计算机组成原理与系统结构

第三章
信息编码与数据表示

http://jpkc.hdu.edu.cn/computer/zcyl/dzkjdx/

杭州電子科技大學
HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY

第三章　信息编码与数据表示

- 3.1 数值数据的表示
- 3.2 数据格式
- 3.3 定点机器数的表示方法
- 3.4 浮点机器数的表示方法
- 3.5 非数值数据的表示
- 3.6 校验码
- 3.7 现代计算机系统的数据表示
- 本章小结

BACK

3.3 定点机器数的表示方法

- 定点机器数的小数点的位置是固定不变的，可以分为两种：
  - 定点小数：用于表示纯小数，小数点隐含固定在最高数据位的左边，整数位则用于表示符号位。
  - 定点整数：用于表示纯整数，小数点位置隐含固定在最低位之后，最高位为符号位。
- 一、原码表示法
- 二、补码表示法
- 三、反码表示法
- 四、移码表示法
- 五、定点机器数转换

对比

一、原码表示法

“，”和“．”只用于助记，在计算机中并无专用部件来表示

- 1 、**表示方法：**最高位为符号位，……位。
  - 符号位：0 —正数，1 —负数。
  - 数值位：与绝对值相同。
- **对于定点整数：**
  - 若 $X=+X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{原}=0,X_1X_2\cdots\cdots X_n$；
  - 若 $X=-X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{原}=1,X_1X_2\cdots\cdots X_n$。
- **对于定点小数：**
  - 若 $X=+0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{原}=0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$；

一、原码表示法

- 例 1： X=1011， Y ＝－ 1011，则：

  [X] 原＝ 0, 1011 ； [Y] 原＝ 1, 1011 ；

- 例 2： X=0.1101， Y ＝－ 0.1101，则：

  0.1101　　1.1101

  [X] 原＝______； [Y] 原＝______；

- 例 3： X=1011， Y ＝－ 0.1101，求 X 和 Y 的 8 位原码机器数。

  0, 0001011　　1. 1101000

  [X] 原＝______； [Y] 原＝______；

- 例 4： [0] 原＝？

一、原码表示法

- 2、 0的表示：0 的原码表示有两种形式，即分别按照正数和负数表示。
  - $[+0]_{原} = 00\cdots0$　　　　$[-0]_{原} = 10\cdots0$
- 3、表示范围：对于 $n+1$ 位原码机器数 X，它所能表示的数据范围为：

  包括1位符号位，n位数值位

  - 定点整数：$-(2^n-1) \leqslant X \leqslant 2^n-1$
  - 定点小数：$-(1-2^{-n}) \leqslant X \leqslant 1-2^{-n}$

•思考：16位定点整数的原码表示范围？

一、原码表示法

❖ 4、数学表示：编码与真值之间的数学关系

定点整数

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

定点小数

$$[X]_{原} = \begin{cases} X & X \geq 0 \\ 1 - X & X \leq 0 \end{cases}$$

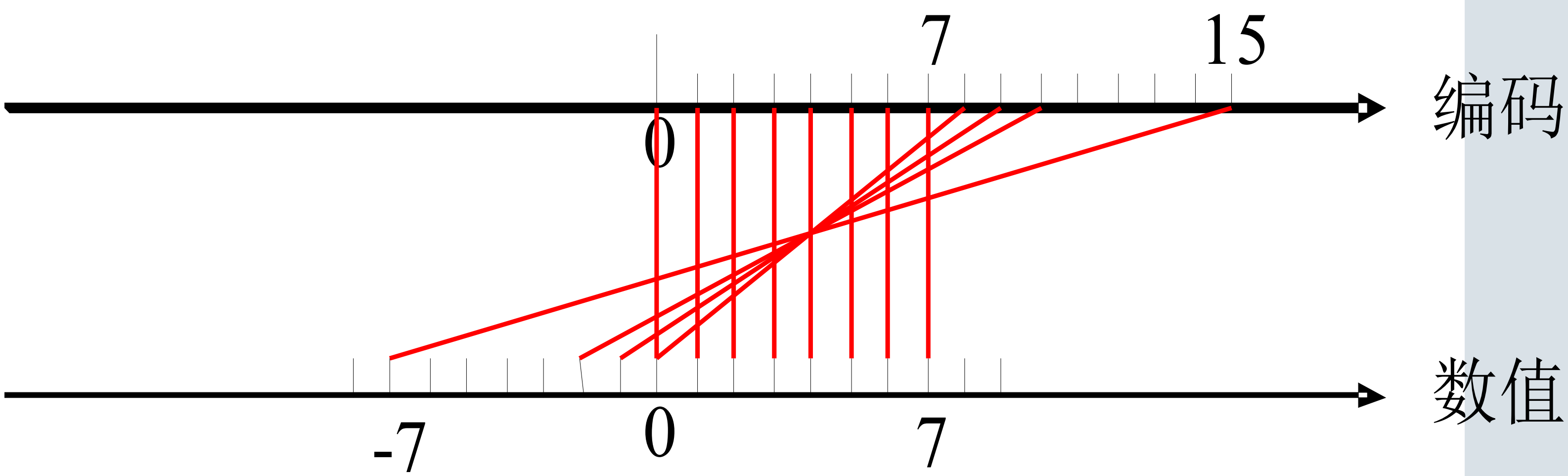
一、原码表示法

- 4 位原码机器数（整数）对应的真值

机器数	原码对应真值
0000	0
0001	+1
0010	+2
0011	+3
0100	+4
0101	+5
0110	+6
0111	+7
1000	-0
1001	-1
1010	-2
1011	-3
1100	-4
1101	-5
1110	-6
1111	-7

一、原码表示法

- 4 位原码机器数（整数）在数轴上的表示
  - 原码机器数编码与真值的对应



二、补码表示法

- **1、表示方法：**最高位为符号位，其他位为数值位。
  - 符号位：0—正数，1—负数。
  - 数值位：正数时，与绝对值相同；负数时，为绝对值取反后，末位加1。
- 对于定点整数:
  - 若 $X=+X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{补}=0,X_1X_2\cdots\cdots X_n$；
  - 若 $X=-X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{补}=1,\overline{X_1}\,\overline{X_2}\cdots\cdots\overline{X_n}+1$。
- 对于定点小数:
  - 若 $X=+0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{补}=0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$；
  - 若 $X=-0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_{补}=1.\overline{X_1}\,\overline{X_2}\cdots\cdots\overline{X_n}+0.00\cdots\cdots1$

二、补码表示法

❖ 例1： X=1011， Y＝－1011，则：

$[X]_{补}$＝ 0,1011 ； $[Y]_{补}$＝ 1,0101 ；

❖ 例2： X=0.1101， Y＝－0.1101，则：

$[X]_{补}$＝ 0.1101 ； $[Y]_{补}$＝ 1.0011 ；

❖ 例3： X=1011， Y＝－0.1101，求X和Y的8位补码机器数。

$[X]_{补}$＝ 0,0001011 ； $[Y]_{补}$＝ 1.0011000 ；

❖ 例4： $[0]_{补}$＝？

二、补码表示法

- 2、 0 的表示： 0 的补码表示形式是唯一的，即分别按照正数和负数表示均一致，为全零。
  - $[+0]_{补} = 00\cdots0$　　$[-0]_{补} = 00\cdots0$
- 3、表示范围：对于 n ＋ 1 位补码机器数 X，它所能表示的数据范围为：
  - 定点整数：$-2^n \leqslant X \leqslant 2^n - 1$
  - 定点小数：$-1 \leqslant X \leqslant 1 - 2^{-n}$
- 计算机中的整型数据（int）均用补码来表示。

包括 1 位符号位，n 位数值位

思考题：

- 32 位微机中， C 程序定义了两个变量 x ， y :
- Int x;
- Unsigned int y;
- 问： x ， y 的数据取值范围?
- x 是 32 位补码表示的整数： $-2^{31} \leq X \leq 2^{31}-1$
- y 是 32 位无符号整数： $0 \leq X \leq 2^{32}-1$

4、数学表示

:

定点整数

$$[X]_{补} = \begin{cases} X & X \geq 0 \\ 2^{n+1} + X & X < 0 \end{cases}$$

【X】补 = 2^{n+1}+X （mod 2^{n+1}）

定点小数

$$[X]_{补} = \begin{cases} X & X \geq 0 \\ 2 + X & X < 0 \end{cases}$$

模2补码

【X】补 = 2+X （mod 2）

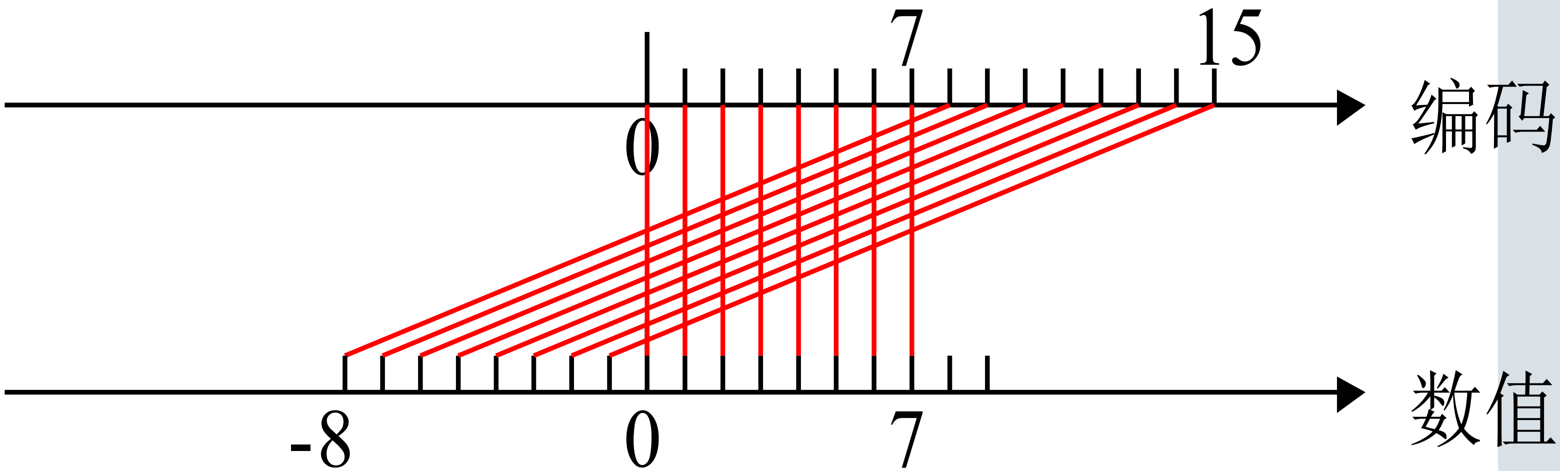
二、补码表示法

❖ 4 位补码机器数（整数）对应的真值

机器数	原码真值	补码真值
0000	0	0
0001	+1	+1
0010	+2	+2
0011	+3	+3
0100	+4	+4
0101	+5	+5
0110	+6	+6
0111	+7	+7
1000	-0	-8
1001	-1	-7
1010	-2	-6
1011	-3	-5
1100	-4	-4
1101	-5	-3
1110	-6	-2
1111	-7	-1

二、补码表示法

- 4 位补码机器数（整数）在数轴上的表示
  - 补码机器数编码与真值的对应



三、反码表示法

- 1、表示方法：最高位为符号位，其他位为数值位。
  - 符号位：0 —正数，1 —负数。
  - 数值位：正数时，与绝对值相同；负数时，为绝对值取反。
- 对于定点整数：
  - 若 $X=+X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_反 = 0,X_1X_2\cdots\cdots X_n$；
  - 若 $X=-\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_反 = 1,\overline{X_1}\,\overline{X_2}\cdots\cdots\overline{X_n}$。
- 对于定点小数：
  - 若 $X=+0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$，则 $[X]_反 = 0.X_1X_2\cdots\cdots X_n$；

三、反码表示法

- 例 1： X=1011， Y ＝－ 1011，则：

  [X] $_{反}$＝ 0,1011 ______________； [Y] $_{反}$＝ 1,0100 ______________；

- 例 2： X=0.1101， Y ＝ － 0. 1101，则：

  0.1101 1.0010

  [X] $_{反}$＝______________； [Y] $_{反}$＝______________；

- 例 3： X=1011， Y ＝ － 0. 1101，求 X 和 Y 的 8 位反码机器数。

  0,0001011 1. 0010111

  [X] $_{反}$＝______________； [Y] $_{反}$＝______________；

- 例 4： [0] $_{反}$＝？

三、反码表示法

❖ 2、 0的表示：0 的反码表示有两种形式，即分别按照正数和负数表示。

- $[+0]_{反} = 00\cdots0$　　　$[-0]_{反} = 11\cdots1$

❖ 3、表示范围：对于n＋1位反码机器数X，它所能表示的数据范围为：

包括1位符号位，n位数值位

- 定点整数：$-(2^n-1) \leq X \leq 2$
- 定点小数：$-(1-2^{-n}) \leq X \leq 1-2^{-n}$

•思考：16位定点整数的反码表示范围？

三、反码表示法

❖4、数学表示：

定点整数

$$[X]_{反}=\begin{cases}X & X\geq 0\\ 2^{n+1}-1+X & X\leq 0\end{cases}$$

定点小数

$$[X]_{反}=\begin{cases}X & X\geq 0\\ 2-2^{-n}+X & X\leq 0\end{cases}$$

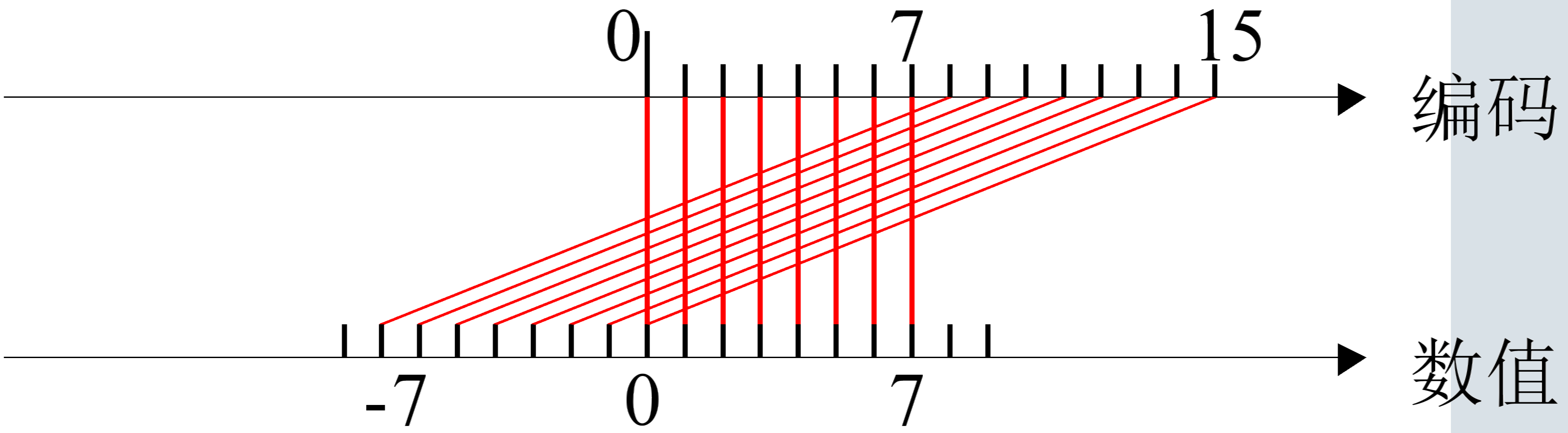
三、反码表示法

❖ 4 位反码机器数（整数）对应的真值

机器数	原码真值	补码真值	反码真值
0000	0	0	0
0001	+1	+1	+1
0010	+2	+2	+2
0011	+3	+3	+3
0100	+4	+4	+4
0101	+5	+5	+5
0110	+6	+6	+6
0111	+7	+7	+7
1000	-0	-8	-7
1001	-1	-7	-6
1010	-2	-6	-5
1011	-3	-5	-4
1100	-4	-4	-3
1101	-5	-3	-2
1110	-6	-2	-1
1111	-7	-1	-0

三、反码表示法

- 4 位反码机器数（整数）在数轴上的表示
  - 反码机器数编码与真值的对应



四、移码表示法

- **1、表示方法：**最高位为符号位，其他位为数值位。
  - 符号位：1 — 正数，0 — 负数。
  - 数值位：正数时，与绝对值相同；负数时，为绝对值取反后，末位加 1 。

移码表示：即为补码的符号位取反

- **对于定点整数：**
  - 若 $X=+X_1X_2\cdots\cdots X_n$ ，则 $[X]_{移}=1,X_1X_2\cdots\cdots X_n$ ；
  - 若 $X=-\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$ ，则 $[X]_{移}=0,X_1\ X_2\cdots\cdots X_n\ +1$ 。

四、移码表示法

- 例1： X=1011， Y＝－1011，则：

  [X]$_{移}$＝1，1011；[Y]$_{移}$＝0，0101；

- 例2： X=0.1101， Y＝－0.1101，则：

  1.1101 0.0011

  [X]$_{移}$＝________；[Y]$_{移}$＝________；

- 例3： X=1011， Y＝－0.1101，求X和Y的8位移码机器数。

  1，0001011 0，0011000

  [X]$_{移}$＝________；[Y]$_{移}$＝________；

- 例4： [0]$_{移}$＝？

四、移码表示法

- 2 、 0 的表示： 0 的移码表示形式是唯一的，即分别按照正数和负数表示均一致。
  - $[+0]_{移} = 10\cdots0$ $[-0]_{移} = 10\cdots0$
- 3 、表示范围：对于 n + 1 位移码数 X ，它所能表示的数据范围为：

包括 1 位符号位， n 位数值位

  - 定点整数： $-2^n \leq X \leq 2^n-1$

•思考： 16 位定点整数的移码表示范围?

- 移码通常作为浮点数的阶码。

四、移码表示法

❖4、数学表示

：

定点整数

$$[X]_{移} = 2^n + X$$

❖又称增码

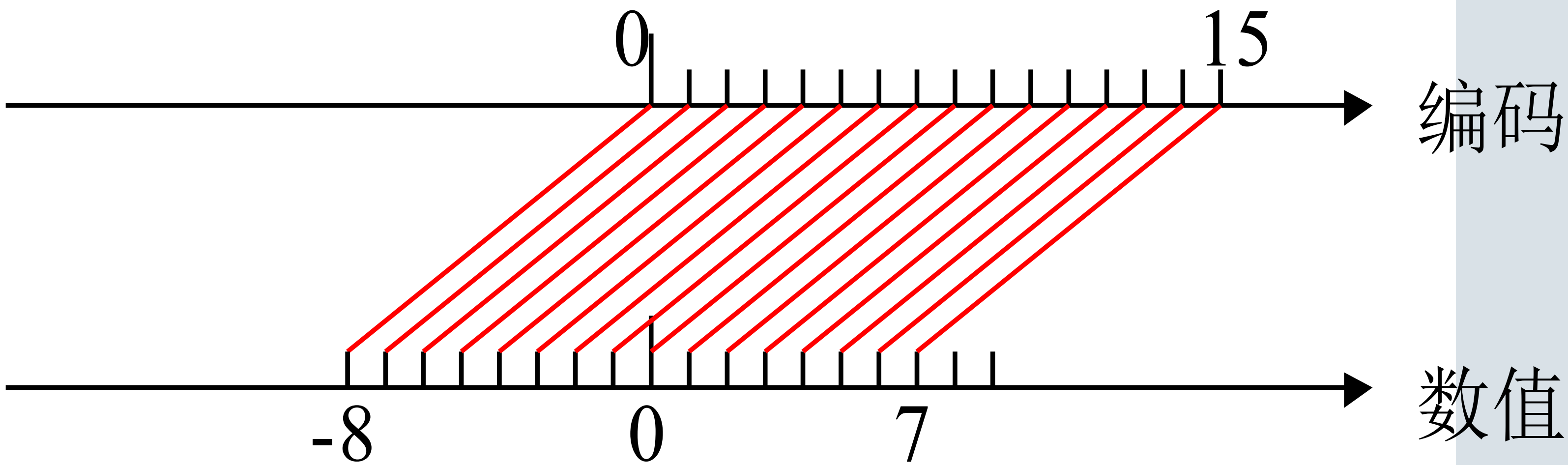
四、移码表示法

❖ 4 位移码机器数（整数）对应的真值

机器数	原码真值	补码真值	反码真值	移码真值
0000	0	0	0	-8
0001	+1	+1	+1	-7
0010	+2	+2	+2	-6
0011	+3	+3	+3	-5
0100	+4	+4	+4	-4
0101	+5	+5	+5	-3
0110	+6	+6	+6	-2
0111	+7	+7	+7	-1
1000	-0	-8	-7	0
1001	-1	-7	-6	+1
1010	-2	-6	-5	+2
1011	-3	-5	-4	+3
1100	-4	-4	-3	+4
1101	-5	-3	-2	+5
1110	-6	-2	-1	+6
1111	-7	-1	0	+7

四、移码表示法

- 4 位移码机器数（整数）在数轴上的表示
  - 移码机器数编码与真值的对应



四种定点机器数的表示

真值	$X=+\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$	$X=-\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$
原码	$[X]_原=\ 0\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$	$[X]_原=\ 1\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$
反码	$[X]_反=\ 0\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$	$[X]_反=\ 1\ \overline{X_1}\overline{X_2}\cdots\cdots\overline{X_n}$
补码	$[X]_补=\ 0\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$	$[X]_补=\ 1\ \overline{X_1}\overline{X_2}\cdots\cdots\overline{X_n}+1$
移码	$[X]_移=\ 1\ X_1X_2\cdots\cdots X_n$	$[X]_移=\ 0\ \overline{X_1}\overline{X_2}\cdots\cdots\overline{X_n}+1$

四种定点机器数，0 的表示

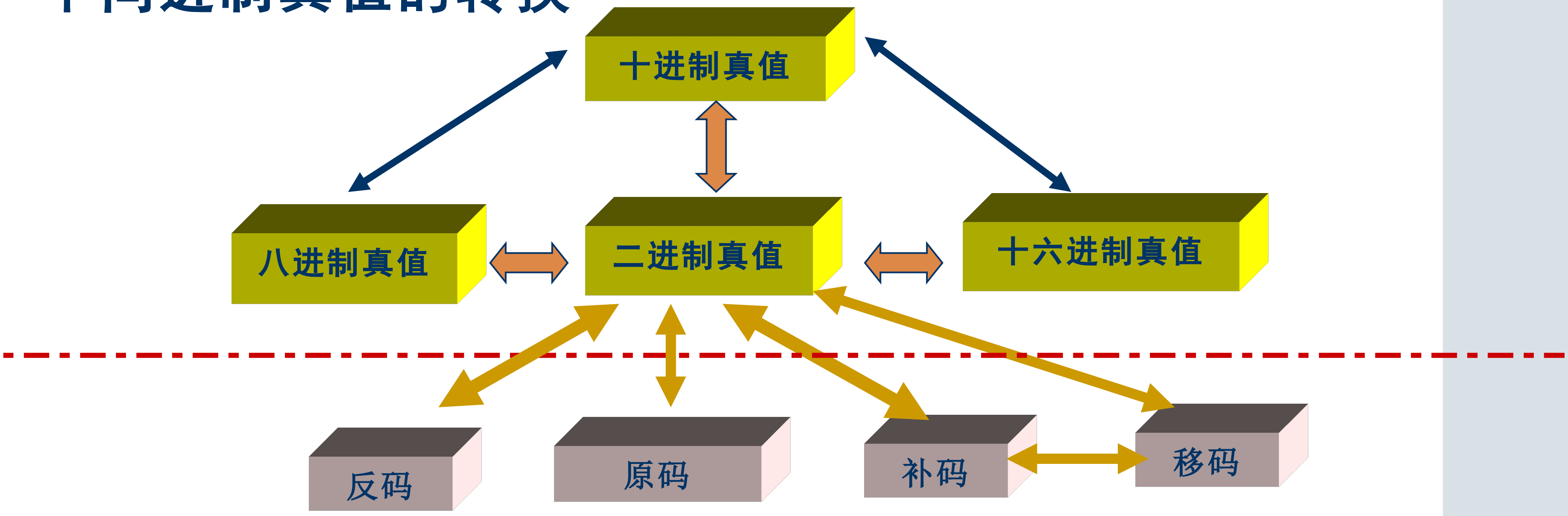
真值	X=+ 0	X=− 0
原码	$[X]_{原}$= 0 00……0	$[X]_{原}$= 1 00……0
反码	$[X]_{反}$= 0 00……0	$[X]_{反}$= 1 11……1
补码	$[X]_{补}$= 0 00……0	
移码	$[X]_{移}$= 1 00……0	

四种定点机器数的表示范围（n+1 位机器数）

	定点整数	定点小数
原码	$-(2^n-1) \leqslant X \leqslant 2^n-1$	$-(1-2^{-n}) \leqslant X \leqslant 1-2^{-n}$
反码	$-(2^n-1) \leqslant X \leqslant 2^n-1$	$-(1-2^{-n}) \leqslant X \leqslant 1-2^{-n}$
补码	$-2^n \leqslant X \leqslant 2^n-1$	$-1 \leqslant X \leqslant 1-2^{-n}$
移码	$-2^n \leqslant X \leqslant 2^n-1$	$-1 \leqslant X \leqslant 1-2^{-n}$

五、定点机器数转换

不同进制真值的转换



机器码的转换关系

五、定点机器数转换

- 机器数转换为真值
  - ① 机器数的符号位→真值的正负
  - ② 机器数的定义和表示→ 真值的绝对值
- 机器数之间的相互转换
  - 最简单的方法：先求出它们的真值，然后再转换为另一种表示方法。

课堂练习

- 1、已知$[X]_{补}$＝1.1010，求 －0.0110 ?

  $[X]_{原}$＝ 1.0110

  $[X]_{反}$＝ 1.1001

  $[X]_{移}$＝ 0.1010

- 2、求以下各机器数的十进制真值：

课堂练习

$[X]_{原}$ = 1,0000000 ，则 X = ？

$[X]_{补}$ = 1,0000000 ，则 X = ？

$[X]_{反}$ = 1,0000000 ，则 X = ？

$[X]_{移}$ = 1,0000000 ，则 X = ？

$[X]_{原}$ = 1,1101 ，则 X = ？

$[X]_{补}$ = 1,1101 ，则 X = ？

$[X]_{反}$ = 1,1101 ，则 X = ？

$[X]_{移}$ = 1,1101 ，则 X = ？

$[X]_{原}$ = 0,1000 ，则 X = ？

→

$-(1111111 + 1)_2$

X = - 0

X = （ - 128 ）$_{10}$

X = （ -127 ）$_{10}$

$-(1111111)_2$

X = 0

X = - 1101B

X = - 0011B

X = - 0010 B

X = +1101B

X = +1000 B

X = - 1000 B

X = +1000B

X = -1000 B

The End !