通信系统原理教程

第10讲 模拟信号的数字化之三

通信教研室 杨春萍

本讲内容

- 模拟信号的抽样
- 抽样信号的量化
- 脉冲编码调制
- 差分脉冲编码调制
- 增量调制

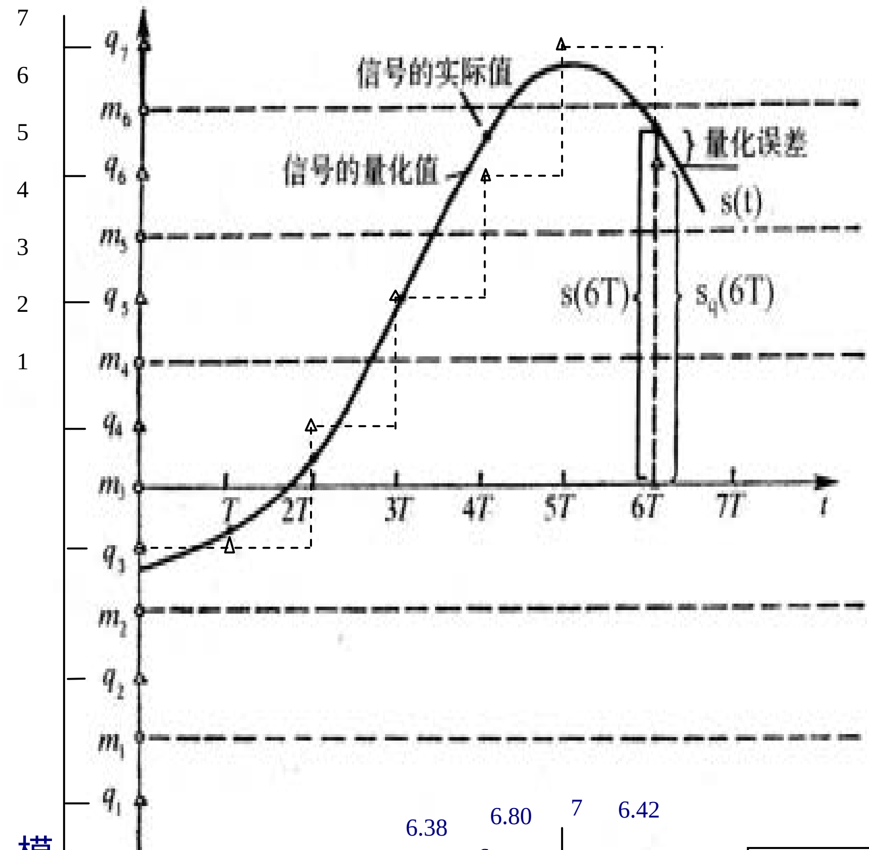
脉冲编码调制

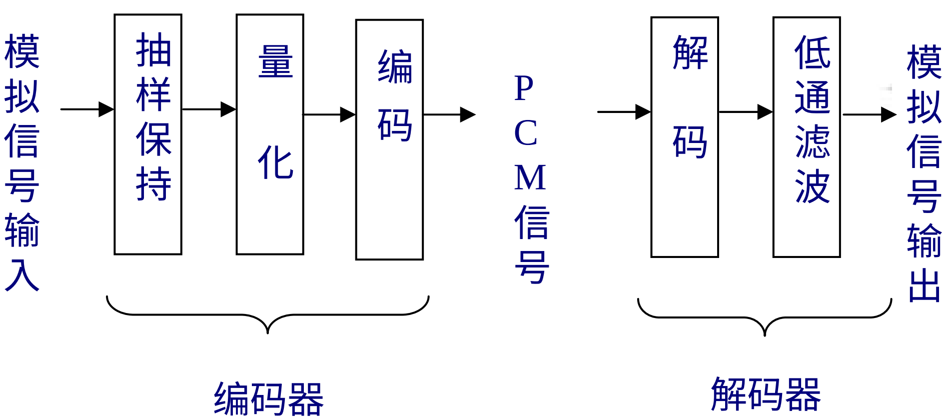
4.4.1脉冲编码调制（PCM）

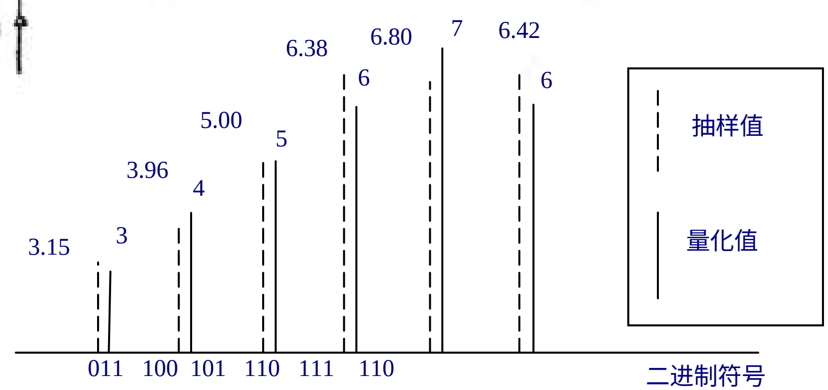
- 抽样 → 量化 → 编码
- 例：见右图

  3.15 → 3 → 011

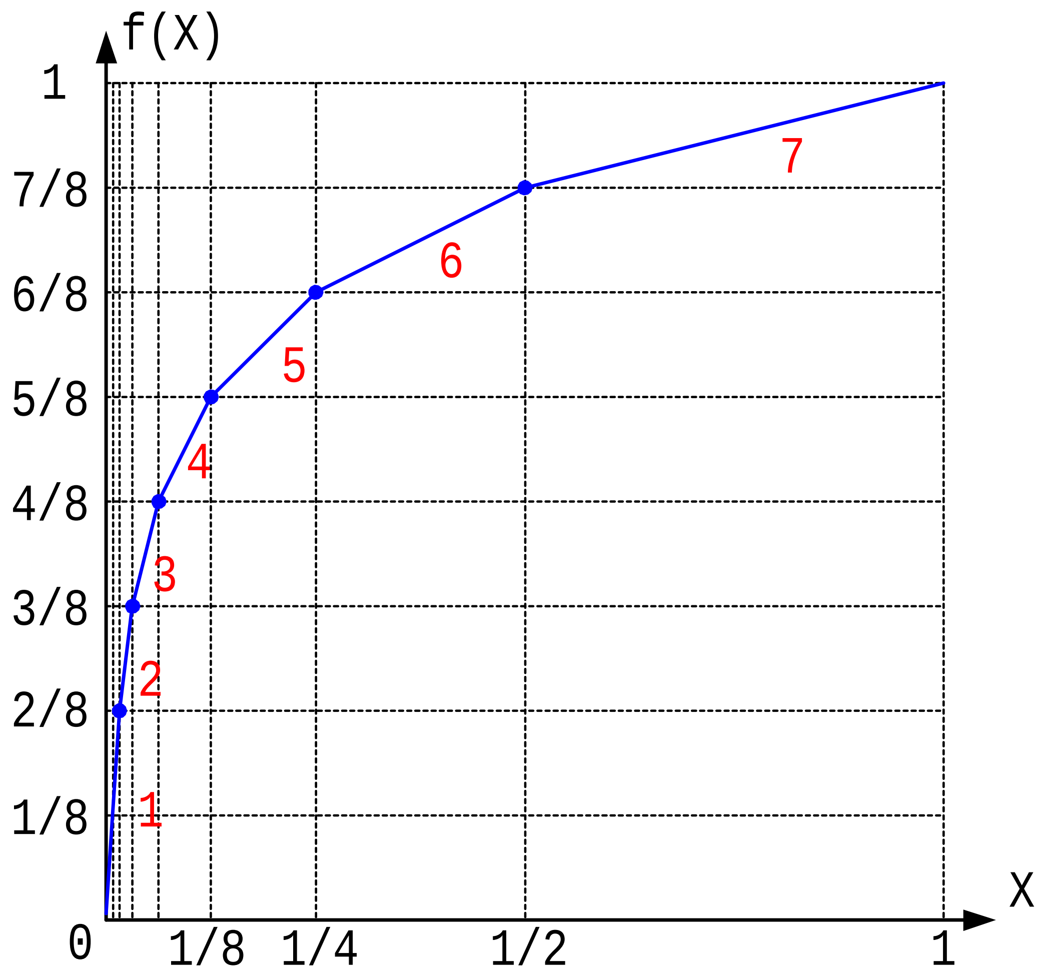
  3.96 → 4 → 100
- 方框图：







A律对数压缩特性的十三折线法近似



4.4.2 自然二进制码和折叠二进制码

量化值序号	量化电压极性	自然二进制码	折叠二进制码
15	正极性	1111	1111
14		1110	1110
13		1101	1101
12		1100	1100
11		1011	1011
10		1010	1010
9		1001	1001
8		1000	1000
7	负极性	0111	0000
6		0110	0001
5		0101	0010
4		0100	0011
3		0011	0100
2		0010	0101
1		0001	0110
0		0000	0111

- 折叠二进制码的特点：
  - 有映像关系，最高位可以表示极性，使编码电路简化；
  - 误码对小电压影响小，可减小语音信号平均量化噪声。

□13折线法中采用的折叠码

- 共8位：c_1至 c_8
  - □ c_1：极性
  - □ $c_2 \sim c_4$：段落码 — 8种段落斜率
  - □ $c_5 \sim c_8$：段内码 — 16个量化电平

段落序号	段落码 $c_2 c_3 c_4$
8	111
7	110
6	101
5	100
4	011
3	010
2	001
1	000

量化值	段内码 $c_5 c_6 c_7 c_8$
15	1111
14	1110
14	1101
12	1100
11	1011
10	1010
9	1001
8	1000
7	0111
6	0110
5	0101
4	0100
3	0011
2	0010
1	0001
0	0000

a） A律PCM编码规则

采用8位编码 $c_1\ c_2\ c_3\ c_4\ c_5\ c_6\ c_7\ c_8$

c1

极性码：

0：负极性信号；

1：正极性信号。

c2 c3 c4

段落码：

表示信号处于那一段折线上。

c5 c6 c7 c8

段内码：

表示段内16级均匀量化电平值。

b） 最小量化间距

7位均匀量化：$\Delta'_{min} = \Delta = 1/2^7 = 1/127$;

13折线法： $\Delta_{min} = (1/2^7)(1/2^4) = 1/2048$;

$\Delta'_{min} / \Delta_{min} = 2^4 = 16$ （dB），对小信号，SNR改善24dB。

13折线法的有关参数

段落号：

	0 (000)	1 (001)	2 (010)	3 (011)	4 (100)	5 (101)	6 (110)	7 (111)
(X)	0	$1/2^7$	$1/2^6$	$1/2^5$	$1/2^4$	$1/2^3$	$1/2^2$	$1/2^1$
	～$1/2^7$	～$1/2^6$	～$1/2^5$	～$1/2^4$	～$1/2^3$	～$1/2^2$	～ $1/2^1$	～ 1

量化台阶：

2	2	4	8	16	32	64	128

起始电平：

0	32	64	128	256	512	1024	2048

终止电平：

32	64	128	256	512	1024	2048	4096

例：设输入信号幅度：X＝ 1250*(Δ_{min}/2)

信号值为正，符号为取：1

因为 1024 < X < 2048，处于第6段：段落号：110

量化台阶： Δ＝64

因为 （1250－1024）/ 64 = 3.53

取整后得：3，对应段内电平码：0011

编码后输出为：1 110 0011

解码后输出值：Y＝＋（1024 ＋ 3*64）+ 64/2 =1248

实际量化误差：X－Y = 1250 － 1248 ＝ 2

注：64/2 为第6段内量化阶距的二分之一。

对数PCM与线PCM之间的变换

- 实现变换的必要性

对数PCM不能直接进行算术运算，当需作信号处理时（如语音信号压缩），要求作对数PCM到线性PCM间的变换。

线性PCM采用折叠二进制码（FBC：特性参见P130）表示：

信号为正值时：符号为“1”；

信号为负值时：符号为“0”。

- 变换方法

（1）直接计算　对数PCM -> Y -> 线性PCM；

线性PCM -> Y -> 对数PCM。

因为对数PCM最大值共有4096个单位，采用线性PCM表示时，连符号位共需13位。

- 变换方法(续前)

（2）查表换算　设X > 0时，Φ＝1；X < 0时，　Φ＝0；“*”表示任意0或1

根据线性PCM与对数PCM间的关系，可列表如下：

信号取值范围	线性PCM	对数PCM
当1X1 < 32时，	Φ0000000WXYZ1	Φ000WXYZ
当 32 <= 1X1 < 64时，	Φ0000001WXYZ1	Φ001WXYZ
当 64 <= 1X1 < 128时，	Φ000001WXYZ1*	Φ010WXYZ
当128 <= 1X1 < 256时，	Φ00001WXYZ1**	Φ011WXYZ
当256 <= 1X1 < 512时，	Φ0001WXYZ1***	Φ100WXYZ
当512 <= 1X1 < 1024时，	Φ001WXYZ1****	Φ101WXYZ
当1024 <= 1X1 < 2048时，	Φ01WXYZ1*****	Φ110WXYZ
当2048 <= 1X1 <＝4096时，	Φ1WXYZ1******	Φ111WXYZ

4.4.3 PCM系统的量化噪声

在4.3.2节中，已求出均匀量化时的信号量噪比为 $S/N_q = M^2$

当采用N位二进制码编码时，$M = 2^N$, 故有

$$S/N_q = 2^{2N}$$

由抽样定理，若信号为限制在 f_H的低通信号，则抽样速率不应低于每秒 $2f_H$次。

对于PCM系统，这相当于要求传输速率 $\geq 2Nf_H$ b/s，故要求系统带宽 $B = Nf_H$，即要求：$N = B/f_H$，代入上式，得到

$$S/Nq = 2^{2(B/f_H)}$$

上式表明，PCM系统的输出信号量噪比随系统的带宽*B*按指数规律增长。

信道误码对信噪比的影响

- 量化误差和误码的影响

设量化误差为：e_q，其概率密度函数，$p(e_q)$；

误码造成的误差：e_t，其概率密度函数，$p(e_t)$；

由e_q和e_t的统计独立性，并利用e_q和e_t均值为零的特点，可得

$$\sigma_{\mathrm{n}}^2=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\left(e_q+e_t\right)^2 p(e_q e_t)de_q de_t=\sigma_q^2+\sigma_t^2$$

即量化误差与误码造成的误差对噪声功率的影响可分别计算。

（1）均匀量化噪声功率

$$\sigma_{\mathrm{q}}^2=\frac{\Delta^2}{12}$$

量化误差和误码的影响（续前）

（2）误码噪声功率

设误码的影响使量化电平由Y_i变为Y_j，则

$$\sigma_t^2 = E\left[e_t^2\right] = \sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{L}\left(y_i - y_j\right)^2 p\left(y_i y_j\right) = \sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{L}\left(y_i - y_j\right)^2 p\left(y_j / y_i\right) P\left(y_i\right)$$

若一个码组中两位及两位以上的误码可以忽略，则

$$p\left(y_j / y_i\right) = P_e$$

假定采用二进制码组，则码组长 n=log$_2$L，上式变为

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{\log_2 L}\left(y_i - y_j\right)^2 P_e p\left(y_i\right)$$

对自然二进码（NBC），设输入信号均匀分布，则量化电平等概

当第k位发生误码：

$0 \to 1$，$y_i - y_j = -2^{k-1}\Delta$

$1 \to 0$，$y_i - y_j = 2^{k-1}\Delta$

从而

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^{L} p(y_i) \sum_{k=1}^{\log_2 L} \left(2^{k-1}\Delta\right)^2 P_e = \sum_{i=1}^{L} \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{\log_2 L} 4^{k-1}\Delta^2 P_e = P_e\Delta^2 \sum_{k=1}^{\log_2 L} 4^{k-1}$$

$$= P_e\Delta^2 \frac{1-4^{k-1}}{1-4} = P_e\Delta^2 \frac{L^2-1}{3}$$

信号功率：

$$S = \int_{-V}^{V} X^2 p_X(X)dX = \int_{-V}^{V} X^2 \frac{1}{2V} dX = \frac{V^2}{3}$$

由均匀分布时量化噪声功率的分析，得：

$$\sigma_q^2 = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{V^2}{3L^2} \qquad V^2 = \frac{\Delta^2 L^2}{4}$$

从而 $S = \frac{L^2\Delta^2}{12}$ $\quad \sigma_n^2 = \sigma_q^2 + \sigma_t^2 = \frac{\Delta^2}{12} + P_e\Delta^2\frac{L^2-1}{3}$

信噪比 $SNR = \frac{S}{\sigma_n^2} = \frac{L^2}{1+4\left(L^2-1\right)P_e}$

特殊情况：

当**Pe**很小时，量化噪声起主要作用，

L 增大 **->** **SNR**增大；

当**Pe**很大时，误码引起的噪声起主要作用，

SNR $\propto$ **1/Pe**

返回