - 定点与浮点区别
 - 范围：相同字长时，浮点表示范围更大
 - 精度：相同字长，定点的精度更高
 - 运算：浮点运行更复杂
 - 溢出处理：定点运算超出数的表示范围即溢出，浮点运算仅当阶码超出范围时才溢出
 - 定点机与浮点机
 - 定点机：浮点依靠软件实现
 - 定点机+浮点运算部件：
 - 浮点机：具有浮点运算指令和基本的浮点运算器的机器
- 浮点尾数的基数的选择

- 非法码: 0x0101~0x1010
- 余3码:
 - 在8421的基础上+0011得到, 即每个数多余3
 - 特点:
 - 无权码
 - 对9的自补码
 - 非法码:0000~0010,1101~1111
- 十进制数串
 - 十进制数在计算机中以数串的形式存储, 有两种形式: 压缩的和非压缩的
 - 非压缩的十进制数串
 - 一个字节存放一个十进制数或符号的ASCII-7码, 分为分隔式数字串和后嵌入数字串
 - 分隔式数字串:
 - 符号未单独占一个字节,放在数字位之前, 正号:2BH,负号:2DH
 - 后嵌入数字串:
 - 符号位不作为一个单独字节,嵌入最后一位, 若为正最后一位不变(30H~39H), 若为负, 最后一位+40H,变为(70H~79H)
 - 非数值处理方便
 - 压缩的十进制数串
 - 一个字节存放2位BCD码表示的数字, 符号占半个字节, 存放在最低数字之后, 正号:CH,负号:DH
 - 规定:字符数+符号位之和必须为偶数, 否则在最高位补0H
 - 指定内存中的十进制压缩串: 首地址+串长
- 现代计算机数据表示
 - IA-32,基本数据类型:字节、字、双字、四字、双四字
 - 指针数据: 近指针 (32位偏移)、远指针(48位)=偏移量(0~31)+段选择符(32~47)
 - BCD数: (IA-32中的BCD采用8421码)
 - 未拼装的BCD数(UBCD):一个字节仅包含一位十进制数,在0~3位上
 - 拼接的BCD数:一个字节包含两个十进制数, 低位:0~3,高位:4~7
- 数据校验码
 - 检错纠错编码:检测并纠正错误
 - 码距:两个码字之间的最少变化的二进制位数
 - 检错纠错原理:
 - 在编码中, 除合法的码字外, 添加非法的码字, 当合法的码字出现错误时, 变为非法码字
 - 码距越大, 检错、纠错能力越强, 检错能力总是大于纠错能力
 - 奇偶校验码
 - 码距:2, 可以检出1位错误, 但是不能纠错
 - 实现: 校验码=若干位有效信息+1位二进制校验位, 校验位的取值将使整个校验码中的1的个数为偶数或者奇数
 - 校验位值:
 - 奇校验: 整个校验码1的个数为奇数
 - 偶校验: 整个校验码1的个数为偶数
 - 交叉奇偶检测
 - 多个字节进行, 每个字节的横向单字节奇偶交验, 全部字节的相同位进行奇偶校验
 - 可发现两位同时出错的情况
 - Hamming校验码
 - 多重奇偶校验码
 - 实现原理:有效信息中添加校验位形成
 - 检测并校正1位错误, 检测2位错误的编码原理: 校验位数目 K , 信息位 $N: 2^{K-1} \geq N + K + 1$
 - 校验码: $H_m H_{m-1} \cdots H_2 H_1$:
 - 1.校验位 + 信息位 = m , 每个校验位 P_i 在位号为 2^{i-1} 的位置上
 - 2. 每一位 H_i 由多个校验位校验, 校验关系: 校验的每一位位号 = 校验的各个校验位的位号之和, 即 $hamming$ 码的位号 = 参与校验的校验位的权值之和
 - 3.增大码距时, 所有的编码的码距尽量均匀增大
 - 编码
 - 校验
 - 循环冗余校验码
 - CRC Cyclic Redundancy Check
 - 基本原理:

有效信息使用多项式 $M(x)$ 表示, $M(x)$ 左移若干位, 余数 $R(x) = M(x) \bmod G(x)$, CRC码 $E(x) = M(x) + R(x)$, 校验: $D(x) = E(x) \bmod G(x)$, 若
 - 编码
 - 1. N 位有效信息编码为多项式: $M(X)$
 - 2. $M(X)$ 左移 K 位得到 $M(X) \times X^K$, 空出 K 位
 - 3.选取一个 $K+1$ 位的多项式 $G(X)$, 对 $M(X) \times X^K$ 作模2除: $\frac{M(X) \times X^K}{G(X)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$
 - 4.将左移 K 位后的有效信息和余数 $R(X)$ 作模2加减得到 $N+K$ 位的CRC码
 - 校验
 - 生成多项式的选择
 - 1.任何一位发生错误应使余数不为0
 - 2.不同位发生错误应使余数不同
 - 3.对余数做模2除法, 应使余数循环