通信系统原理教程

第15讲 基带数字信号的表示和传输之四

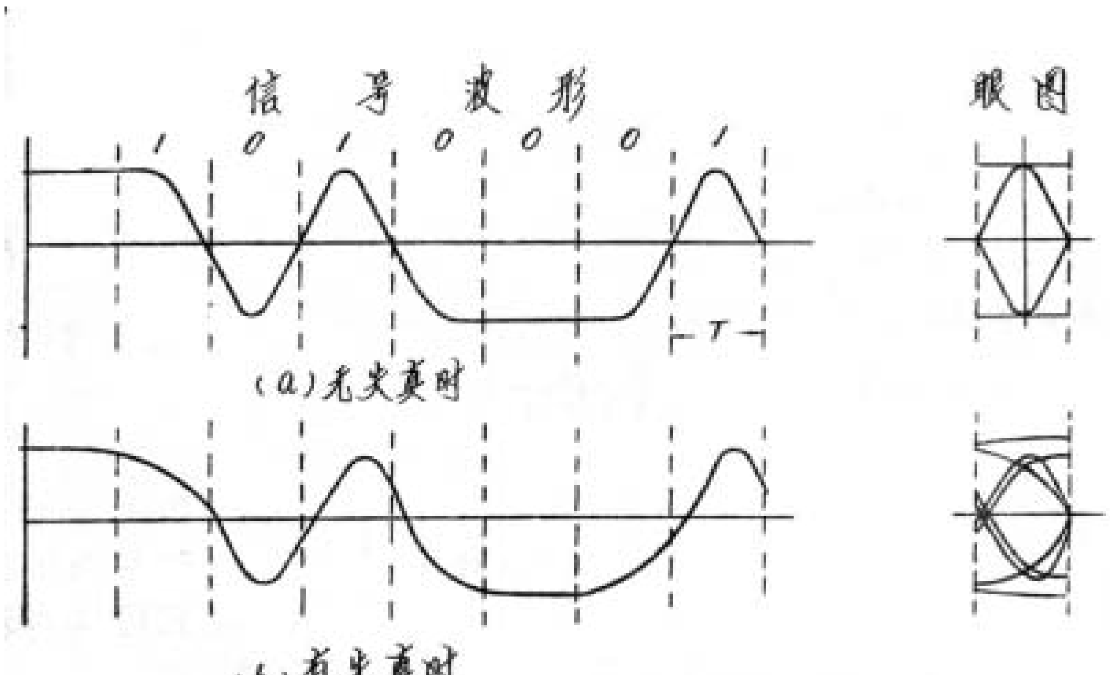
通信教研室 杨春萍

本讲内容

- 概述
- 字符的编码方法
- 基带数字信号的波形
- 基带数字信号的传输码型
- 基带数字信号的频率特性
- 基带数字信号传输与码间干扰
- 眼图
- 时域均衡器

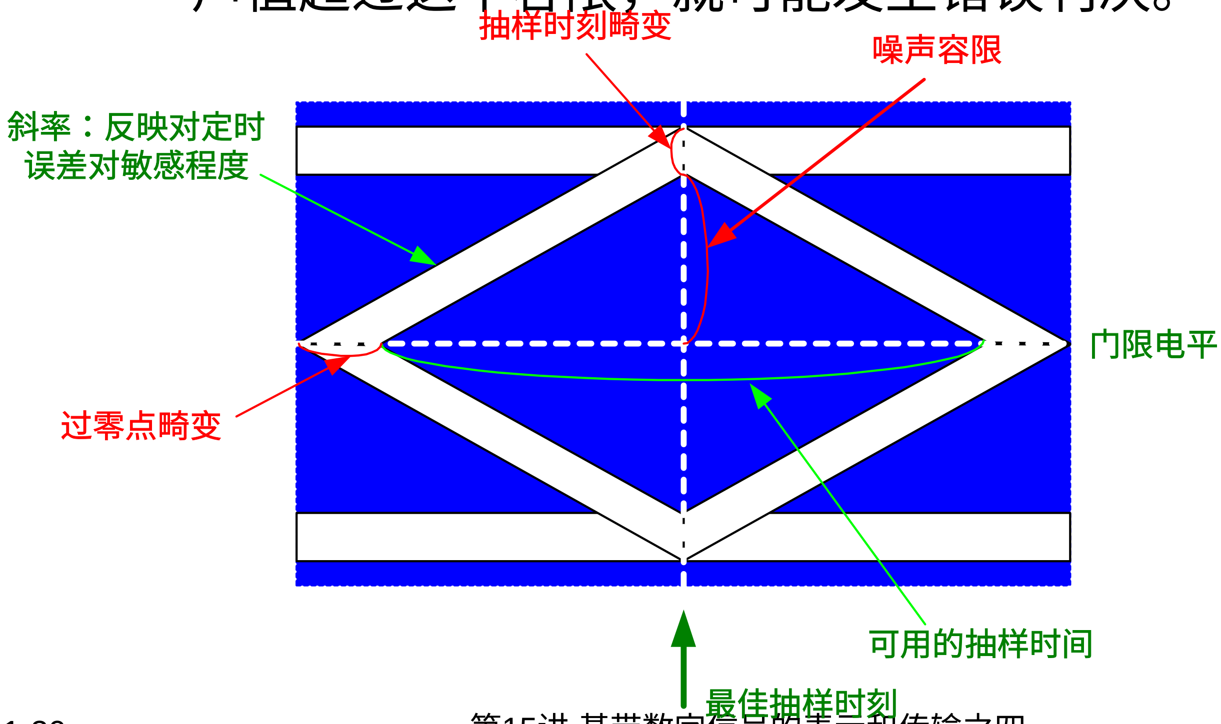
眼图

- 眼图 —用示波器实际观察接收信号质量的方法，可直观地观测分析码间串扰和噪声干扰对系统的影响。
- 对于二进制双极性信号，
  - 在理想情况下，显示有如一只睁开的眼睛：
  - 在有干扰情况下，“眼睛”张开的程度代表干扰的强弱。眼的张开度越大，轨迹越清晰，信道性能越好。



眼图模型

- “眼睛”张开最大的时刻是最佳抽样时刻；
- 中间水平横线表示最佳判决门限电平；
- 阴影区的垂直高度表示接收信号振幅失真范围；
- “眼睛”斜边的斜率表示抽样时刻对定时误差的灵敏度；
- 在无噪声情况下，“眼睛”张开的程度，即在抽样时刻的上下两阴影区间的距离之半，为噪声容限；若在抽样时刻的噪声值超过这个容限，就可能发生错误判决。



返回

时域均衡器

5.8.1 概述

- 均衡器的用途 – 对传输系统进行校正以减小码间串扰
- 均衡器的种类：频域均衡器（模拟）和时域均衡器（数字）
- 时域均衡器的实现 – 采用横向滤波器

5.8.2 横向滤波器基本原理

- 基带传输的总传输特性：$H(f) = G_T(f)\cdot C(f)\cdot G_R(f)$

  式中，$G_T(f)$ – 发送滤波器传输函数；

  $G_R(f)$ – 接收滤波器传输函数；

  $C(f)$ – 信道传输特性。

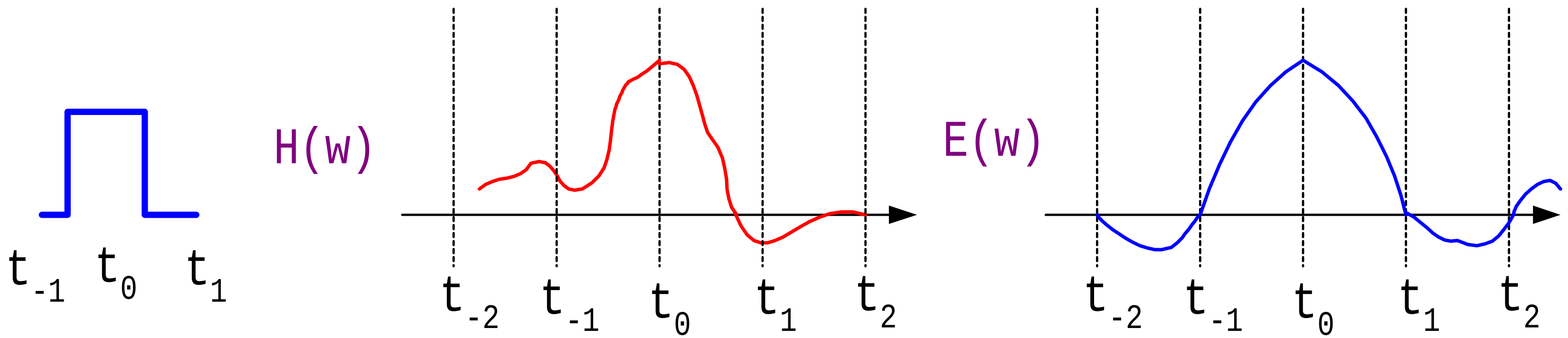
- 为了消除码间串扰，要求$H(f)$满足奈奎斯特准则。即：

在系统中插入一个均衡器，其传输特性为$E(f)$。上式变为：

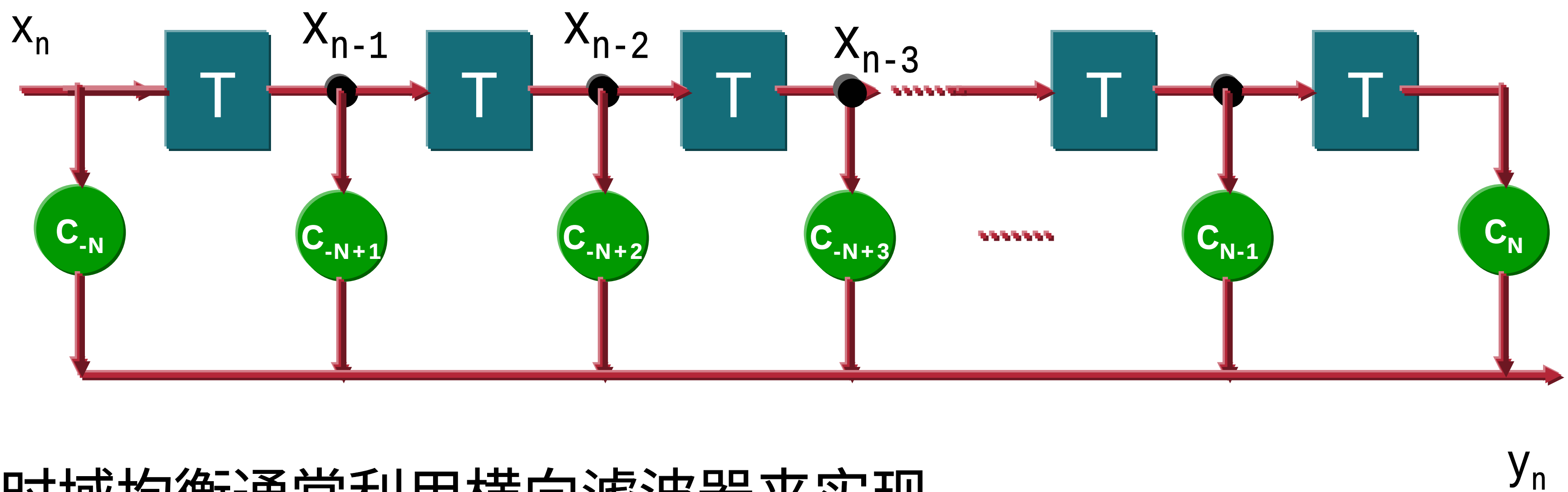
$$H(f) = G_T(f)\cdot C(f)\cdot G_R(f)\cdot E(f)$$

设计$E(f)$使总传输特性$H(f)$满足奈奎斯特准则。

1.时域均衡的基本原理



2.横向滤波器



时域均衡通常利用横向滤波器来实现

横向滤波器冲激响应： $e(t)=\sum_{i=-N}^{N} C_i\delta(t-iT)$

频率特性： $E(\omega)=\sum_{i=-N}^{N} C_i e^{-ji\omega T}$

设横向滤波器输入为x(t)，则输出

$$y(t)=x(t)*e(t)=x(t)*\sum_{i=-N}^{N}C_i\delta(t-iT)=\sum_{i=-N}^{N}C_i x(t-iT)$$

在采样时刻：t = kT + t_0

$$y(kT+t_0)=\sum_{i=-N}^{N}C_i x\left[(k-i)T+t_0\right]$$

上式可以简记为：

$$y_k=\sum_{i=-N}^{N}C_i x_{k-i} \qquad (*)$$

例：设横向滤波器均衡系统抽头的系数为：

$C_{-1}=-1/4$，$C_0=1$，$C_1=1/2$，

当发送单脉冲时，接收端输入：

$x_{-1}=1/4$，$x_0=1$，$x_1=-1/2$，

利用前面给出的（*)式：

$$y_k=\sum_{i=-N}^{N} C_i x_{k-i}$$

可得：$y_{-2}=-1/16$，$y_{-1}=0$，$y_0=5/4$，$y_1=0$，$y_2=-1/4$，

串扰值减少，一般地，当N足够大时，可使

当k不等于0时，y_k的绝对值足够地小。

2.横向滤波器系数的确定

设系统是一个非时变的系统，由无码间串扰的条件，要求

$$Y_{eq}(\omega)=\sum_{i=-\infty}^{\infty} Y\left(\omega+\frac{2\pi i}{T}\right)=T,\quad |\omega|\le\frac{\pi}{T}$$

其中

$$E\left(\omega+\frac{2\pi i}{T}\right)X\left(\omega+\frac{2\pi i}{T}\right)$$

由于 $E(\omega)=\sum_{i=-N}^{N} C_i e^{-ji\omega T}$ 是周期性的函数，即有

$$E\left(\omega+\frac{2\pi k}{T}\right)=\sum_{i=-N}^{N} C_i e^{-ji\left(\omega+\frac{2\pi k}{T}\right)}=\sum_{i=-N}^{N} C_i e^{-ji\omega T}=E(\omega)$$

从而：

$$Y_{eq}(\omega)=E(\omega)\sum_{i=-\infty}^{\infty} X\left(\omega+\frac{2\pi i}{T}\right)=T,\quad |\omega|\le\frac{\pi}{T}$$

定义：$$X_{eq}(\omega)=\sum_{i=-\infty}^{\infty}X\left(\omega+\frac{2\pi i}{T}\right)=T,\quad |\omega|\le\frac{\pi}{T}$$

则有

$$Y_{eq}(\omega)=E(\omega)X_{eq}(\omega),\quad |\omega|\le\frac{\pi}{T}$$

进而得

$$E(\omega)=\frac{T}{X_{eq}(\omega)},\quad |\omega|\le\frac{\pi}{T}$$

定义E(w)在其它区域的取值为 $|\omega|\le\pi/T$ 取值的 $2\pi/T$ 周期延拓，则E(w)成为周期函数，利用傅氏级数分解得：

$$E(\omega)=\sum_{i=-\infty}^{\infty}C_i e^{ji\omega T}$$

其中

$$C_i=\frac{1}{2\pi/T}\int_{-\pi/T}^{\pi/T}E(\omega)e^{ji\omega T}d\omega$$

2.定常信道横向滤波器系数的确定方法一

综上，可得求C_i的步骤：

(1) $x(t) \to X(\omega) \to X_{eq}(\omega)$

(2) $X_{eq}(\omega) \to E(\omega)$

(3) $E(\omega) \to C_i$

通常，C_i只取有限项，即用

$\sum_{i=-N}^{N} C_i e^{ji\omega T}$近似 $E(\omega) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_i e^{ji\omega T}$

相应地，横向滤波器只取有限项，

一般，有限项的横向滤波器还不能完全消除码间串扰。

3.定常信道横向滤波器系数的确定方法二

预置式自动均衡：传输数据前现发送一系列单个测试脉冲，调整并确定横向滤波器的系数，然后传输数据。

系数C_i确定方法：

（1）发送单个测试脉冲，然后观测k等于0前后的若干值；

（2）若 $y_k > 0$，$C_k - \Delta C \rightarrow C_k$ ；若 $y_k < 0$，$C_k + \Delta C \rightarrow C_k$

若 $y_k = 0$，C_k 保持不变。

（3）检查调整Ck后的yk（k不等于0）是否已足够小

是，调整结束；否，转（1）。

调整步长ΔC的选择：

ΔC 取值小，调整精度高，但时间长；

ΔC 取值大，调整精度低，但时间短。

4.自适应均衡

利用最小均方误差准则动态调整，边接收数据边进行均衡。

设发送序列为：$\{a_n\}$，接收序列为：$\{y_k\}$

均方畸变值：$$\overline{e^2}=E\left\{(y_k-a_k)^2\right\}\approx\frac{1}{2N+1}\sum_{k=-N}^{N}(y_k-a_k)^2$$

统计平均　　时间平均

由 $y_k=\sum_{i=-N}^{N}C_i x_{k-i}$ 得：

$$\overline{e^2}=E\left\{\left(\sum_{i=-N}^{N}C_i x_{k-i}-a_k\right)^2\right\}\approx\frac{1}{2N+1}\sum_{k=-N}^{N}\left(\sum_{i=-N}^{N}C_i x_{k-i}-a_k\right)^2$$

自适应均衡得目的，求C_i，使 $\overline{e^2}$ 达到最小。

令： $\frac{\partial \overline{e^2}}{\partial C_i}=0, \qquad i=\pm1,\pm2,\ldots,\pm N$

即：$\frac{\partial \overline{e^2}}{\partial C_i}=2E\{e_k x_{k-i}\}=0,$ 或 $\frac{\partial \overline{e^2}}{\partial C_i}=\frac{2}{2N+1}\sum_{k=-N}^{N} e_k x_{k-i}=0,$

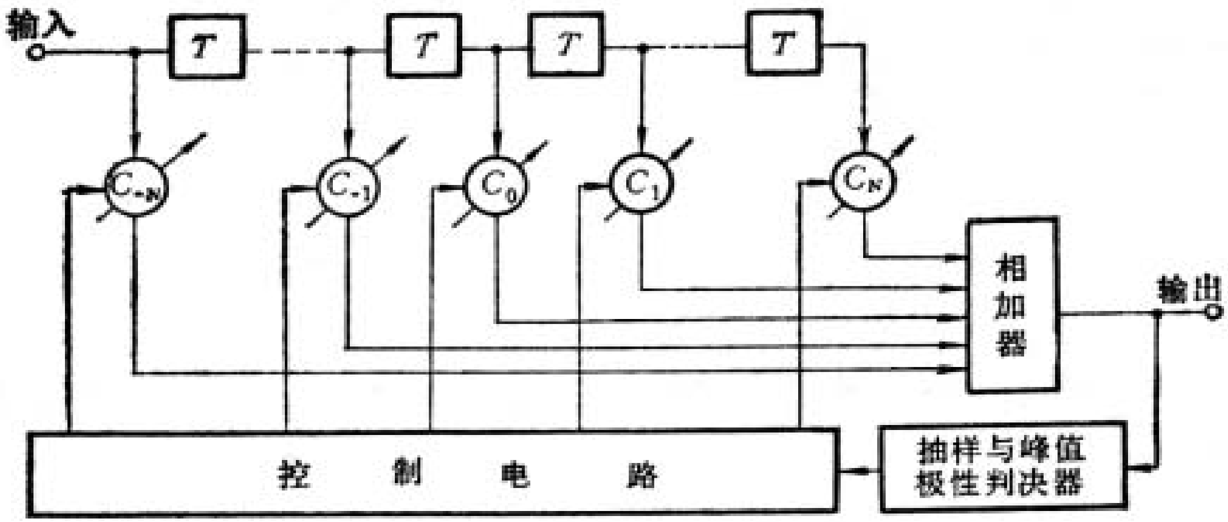
$i=\pm1,\pm2,\ldots,\pm N$

收到$\{x_k\}$后，计算 $y_k=\sum_{i=-N}^{N} C_i x_{k-i}, \qquad e_k=\sum_{i=-N}^{N} C_i x_{k-i}-a_k$

然后判断是否有 $E\{e_k x_{k-i}\}=0,$ 或$\sum_{k=-N}^{N} e_k x_{k-i}=0, \quad i=\pm1,\pm2,\ldots,\pm N$

若不为0，则按某种算法，对C_i进行加或减某一量 ΔC进行调整，直至使其足够地小。

□ 可调横向滤波器原理方框图



返回