计算机中的数据表示

程晨闻

东南大学电气工程学院

- **数据的表示**
  - 二进制
  - 不同数据格式
  - 进制变换
  - BCD、ASCII、Unicode
- **小数的表示**
  - 定点数
  - 浮点数

- **在计算机内部，数据都是以二进制的形式存储和运算的。**

位 （bit）	字节 (byte)	字 (word)
存储数据的最小单位	计算机数据处理的基本单位	计算机进行数据处理时，一次存取、加工和传送的数据长度
0或1	1 byte = 8 bit	8位、16位、32位和64位
二进制中的一个位	每个字节由8个二进制位组成	决定了计算机数据处理的速度
每增加一位，所能表示的信息量就增加一倍	一个字节可存放一个ASCII码	字长越长，性能越好
要表示更多的信息，就得把多个位组合成一个整体	两个字节存放一个汉字国际码	衡量计算机性能的一个重要标识

➢ 机器数

– 在计算机内部，任何信息都以二进制代码表示(即0与1的组合来表示)。一个数在计算机中的表示形式，称为机器数。

➢ 真值

– 机器数所对应的原来的数值称为真值

- **原码**
  - 最高位代表符号(若为0，则代表正数，若为1，则代表负数)
  - 数值部分为真值的绝对值
- **反码**
  - 正数的反码不变
  - 负数的反码是对应正数的原码取反
- **补码（计算机中使用的编码）**
  - 正数的补码不变
  - 负数的补码是其对应正数的反码+1

计算机中的数据表示

十进制	+73	–73	+127	–127	+0	–0
二进制(真值)	+1001001B	–1001001B	+1111111B	–1111111B	+0000000B	–0000000B
原码	01001001B	11001001B	01111111B	11111111B	0000000B	10000000B
反码	01001001B	10110110B	01111111B	10000000B	00000000B	11111111B
补码	01001001B	10110111B	01111111B	10000001B	0000000B	00000000B

➢ 十进制与二进制之间的转换

例如把52换算成二进制数，计算结果如图：

```
2| 52 ……0
 2| 26 ……0
  2| 13 ……1
   2| 6 ……0
    2| 3 ……1
     1 ……1
```

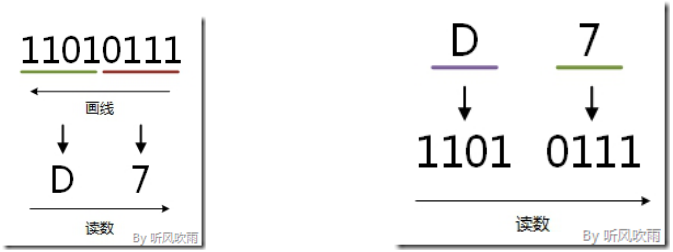
例如要把-52换算成二进制：

1.先取得52的二进制：00110100

2.对所得到的二进制数取反：11001011

3.将取反后的数值加一即可：11001100

➢ 二进制与十六进制之间的转换



➢ 十进制和十六进制转换

C语言中的写法

```
//合法的二进制
int a = 0b101; //换算成十进制为 5
int b = -0b110010; //换算成十进制为 -50
int c = 0B100001; //换算成十进制为 33
//合法的八进制数
int a = 015; //换算成十进制为 13
int b = -0101; //换算成十进制为 -65
int c = 0177777; //换算成十进制为 65535
//合法的十六进制
int a = 0X2A; //换算成十进制为 42
int b = -0XA0; //换算成十进制为 -160
int c = 0xffff; //换算成十进制为 65535
```

- 使用计算器进行数制转换
- MODE
- BASE-N
- SHIFT + DEC十进制
- SHIFT + HEX十六进制
- SHIFT + BIN二进制

➢ BCD（Binary-coded decimal）码

– 常用8421 BCD码

– 压缩型BCD码

– Gray码(相邻的2个数只有一位不同)

自然二进制码与格雷码的对照表：

十进制数	自然二进制数	格雷码	十进制数	自然二进制数	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

➢ ASCII码表

– 7位二进制编码。

– 表示字母、数字字符和控制字符

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040		Space	64	40	100	@	@	96	60	140	`	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	!	!	65	41	101	A	A	97	61	141	a	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	"	"	66	42	102	B	B	98	62	142	b	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	#	#	67	43	103	C	C	99	63	143	c	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	$	$	68	44	104	D	D	100	64	144	d	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	%	%	69	45	105	E	E	101	65	145	e	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&	&	70	46	106	F	F	102	66	146	f	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	'	'	71	47	107	G	G	103	67	147	g	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	(	(	72	48	110	H	H	104	68	150	h	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051	)	)	73	49	111	I	I	105	69	151	i	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	*	*	74	4A	112	J	J	106	6A	152	j	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	+	+	75	4B	113	K	K	107	6B	153	k	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	,	,	76	4C	114	L	L	108	6C	154	l	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	-	-	77	4D	115	M	M	109	6D	155	m	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	.	.	78	4E	116	N	N	110	6E	156	n	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	/	/	79	4F	117	O	O	111	6F	157	o	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	0	0	80	50	120	P	P	112	70	160	p	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	1	1	81	51	121	Q	Q	113	71	161	q	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	2	2	82	52	122	R	R	114	72	162	r	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	3	3	83	53	123	S	S	115	73	163	s	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	4	4	84	54	124	T	T	116	74	164	t	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	5	5	85	55	125	U	U	117	75	165	u	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	6	6	86	56	126	V	V	118	76	166	v	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	7	7	87	57	127	W	W	119	77	167	w	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	8	8	88	58	130	X	X	120	78	170	x	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	9	9	89	59	131	Y	Y	121	79	171	y	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	:	:	90	5A	132	Z	Z	122	7A	172	z	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	;	;	91	5B	133	[	[	123	7B	173	{	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	<	<	92	5C	134	\	\	124	7C	174			|
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	=	=	93	5D	135	]	]	125	7D	175	}	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	>	>	94	5E	136	^	^	126	7E	176	~	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	?	?	95	5F	137	_	_	127	7F	177	&#127;	DEL

Source: www.LookupTables.com

Unicode

- 16位编码
- 对世界上所有语言大部分字符进行编码
- **https://unicode-table.com/en/#control-character**

➢ 32位ARM C语言编程中所用的数据类型

数据类型	位数	范围（有符号）	范围（无符号）
char,int8_t,uint8_t	8	-128 – 127	0 – 255
short, int16_t, uint16_t	16	-32768 – 32767	0 – 65535
int, int32_t, uint32_t	32	-2^31 – 2^31-1	0 – 2^32 -1
long	32	-2^31 – 2^31-1	0 – 2^32 -1
Long long, int64_t, uint64_t	64	-2^63 – 2^63-1	0 – 2^64 -1
float	32	-3.403*10^38 – 3.403*10^38	
Double, long double	64	-1.798*10^308 – 1.798*10^308	

➢ 小数的表示方法

– 直观的小数表示法

❑用10000表示10.000，10001表示10.001

❑用10000表示100.00，10001表示100.01

❑……

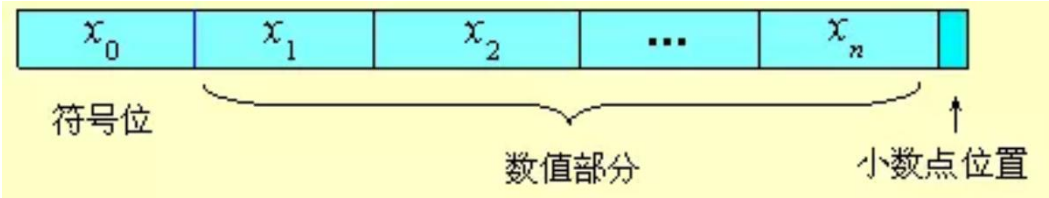
❑表示方法自己定义，不统一，注意取值范围

❑加减运算，不受影响

❑乘除运算，受影响，需要设计额外的乘除法

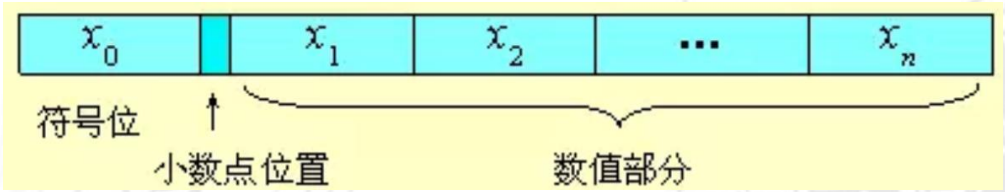
– 定点数

- **约定数值的小数点固定在某一位置，称为定点表示法，简称为定点数。**



Q*f*：称作“Q 格式”，Qn 表示 n 个小数字。

纯小数：



– 定点数

- 相当于将一个小数放大2^n倍后存储；
- 将乘除运算，转换为移位运算；

32位各个定点Q格式表达的数据精度和范围：

Data Type	Range		Resolution/Precision
	Min	Max	
_iq30	-2	1.999 999 999	0.000 000 001
_iq29	-4	3.999 999 998	0.000 000 002
_iq28	-8	7.999 999 996	0.000 000 004
_iq27	-16	15.999 999 993	0.000 000 007
_iq26	-32	31.999 999 985	0.000 000 015
_iq25	-64	63.999 999 970	0.000 000 030
_iq24	-128	127.999 999 940	0.000 000 060
_iq23	-256	255.999 999 981	0.000 000 119
_iq22	-512	511.999 999 762	0.000 000 238
_iq21	-1024	1023.999 999 523	0.000 000 477
_iq20	-2048	2047.999 999 046	0.000 000 954
_iq19	-4096	4095.999 998 093	0.000 001 907
_iq18	-8192	8191.999 996 185	0.000 003 815
_iq17	-16384	16383.999 992 371	0.000 007 629
_iq16	-32768	32767.999 984 741	0.000 015 259
_iq15	-65536	65535.999 969 482	0.000 030 518
_iq14	-131072	131071.999 938 965	0.000 061 035
_iq13	-262144	262143.999 877 930	0.000 122 070

– 定点数

- 无论是什么Q格式，其实都是long类型。

```
typedef   long    _iq;     /* Fixed point data type: GLOBAL_Q format */
typedef   long    _iq30;   /* Fixed point data type: Q30 format      */
typedef   long    _iq29;   /* Fixed point data type: Q29 format      */
typedef   long    _iq28;   /* Fixed point data type: Q28 format      */
typedef   long    _iq27;   /* Fixed point data type: Q27 format      */
typedef   long    _iq26;   /* Fixed point data type: Q26 format      */
typedef   long    _iq25;   /* Fixed point data type: Q25 format      */
typedef   long    _iq24;   /* Fixed point data type: Q24 format      */
typedef   long    _iq23;   /* Fixed point data type: Q23 format      */
typedef   long    _iq22;   /* Fixed point data type: Q22 format      */
typedef   long    _iq21;   /* Fixed point data type: Q21 format      */
typedef   long    _iq20;   /* Fixed point data type: Q20 format      */
typedef   long    _iq19;   /* Fixed point data type: Q19 format      */
typedef   long    _iq18;   /* Fixed point data type: Q18 format      */
typedef   long    _iq17;   /* Fixed point data type: Q17 format      */
typedef   long    _iq16;   /* Fixed point data type: Q16 format      */
typedef   long    _iq15;   /* Fixed point data type: Q15 format      */
typedef   long    _iq14;   /* Fixed point data type: Q14 format      */
typedef   long    _iq13;   /* Fixed point data type: Q13 format      */
typedef   long    _iq12;   /* Fixed point data type: Q12 format      */
typedef   long    _iq11;   /* Fixed point data type: Q11 format      */
typedef   long    _iq10;   /* Fixed point data type: Q10 format      */
typedef   long    _iq9;    /* Fixed point data type: Q9 format       */
typedef   long    _iq8;    /* Fixed point data type: Q8 format       */
typedef   long    _iq7;    /* Fixed point data type: Q7 format       */
typedef   long    _iq6;    /* Fixed point data type: Q6 format       */
typedef   long    _iq5;    /* Fixed point data type: Q5 format       */
typedef   long    _iq4;    /* Fixed point data type: Q4 format       */
typedef   long    _iq3;    /* Fixed point data type: Q3 format       */
typedef   long    _iq2;    /* Fixed point data type: Q2 format       */
typedef   long    _iq1;    /* Fixed point data type: Q1 format       */
```

➢ 使用IQMath库进行运算

Function Name	IQ Format	Execution Cycles	Accuracy (in bits)	Program Memory (words)	Input format	Output format	Remarks
Trigonometric Functions							
IQNasin	1-29	154		82 words	IQN	IQN	Note A
IQNsin	1-29	46	30 bits	49 words	IQN	IQN	
IQNsinPU	1-30	40	30 bits	41 words	IQN	IQN	
IQNacos	1-29	170		93 words	IQN	IQN	Note A
IQNcos	1-29	44	30 bits	47 words	IQN	IQN	
IQNcosPU	1-30	38	29 bits	39 words	IQN	IQN	
IQNatan2	1-29	109	26 bits	123 words	IQN	IQN	
IQNatan2PU	1-29	117	27 bits	136 words	IQN	IQN	
IQatan	1-29	109	25 bits	123 words	IQN	IQN	
Mathematical Functions							
IQNexp	1-29	190		61 words	IQN	IQN	Note A
IQNsqrt	1-30	63	29 bits	66 words	IQN	IQN	
IQNisqrt	1-30	64	29 bits	69 words	IQN	IQN	
IQNmag	1-30	86	29 bits	96 words	IQN	IQN	
Arithmetic Functions							
IQNmpy	1-30	~ 6	32 bits	NA	IQN*IQN	IQN	INTRINSIC
IQNrmpy	1-30	17	32 bits	13 words	IQN*IQN	IQN	
IQNrsmpy	1-30	21	32 bits	21 words	IQN*IQN	IQN	
IQNmpyI32	1-30	~ 4	32 bits	NA	IQN*long	IQN	C-MACRO
IQNmpyI32int	1-30	22	32 bits	16 words	IQN*long	long	
IQNmpyI32frac	1-30	24	32 bits	20 words	IQN*long	IQN	
IQNmpyIQX		~ 7	32 bits	NA	IQN*IQN	IQN	INTRINSIC
IQNdiv	1-30	63	28 bits	71 words	IQN/IQN	IQN	

➢ 小数的表示方法

– 浮点数

- 小数点位置可以任意浮动，称为浮点表示法，简称为浮点数;
- **符号位+指数+尾数。**

float的规格化表示为：$\pm 1.f \times 2^{E-127}$，其中，f是尾数，E是指数。

31	23	0
±	8位指数E	尾数f：规格化形式的整数位为固定为1，可以省略，所以能表示24位
	指数E = 真值 + 偏移值 偏移值 = 127	尾数 = 真值（原码）

比如十进制数123.125，其二进制表示为：1111011.001，规格化表示为：1.111011001×2^6
也就是$1.111011001 \times 2^{133-127}$，$f$= 11101100 1，$E$ = 133 = 10000101，图示如下：

+	E = 6 + 127 = 133	尾数：111011001（后面补0到23位）
0	1 0 0 0 0 1 0 1	1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

- 浮点数使用方便
- 运算非常复杂
- 需要特殊的浮点运算单元，一般只有高端CPU中才会有，成本较高，而且智能处理加法、减法和乘法
- 其他数学计算，比如除法，开方，三角函数等，则计算更加复杂耗时
- 定点数与浮点数之间相互转换，也消耗计算时间

➢ 作业

1. 冯·诺伊曼计算机的基本设计思想是什么？哈佛结构的计算机，与冯·诺伊曼计算机相比，有哪些优缺点?

2. 什么是总线，总线通常有哪3组信号？各组信号的作用是什么?

3. 1）计算机的字长是什么含义？2）简述处理器中的流水线技术。

4. 将下列十六进制无符号整数，转换为十进制真值。

1) 0FFH　　2）0H　　3）5EH　　4）EFH

5. 如果上题中的十六进制数为8位有符号整数，请将其转换位十进制真值

6. 将下列十进制数转换为压缩BCD码

1）12　　2）24　　3）68　　4）99

7. 将下列二级制补码表示的有符号整数转换为十进制真值

1）0000 0000b　　2）0111 1111b　　3）1000 0001b　　4）1100 0111b