

基于眼图分析的数字滤波选取方法分析^{*}

牛 帅 孟 博 沈戈婷

(63880 部队 洛阳 471003)

摘 要 在数字通信系统中,由于存在码间串扰而影响通信质量,如何减小码间串扰的影响是数字信号传输面临的一个问题。经过分析发现,在传输过程中选取合适的滤波器及其特征参数能够不同程度地减小码间串扰影响。通过对相同干扰条件下,数字基带经过不同的滤波器后形成的眼图进行分析,进而选取了适合传输的滤波器及其特征参数,用最佳传输滤波器的方法减小了码间串扰,从而提高了信号的传输质量。

关键词 数字通信;码间串扰;成形滤波器;眼图

中图分类号 TN919

Analysis of Digital Filtering Selection Methods Based on Eye Diagram

Niu Shuai Meng Bo Shen Geting

(No. 63880 Troops of PLA, Luoyang 471003)

Abstract In digital communication systems, as a result of the existence of inter symbol interference which has effects on communication quality, How to decrease the negative effects becomes an urgent problem in the transmission of digital signal. The appropriate selection of filters and their characteristic parameters in the course of signal transmission will decrease the effect of Inter symbol interference at different levels. In the same interference conditions, after the analysis on the eye diagram generated by different digital baseband signal filtering, chooses the appropriate transmission filter and its characteristic parameters, which by the means of optimal transmission filtering decreases the inter symbol interference and improves the transmission quality of signal.

Key words digital communication, inter symbol interference, shaping filter, eye diagram

Class Number TN919

1 引言

在数字通信系统中,由于信号的传输特性,不可避免地存在码间串扰,从而影响通信质量。为了尽量减小码间串扰的影响,我们对数字信号的传输特点进行分析,发现选取合适的滤波器及其特征参数能够不同程度地消除码间串扰,从而提高数字信号的通信效果。本文通过对数字基带传输系统在通过不同的滤波器后形成的眼图进行分析,选取了适合传输的最佳滤波器及其参数,提高了信号质量。

2 数字通信及其干扰

2.1 数字通信

所谓数字通信,概括地说就是把原始信息转化成简单的数字形式,再传递给对方的通信方式。一种典型的数字化方法是脉冲编码调制(PCM),脉码调制一般包括三个步骤:抽样、量化和编码。完成编码过程之后,模拟信号转化成了数字信号,进而可将此数字信号变换成适合信道传输的波形传送给对方。对方收到传送的信号后,再反变换成与

^{*} 收稿日期:2009年6月15日,修回日期:2009年7月13日
作者简介:牛帅,男,助理工程师,研究方向:通信对抗。孟博,男,助理工程师,研究方向:通信对抗。沈戈婷,女,助理工程师,研究方向:通信对抗。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发端一样的数字信号。将此数字信号经过解码器解码恢复成样值形式的脉冲幅度调制(PAM)信号,再通过低通滤波器即可重新得到原来的模拟信号。一个有加密装置的数字通信系统可用图 1 表示^[1]。

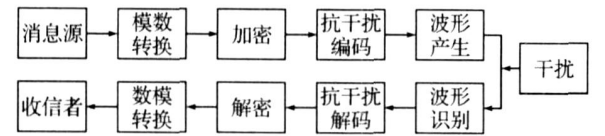


图 1 加密数字通信系统

干扰和噪声会损害传输的数字信息的质量,从而出现差错。为了尽量把差错纠正过来,采用一种对传输的原始信息按一定规则加入保护成分的办法,组成所谓的“抗干扰编码”。在接收端按一定的规则进行解码,从解码过程中能发现错误或纠正错误,这种技术称为差错控制技术。

2.2 码间串扰

数字信号经过发送滤波器以限制发送频带,阻止不必要的频率成分干扰相邻信道。基带信号在信道中传输时常混入噪声。同时,由于信道一般不满足不失真传输条件,因此要引起传输波形的失真,所以在接收端输出的波形与输入的波形差别较大,若直接对其进行抽样判决可能产生较大的误判。因此,在抽样判决之前要先经过一个接收滤波器,它一方面滤除带外噪声,另一方面对失真波形进行均衡。抽样和判决电路使数字信号得到再生,并改善输出信号的质量。造成判决错误的主要原因是噪声和由于传输特性不良引起的码间串扰,图 2 为码间串扰的示意图^[1]。

基带脉冲序列通过系统时,系统的滤波作用使脉冲拖宽,它们重叠到邻近的时隙中去。当接收端在图示的各点进行抽样时,以抽样时刻测定的信号幅度为依据进行判决,恢复出原脉冲的消息,若重叠到邻接时隙内的信号太强,可能发生错误的判断。图 2 中,若相邻的脉冲的拖尾相加超过判决门限,则会使发送的“0”判断为“1”。实际中可能出现好几个邻近脉冲的拖尾叠加,这种脉冲重叠并在接收端造成判决困难的现象叫做码间串扰。因此可以看出,传输基带信号受到约束的主要因素是系统的频率特性。当然,可以有意地加宽传输频带,使这种干扰减小到任意程度,然而这样做一方面浪费了带宽,另一方面还会使过大的噪声引入系统中来。因此,应该探索另外的代替途径,即通过设计信号波形和与之相适应的传输滤波器,以满足用最

小传输带宽的条件下尽可能地减小或消除这种干扰。由此可见,研究基带传输特性对码间串扰的影响,并导出用怎样的滤波特性能够形成最小码间串扰的输出波形是十分有意义的^[2]。

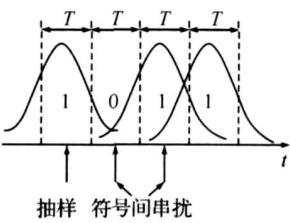


图 2 码间串扰示意图

当基带传输系统具有理想低通滤波特性时,以其截止频率两倍的速率传输数字信号,便能消除码间串扰。但是,由于这种理想的特性是无法实现的。即使可以获得相当逼近的理想特性,但由于理想低通滤波器的冲激响应是 $Sa(x)$ 型,衰减较慢,拖尾较长,因此要求抽样点定时必须精确同步,否则当信号速率、截至频率或抽样时刻稍有偏差仍然会产生码间串扰^[4]。因此消除码间串扰是十分有必要研究的。

3 成型滤波器及其选择

3.1 基带成形滤波分析

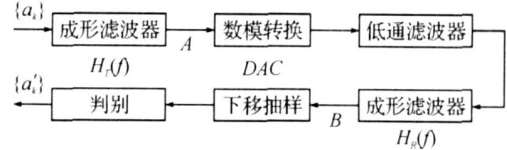


图 3 基带传输系统等效框图

图 3 是基带传输系统的等效框图。成形滤波器在整个传输系统中占据重要地位。现代通信系统的发展要求最大限度地减少功率和频带占用。为了节省频谱资源,必须减少码间串扰(ISI)。奈奎斯特第一准则指出了要消除码间串扰,系统从发送滤波器到接收滤波器总体频率响应需要满足的条件。根据这一要求,实际的通信系统中通常采用成形滤波器,选择合适的滚降系数,并确定其特性在收发两端的分配问题,将信道非线性影响减到最小。

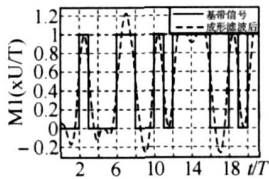


图 4 基带信号成形滤波

因为信号数字化而引入的谐波分量带来了干扰,所以,必须有一个模拟低通滤波器用以滤除各次谐波。任何一种调制方式的信号,基带信号均为一个由 0, 1 序列组成的码流,经成形滤波后,信号边缘呈滚降特性。如图 4 所示。这些滚降特性曲线随着成形滤波器类型和参数的不同而变化。

满足奈奎斯特第一准则的最简单的成形滤波器是理想低通滤波器^[3],其频域内的系统函数定义为

$$S(a)=\begin{cases} \text{常数} & |\omega| < \pi/T \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

该系统的传输宽度为 $1/(2T_s)$,当信号速率为 $1/T_s$ 波特时,频谱利用率为 $2B/\text{Hz}$,这是无码间串扰时频谱利用率的极限。其时域和频域波形如图 5。

从图 5 可以看出理想成形滤波器具有陡峭的

截止频率,实际中是无法实现的,一般只用于理论分析。

3.2 眼图及滤波器参数选择^[5]

评价基带传输系统的一种定性而方便的方法是观察接收端的基带信号的波形,将接收波形输入示波器的垂直放大器,把产生水平扫描的锯齿波形周期与码源定时同步,则在示波器上可以看到相应的眼图,如图 6 所示。对于二条码,一个码元周期内只能观察到一个“眼睛”,对于三元码,可以看到两只眼睛,对于 M 元码,则有 $(M-1)$ 只“眼睛”^[2,6]。

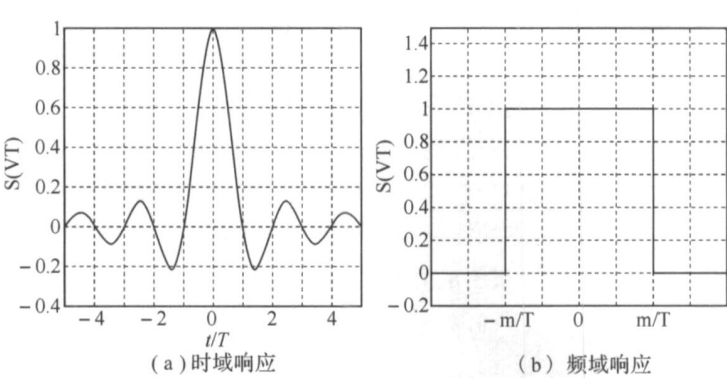


图 5 理想成形滤波器时域、频域响应

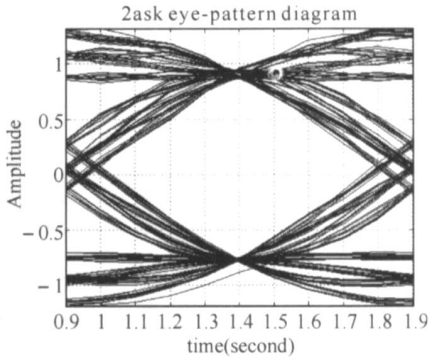


图 6 无干扰时眼图

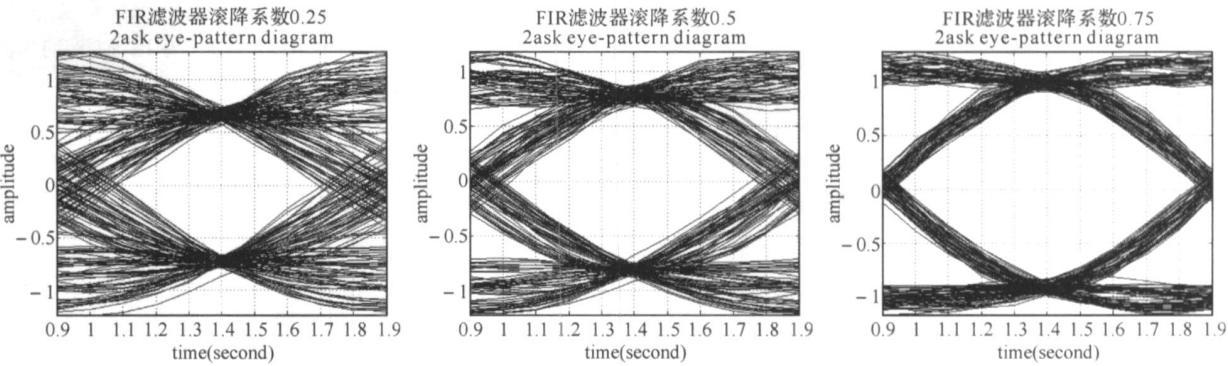


图 7 FIR 滤波器干信比为 15dB,不同滚降系数下的眼图

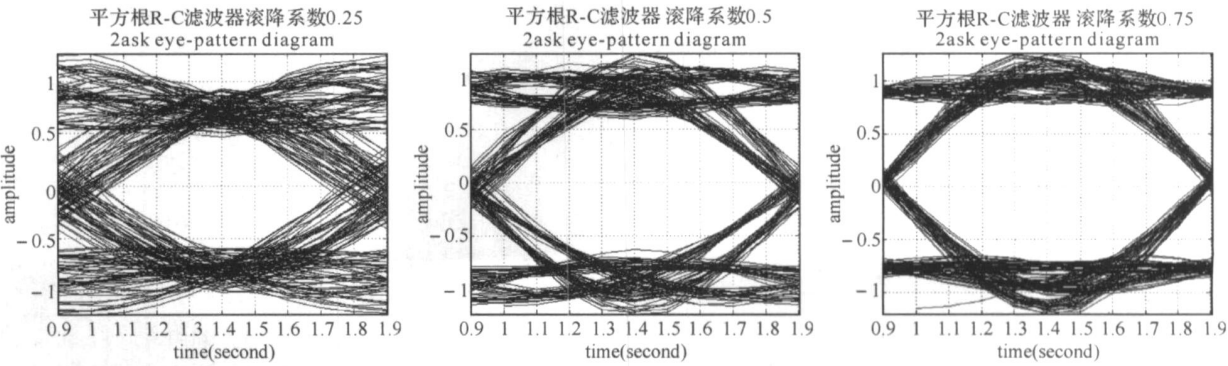


图 8 平方根 R-C 滤波器干信比为 15dB,不同滚降系数下的眼图

利用数字信号受干扰强度变化对应的眼图变化情况,建立了数字信号对应的眼图的二维相空间结构,并结合误码率的变化情况,建立误码率与眼图的变化对应关系。

通过对不同干扰强度下眼图参数的变化进行分析,我们可以发现,当干扰变大的时候(并且随着误码率的增大)反映在眼图上的是眼皮的厚度有逐渐弥散在整个眼图空间的趋势,眼图的开启度变

小, 这符合干扰对数字信号的影响。但是同时我们发现相同干扰条件下, 选取不同的滤波器及其滚降系数, 会出现不同的眼图参数发生变化的情况, 这样势必对眼图的分析产生影响, 如何改变这种影响? 这是论文研究的重点。

我们针对不同滤波器的滚降系数和不同干扰强度下眼图的变化情况进行了具体的分析^[3]。分析结果表明, 同一干扰情况下, 不同的特征参数(滚降系数分别为 0.25, 0.5, 0.75 三种情况) 情况下眼图的变化具体情况如图 7~ 图 8 所示。

我们遵循最大限度减小码间串扰对数字通信的影响的原则, 从眼图的变化和信噪比的对应关系文中选择了 FIR 滤波器滚降系数 0.5 进行分析, 完成滤波器的选择, 为基于眼图分析的数字信号干扰效果评估方法研究提供了依据。通过上述分析可知, 一个确定的数字序列在眼图空间对应固定的眼图结构。在不同干扰强度的情况下, 基带信号对应的眼图结构会出现不同程度的变化, 即干扰强度的不同会在眼图结构中得以体现。

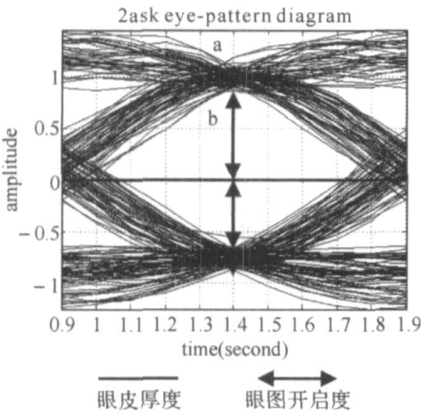


图 9 受干扰时眼图

结合上述图形及不同干扰情况下的眼图变化情况进行分析, 可以发现: 当干扰强度相同的情况

下由于选取不同的滤波器及其滚降系数会出现不同的眼图情况, 即反应数字信号受干扰变化的眼皮的厚度、眼图的开启度(如图 9, a, b 所示) 发生变化, 这对我们建立的基于眼皮的厚度和开启度两个特征参数的数字信号的干扰效果的评估方法是有影响的, 即选择不同的滤波器及其参数会得到不同的评估结果。通过上面的分析和结果仿真描述, 为我们选取滤波器种类及其特征参数提供了依据。

4 结语

数字通信干扰效果评估方法研究是数字干扰效果评估方法的进一步的拓展和完善, 文章分析了影响眼图变化的诸多因素的, 并在确定成型滤波器和滚降系数的基础上, 对眼图受干扰后的变化情况进行分析, 即在排除其它因素的基础上, 通过采用相应的能够反应眼图变化的眼图特征参数(眼皮厚度、眼图的开启度), 为今后分析数字信号干扰效果的正确评估提供了可靠的依据。

参 考 文 献

[1] [美] Rodger E, Ziemer William H. Tranter, 著. 袁东风, 江铭炎, 译. 通信原理- 系统、调制与噪声[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 367~ 372

[2] 王秉钧. 现代通信系统原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999: 177~ 179

[3] 周涛. 通信信号成形方式识别与最佳接收[D]. 中电科技集团第五十四研究所硕士研究生学位论文, 2005

[4] 王红星, 曹建平. 通信侦察与干扰技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006, 7: 8~ 10

[5] 梅杓春, 王勇. 现代电信仪表原理与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998: 112~ 115

[6] 樊昌信, 曹丽娜. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 156~ 158

(上接第 35 页)

提高, 最终将会替代掉全球大部分高功率 CO₂ 激光器和绝大部分 YAG 激光器^[5]。

参 考 文 献

[1] 樊亚仙, 吕福云, 胡姝玲, 等. 包层泵浦调 Q 光纤激光器的研究进展[J]. 光电子·激光, 2002, (8): 872~ 875

[2] 侯静, 肖瑞, 刘泽金, 等. 两种方法实现对掺镱光纤放大器

的相位校正[J]. 强激光与粒子束, 2006, (11): 1779~ 1782

[3] 喻洪波, 廖延彪, 靳伟, 等. 光纤化的气体传感技术[J]. 激光与红外, 2002, (3): 65~ 68

[4] 黄章勇. 光纤通信用光电子器件和组件[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001: 252~ 258

[5] 肖瑞, 周朴, 侯静, 等. 激光器的部分相干性对光纤激光器阵列相干合成远场图样的影响[J]. 物理学报, 2007, (2): 819~ 823