

# 通信眼图观测系统设计

袁毅, 包明冉, 姚璐芳, 赵志斌, 李再金\*, 曾丽娜, 李林, 徐东昕, 乔忠良, 曲轶

海南师范大学物理与电子工程学院, 海南 海口

Email: [lizaijin@126.com](mailto:lizaijin@126.com)

收稿日期: 2020年8月24日; 录用日期: 2020年9月8日; 发布日期: 2020年9月15日

## 摘要

在数字信号系统中, 由于噪声和码间干扰的存在, 信道的特性很不稳定, 为了稳定信道的特性, 有效地解决噪声和码间干扰存在的问题, 让信息能够有效的传输, 避免出现漏传现象。因此, 设计了眼图观测系统, 通过眼图观测系统观测到的特性参数来衡量传输基带系统性能的优劣。根据眼图观测系统设计进行数字信号光纤传输测试, 依据测试观测得到关于眼图的特性参数, 计算出眼皮的开度、厚度、定时抖动能力等, 用此能够评价一个系统性能的优劣。

## 关键词

眼图, 眼开度, 眼厚度, 定时抖动

# Design of Communication Eye Diagram Observation System

Yi Yuan, Mingran Bao, Lufang Yao, Zhibin Zhao, Zaijin Li\*, Lina Zeng, Lin Li, Dongxin Xu, Zhongliang Qiao, Yi Qu

School of Physics and Electronic Engineering, Hainan Normal University, Haikou Hainan

Email: [lizaijin@126.com](mailto:lizaijin@126.com)

Received: Aug. 24<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 8<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 15<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In the digital signal system, due to the existence of noise and intersymbol interference, the characteristics of the channel are very unstable. In order to stabilize the characteristics of the channel, the problems of noise and intersymbol interference can be effectively solved to enable the infor-

\*通讯作者。

mation to be transmitted effectively and avoid the phenomenon of leakage. Therefore, an eye pattern observation system is designed to measure the performance of the transmission baseband system through the characteristic parameters observed by the eye pattern observation system. Optical fiber transmission test of digital signal was carried out according to the design of eye pattern observation system. The characteristic parameters of eye pattern were obtained according to the test observation, and the opening, thickness and timing jitter ability of eyelid were calculated, which could be used to evaluate the performance of a system.

## Keywords

Eye Diagram, Eye Opening, Eye Thickness, Timing Jitter

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在通信系统中, 由于滤波器性能不可能设计得完全符合要求, 噪声总是存在的, 另外, 信道特性常常也不稳定等, 故其传输功能不可能恰好符合现实状况, 有时会相差甚远, 如果想要完全地消掉码间串扰, 对于目前的一些技术来说那是很困难的, 并且到目前为止我们都还没能够找到数学上便于处理的统计规律用来解决码间干扰对于误码率的影响。光纤通信的眼图观测系统设计可以解决日常实用中遇到的一些问题, 它可以直观地了解分析噪声和码间干扰的影响, 根据眼图观测系统设计测得的一些特性参数, 消除噪声和码间干扰对系统的影响, 从而起到优化系统性能的作用。其中, 眼图包含了很多相关信息, 反映的是系统传输的一切数字信号的整体性的特征。应用眼图能够观测出码间串扰和噪声的影响, 分析眼图是衡量数字通信系统传输特征的简便且有用的办法。对今后在通信系统中对误码率数据的统计计算和评估数据处理能力都具有十分重要的意义。

光纤通信技术是近几十年来迅猛发展起来的新兴技术, 这对于新技术来说是锦上添花, 在以后的信息社会中, 这个新兴技术将会是高速信息网传输的重要方式。在数据光纤通信系统的测量中用来判断光纤码间干扰的一种直观方法是眼图分析法。在新时代经济发展的推动下, 涌现了大量的新兴业务, 用户数量和用户消耗带宽引起的互联网流量增长刺激着信号带宽和速率的不懈和不断的需求, 光纤通信网络也因此发生了巨大的变化。光纤通信系统凭借其更低的传输损耗、更远的传输距离、更强的抗干扰能力, 已将传统的同轴电缆通信模式转变为全光纤通信模式[1]。无论是从内容量来说还是从功能来讲, 由于光纤通信技术在这两方面更具优势, 因此, 也为其他不同领域的发展带来了新的机遇和挑战, 同时, 其他领域的发展也使得光纤通信技术向更高的台阶迈进。在网络带宽和速率需求的驱动下, 设备和技术不断推陈出新, 例如掺铒光纤放大器的发明促使光纤通信向着更远的传输距离、更大传输容量以及更高的传输速率发展; 先进光学调制格式与数字相干接收机的成功结合使得更高的频谱效率得以实现[2]; 密集波分复用技术在很大程度上更加充分地利用了光纤传输的带宽, 有效地实现了超高速大容量的光通信系统[3]; 另外, 可重构光分插复用器加入复杂网络架构中, 使得灵活和动态的网络实现成为可能[4]。随着光通信系统先进技术的发展, 光通信系统容量的不断增加, 光网络架构日趋灵活, 传输网络的实现变得更加动态化, 但是随之而来的便是网络结构变得更加复杂使得信号多种损伤逐渐加剧, 网络的动态特性导致传输损伤的实时动态变化, 使得这些大容量的光纤网络更容易受到多

种传输损伤的影响[5]。所以，在保持较低的网络运营成本的基础上，为了使网络资源最大化，保证动态光网络的可靠运行和管理，对光通信系统的关键性能参数进行监控具有重要的意义。针对未来，面对动态可重构的光网络结构，面对复杂多样的信号损伤，为实现更加灵活、更加高效、更加安全的光通信网络系统，要求光性能检测技术具备更先进的功能和特性[6]，从而为实现灵活、高效、安全的光通信系统提供了技术保障。因此，研究面向未来的光性能监测技术，对灵活动态的光网络发展具有至关重要的价值。本文针对光性能监测技术中的通信眼图观测系统来进行设计和分析，为光性能监测技术提出新的创新思路和研究方向。

## 2. 眼图

### 2.1. 眼图的定义和形成

眼图是通信设备接收信号端的一系列基带信号，这些信号在示波器上叠加而所构成的图形看起来和人的眼睛很相似，所以称之为眼图。

眼图形成的系统框图如图 1 所示，主要包括伪随机码、伪随机码的同步时钟、示波器以及待测系统。待测系统主要由光发射机和光接收机组成。将一个待测系统放入后，用数字序列的同步时钟作为触发源，用示波器 YT 扫描方式测量系统输出端，不断的调整让示波器的扫描周期与发出的码元周期一致，然后在示波器上观察波形，到像人眼睛形状一样的图形——眼图。

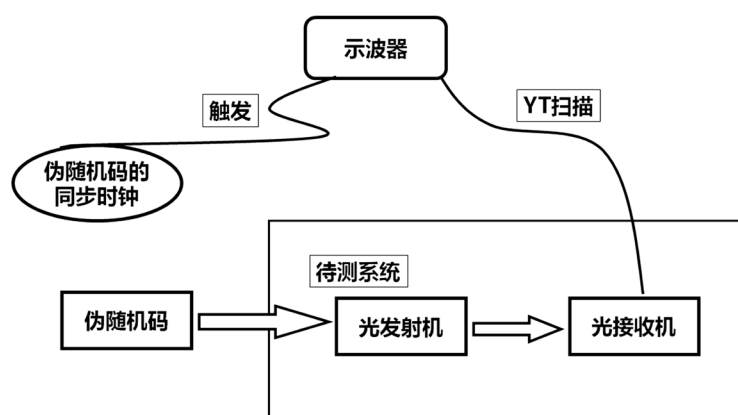


Figure 1. Diagram of eye diagram forming system  
图 1. 眼图形成系统框图

### 2.2. 眼图的分析观测

在数字通信系统中，通常为了判断基带传输系统性能的好坏，我们会采用示波器来观察测试信号的输出波形，根据观测到的波形分析它受到码间干扰和噪声影响的程度，这就是眼图分析法。通过示波器可以观测到一个完整的眼图是由八种状态叠加而成的，这八种状态是包括从“000”到“111”的所有状态。观测到的状态示意图如图 2 所示。眼图中含有很多的信号信息，表现了数字通信的整体特征，对眼图的观测分析能够直观地理解通信信号的码间串扰和噪声干扰状况，从而根据一些数据参数评价出系统性能的优劣。眼图在很多领域中都得到应用，可以利用眼图来维护数字音频传输，利用眼图的特性可以对一些设备进行周期性的测量或者评估这个系统的性能，提前做好准备，以防一些故障发生，眼图对于安全发射工作具有非常重要的作用[7] [8]。串行通信技术是目前数据通信使用的主要形式，但由于传输过程中噪声等原因的影响，串行信号可能会呈现出码间串扰，信号畸变等问题，普通的方法很难解决这些

问题，而眼图就有这样的能力，它能快速的理解决并分析串行信号的质量，通过眼图观测的方法解决串行通信系统中码间干扰和抖动的问题是十分重要的。在实际应用中还可以利用眼图解决 USB 在布线中的信号完整性的问题等[9]。

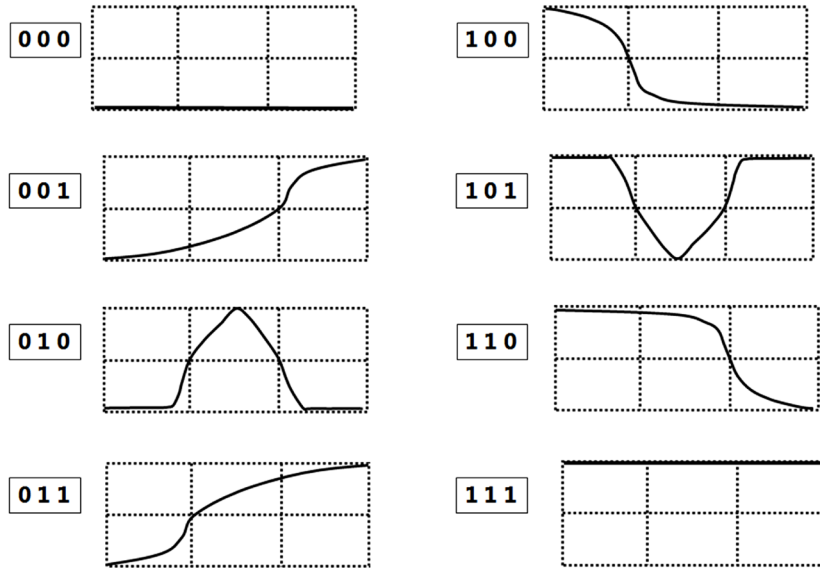


Figure 2. Eye diagram state diagram  
图 2. 眼图状态图

### 2.3. 眼图参数及系统性能

眼图的垂直张开的大小表示的是系统的抗噪声能力，水平张开的程度代表的是过门限失真量的大小，眼图张开的大还是小主要受码间干扰和噪声的影响变化，当光收端机发射输出的信噪比很大时，眼图张开的程度主要受到码间串扰的干扰，所以观看眼图的睁开的程度就可以估算出光收端机码间串扰大小[10]。由眼图图 3 我们可以更加直观的了解眼图的系统性能。由图 3 可以知道，图中横轴位置代表的是最佳判决门限，“眼睛”张开最大时表示的是最佳抽样时刻，说明此时信号没有发生失真，斜边代表的是定时误差灵敏度，斜率越大，定时误差就越灵敏，两斜边与横轴相交的区域表示的是过零点失真量，噪声容限如图所示的位置，如果噪声的瞬时值超过它就会发生错判，垂直张开度、水平张开度可分别由这些参数表示  $A_0 = \frac{V_1}{V_2}$ 、 $A_1 = \frac{t_1}{t_2}$ 。

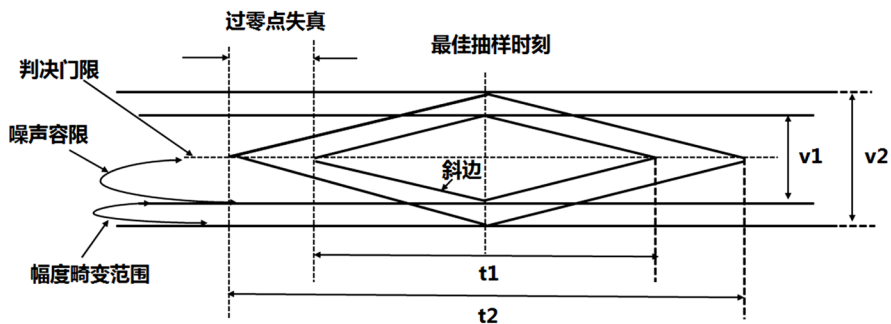


Figure 3. Eye diagram  
图 3. 眼图

### 3. 眼图观测系统的设计

眼图观测设计系统框图如图 4 所示, 系统主要由信号源、光发射机、光接收机以及带限信道组成; 信号源提供的数字信号经过光发射机和接收机传输后, 再送入用于模拟真实衰减环境的带限信道; 通过示波器测试设备, 以数字信号的同步位时钟为触发源, 观测测试点的波形, 即眼图。该系统的设计原理是: 信号源提供的数字信号输入到光收发端的光发射机, 用光纤跳线将光发射机和光接收机相连, 以此将电信号转换成光信号, 然后再经光纤跳线的传输将光信号还原成电信号, 然后经光接收机输出到带限信道, 通过示波器测试设备, 以数字信号的同步位时钟为触发源, 观测测试点的波形, 记录眼图波形并测量出眼图特性参数, 从而评估系统性能。

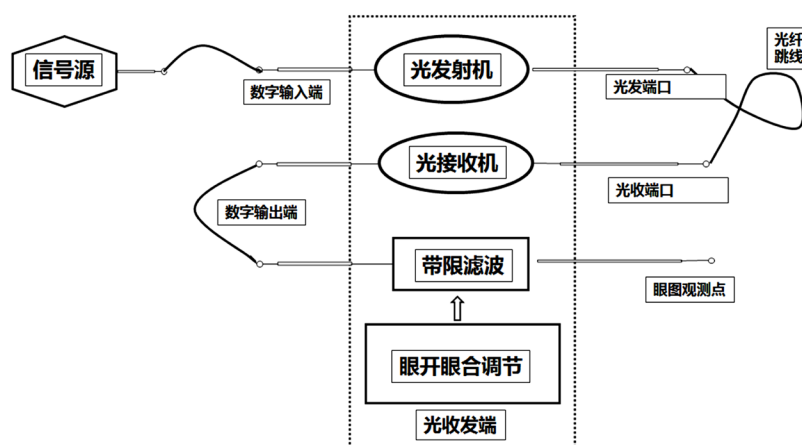


Figure 4. Diagram of eye diagram observation and design system

图 4. 眼图观测设计系统框图

光接收机在光纤通信系统中的任务是把通过光导纤维传输的光信号转换为电信号, 在经过一系列的放大处理恢复成原来发射的信号。光接收机的组成电路系统框图如图 5 所示。

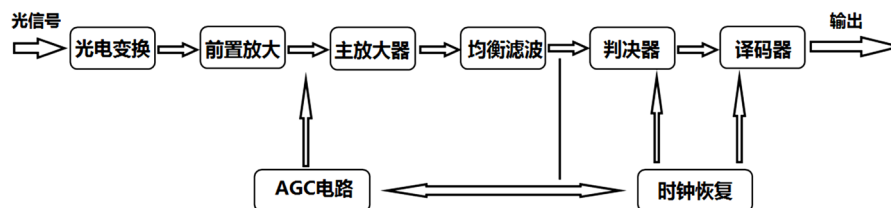


Figure 5. Circuit block diagram of optical receiver

图 5. 光接收机电路系统框图

光发射机的工作原理是将传输过来的电信号变换成光信号, 最后将符合要求的光脉冲信号从光源端的光纤跳线发射出去。光发射机的组成电路系统框图如图 6 所示。

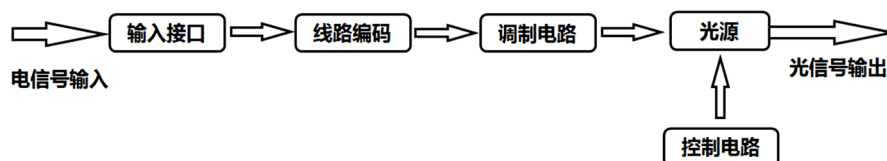


Figure 6. Circuit block diagram of optical transmitter

图 6. 光发射机电路系统框图

#### 4. 测试结果与分析

测试数据如表 1 所示, 在表 1 中眼开度 =  $\frac{V - \Delta V}{V}$ , 眼厚度 =  $\frac{\Delta V}{V}$ , 眼图交叉点分散角 =  $\frac{\Delta T}{T_b}$ , 眼图正、负不对称度 =  $\frac{V_+ - V_-}{V_+ + V_-}$ , 定时抖动 =  $\frac{\Delta T}{T_b} \times 100\%$ 。测试码行对比图和不同频率的眼图输出波形如图 7~9 所示。

Table 1. Test data

表 1. 测试数据

眼开度	78%
眼厚度	0.22 mV
眼图交叉点发散角	0.164 $\mu$ s
正、负极性不对称度	0.058 mV
定时抖动	16.4%

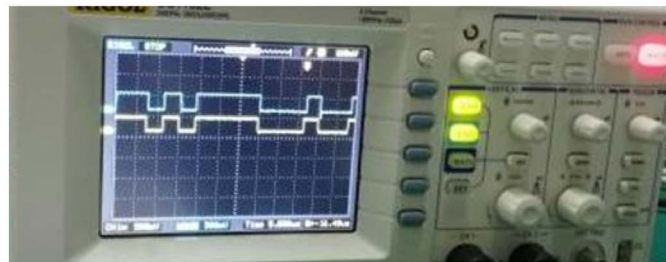


Figure 7. Comparison of digital output and PN sequence code type  
图 7. 数字输出与 PN 序列码型对比图

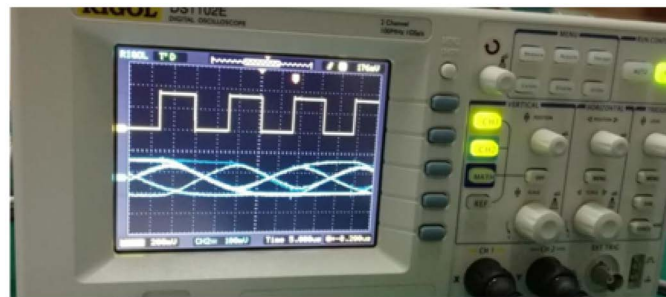


Figure 8. Output waveform of eye diagram with frequency of 64 K  
图 8. 频率为 64 k 的眼图输出波形

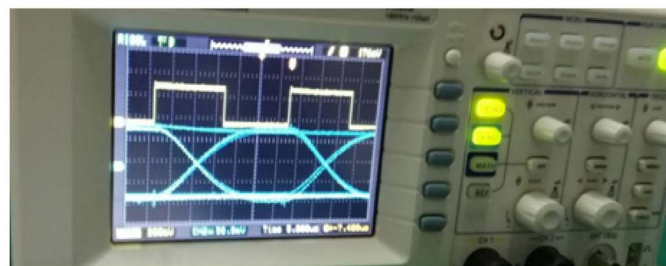


Figure 9. Output waveform of eye diagram with frequency of 32 K  
图 9. 频率为 32 k 的眼图输出波形

由测试得到的数据可知,眼开度越小,说明系统受到的码间干扰越大,信号的畸变程度也越大,当眼开度为 100%时,系统为最佳判决时刻;眼皮的厚度受码间干扰和信号畸变程度的影响,当它们都增大时,眼皮的厚度也随之增加,若无信号畸变和码间干扰时,眼厚度应为零;眼图的交叉点发散角也受畸变的影响,若不受影响,眼图的交叉点发散角的理想状态为零;系统的定时抖动与光收端的噪声和脉冲失真的程度有关,当光收端有噪声时会引起脉冲的失真,从而使电平的失真量增大,判决的时间间隔减小,系统的定时抖动增大。当频率发生改变时,眼图的效果也不一样,在一定的频率范围内,当频率减小,眼图张开的效果就越加的明显。测试数据表明此系统的信息传输性能不稳定,分析其主要原因是系统受到噪声和码间串扰的影响。

## 5. 结论

通过眼图观测系统观测可以得到眼图参数,眼开度、眼厚度、眼图交叉点发散角、正、负极性不对称度、系统的定时抖动等,通过眼图我们可以观察到码间干扰和噪声对系统的影响程度,从而我们可以对系统进行调节,消除码间干扰和噪声,改善系统的传输性能。

## 基金项目

海南省重大科技计划项目(ZDKJ2019005)、海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才项目(2019RC190, 2019RC192)、海南省自然科学基金(2018CXTD336, 618QN241)资助、海南省高等学校科学研究项目(Hnky2020-24, Hnky2020ZD-12)、国家自然科学基金项目(61864002, 61964007)、中国工程科技发展项目(19-HN-XZ-07)和海南师范大学省部共建国家重点实验室定向征集课题(生态环境监控用手持式激光夜视成像系统)。

## 参考文献

- [1] Khoe, D. and van den Boom, H. (2000) Trends in Electro-Optical Communication Systems. Perspectives on Radio Astronomy: Technologies for Large Antenna Arrays, 285.
- [2] Ramaswami, R., Sivarajan, K. and Sasaki, G. (2009) Optical Networks: A Practical Perspective. Morgan Kaufmann, California.
- [3] Zong, L., Liu, G.N., Lord, A., et al. (2013) 40/100/400 Gb/s Mixed Line Rate Transmission Performance in Flexgrid Optical Networks. *Optical Fiber Communication Conference*, Anaheim, California, 17-21 March 2013, OTu2A. <https://doi.org/10.1364/OFC.2013.OTu2A.2>
- [4] Willner, A.E., Pan, Z. and Yu, C. (2008) 7-Optical Performance Monitoring. *Optical Fiber Telecommunications VB*. Academic Press, 233-292. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374172-1.00007-2>
- [5] Khan, F.N., Shen, T.S.R., Zhou, Y., et al. (2012) Optical Performance Monitoring Using Artificial Neural Networks Trained With Empirical Moments of Asynchronously Sampled Signal Amplitudes. *IEEE Photonics Technology Letters*, **24**, 982-984. <https://doi.org/10.1109/LPT.2012.2190762>
- [6] Dong, Z., Khan, F.N., Sui, Q., et al. (2016) Optical Performance Monitoring: A Review of Current and Future Technologies. *Journal of Lightwave Technology*, **34**, 525-543. <https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2480798>
- [7] 付英华, 许国良. 基于 Simulink 的通信系统眼图测试仿真[J]. 电子设计工程, 2017, 25(4): 146-149.
- [8] 丁勇. 基于 Multisim 10 的通信系统眼图仿真[J]. 信息化研究, 2015, 41(263): 86-90.
- [9] 张景璐, 胡亦, 于京. 利用眼图解决 USB 在布线中的信号完整性问题[J]. 制造业自动化, 2014, 36(1): 98-100+104.
- [10] 孙海涛. 基于垂直腔面发射激光器的多速率 850 nm 小型可插拔光收发模块的研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2004: 14-20.