

基于最小欧氏距离反馈的相干光通信研究

何海珍,肖江南,陈 林

(湖南大学 信息科学与工程学院,长沙 410082)

摘要 研究了传输速率为 40Gb/s 的相干光 PM-QPSK 传输系统。实验利用 IQ 调制器产生光 QPSK 信号。在接收端最终通过使用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法,去除光链路上的色散、偏振态串扰、载波的频偏和相偏等,从而恢复 QPSK 信号,得到传输信号的星座图和误码率。实验结果表明,采用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法所得到的误码性能与其它方法相比明显得到提高。

关键词 相干光;数字信号处理;光传输;QPSK;偏振复用。

中图分类号:TN929.11 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-5561(2013)01-035-03

Research of coherent optical transmission system based on the minimum Euclidean distance feedback

HE Hai-zhen, XIAO Jian-nan, CHEN Lin

(College of Information Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: This paper studies the coherent light PM-QPSK transmission system which 40Gb/s transmission rate. The experiment use of IQ modulator produce light QPSK signal. By using the minimum distance feedback MIMO-FES-CMA equilibrium method, removal of an optical link dispersion, polarization crosstalk, carrier frequency offset, and phase offset, thereby restoring the QPSK signal, signal constellation and the bit error rate are gained. The experimental results show that, by the minimum distance feedback MIMO-FES-CMA equilibrium method the BER performance can obviously be improved by compared with other methods.

Key words: coherent light; digital signal processing; optical transmission; QPSK; polarization multiplexing

0 引言

随着社会信息化的不断发展,高速率高质量数据业务的增加对传输系统容量提出了新的要求^[1,2]。现有光纤通信在接收端使用光电探测器,采取直接探测强度的方式接收光信号,频谱效率和能量利用率不高^[3-5]。近年来,由于诸多新型超高速光传输技术的发展,基于电域信号处理技术的偏振复用相干检测光纤传输系统,利用光偏振复用及多进制调制技术有效提高了频谱利用率,而且在接收端采用相干解调,能够大大提高系统的接收灵敏度等。与直接检测方式相比,数字相干光检测不仅具有更高的接收灵敏度和频率选择性,更能够通过数字信号处理算法有效补偿光在传输中的各种损伤。因此,近年来数字相干光检测获得了普遍关注并成为光通信领域的研究热点之一^[3-7]。本文主要研究传输速率为 40Gb/s 的相干光 PM-QPSK

传输系统、QPSK 信号的产生、相干光 PM-QPSK 的接收及数字信号。

1 PM-QPSK 相干光传输系统

PM-QPSK 相干光传输系统框图如图 1 所示。PM-QPSK 相干光传输系统由发送、传输和接收三部分构成。在发送端,伪随机码发生器产生两路 10Gb/s NRZ 电信号,这两路 NRZ 电信号分别调制到 IQ 调制器的两个 MZM 上,其中一个 MZM 调制器经过 $\pi/2$ 的相位延迟,两路 MZM 输出信号耦合形成光 QPSK 已调信号,然后通过 PBS 把已调光信号分成两路,再经过 PBC 耦合成一一路光信号,这样光链路中传输两路 QPSK 信号。传输 200km 单模光纤(SMF)以后,在接收端信号光和本振光被分离为两个偏振态,每个偏振态的信号光分别与对应偏振态的本振光经过 90°光混频器混频,输出两个偏振态的 QPSK 信号。QPSK 信号经 PD 进行光电转换,通过实时示波器进行采样,然后对采样的信号进行离线数字信号处理(DSP)。

收稿日期:2012-09-28。

作者简介:何海珍(1964-),女,副教授,硕士生导师,从事通信电路与系统、通信与信号处理、数字图像内容取证等方面的教学和科研工作。

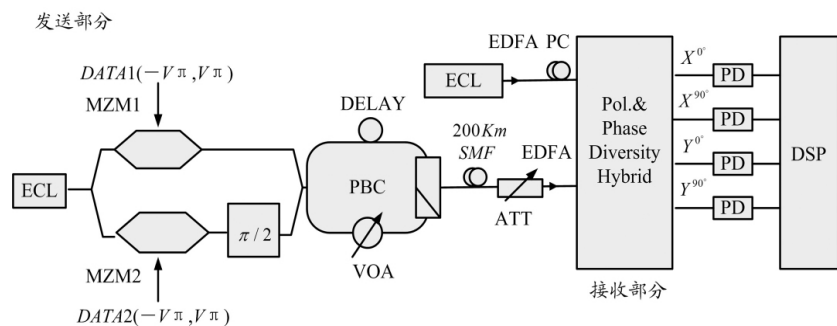


图1 PM-QPSK 相干光传输系统框图

2 PM-QPSK 相干光接收系统

在接收端, 信号光和本振光被分离为两个偏振态, 每个偏振态的信号光分别与对应偏振态的本振光经过 90° 混频, 输出两个偏振态的 QPSK 信号。QPSK 信号 PD 进行光电转换, 通过实时示波器进行采样, 并对采样的数字信号进行数字信号处理。通过数字信号处理, 去除光链路上的色散、偏振态串扰、载波的频偏和相偏等, 从而恢复 QPSK 信号。

2.1 均衡和偏振解复用

由于光纤信道的非理想性, 信号在光纤链路传输过程中主要受到色度色散和偏振模色散影响, 采用自适应的均衡技术可消除这方面的影响。又由于 PMD 的作用, 接收端的两偏振信号都相对于发送偏振信号有一定程度的偏转, 要保证各偏振信号的正确解调, 就必须利用 MIMO 结构来实现均衡和偏振解复用, 实现对传输信道损伤的均衡和对偏振光相互作用的补偿。本实验采样多输入多输出分数间隔常模 (MIMO-FSE-CMA) 均衡方法。

MIMO-FES-CMA 盲均衡常模算法, 首先把信号按照奇数偶数序列分成两个序列, 然后分别对这两个序列进行 CMA 均衡。分数间隔盲均衡避免了波特间隔均衡器欠采样引起的频率混叠, 可以补偿光纤信道的畸变, 而且 FES-CMA 盲均衡常模方法对相位不敏感。

2.2 载波频偏估计

由于光相干接收机中本振激光器频率的漂移, 使本振激光器频率与载波频率之间存在一定的偏差。接收信号必须去除载波频率与本振激光器频率之间的频差, 才能恢复解调出来的数据符号。载波频偏估计有前馈式和反馈式两种, 对于高速的相干光传输系统, 反馈式由于速度比较慢等原因, 一般使用前馈式频偏估计。本实验使用 FFT-CZT 算法进行频偏估计, FFT 联合 CZT 算法的方法是先 FFT 分析再联合 CZT 处理, 这样既能提高计算速度, 又能够获得频偏计算

的精度。联合算法的具体做法是: 先进行 N 点 FFT 分析, 判断出待测频率的主瓣位置, 再在主瓣范围内进行 M 点 CZT 细化, 以获取理想的频率估计值。

2.3 载波相位恢复

在相干检测光传输系统接收机中, 由于激光器存在线宽, 本地激光器 (LO) 在振荡频率附近会产生一些相位偏移, 使得 LO 与载波之间的振荡信号的相位发生时变, 再加上频偏估计的误差, 使得频偏估计之后的符号, 其相位偏移仍然存在, 并且这个偏移量随着时间而变化, 可以覆盖到 0 到 2π 范围。载波相位恢复的原理是获得信息相位以外的相位偏移量, 并从每个符号中消除这个相位偏移量。载波相位恢复的目的就是去除这部分相位偏移量, 使其输出的符号相位可以直接用于符号判决。

载波相位恢复以后的信号, 进行差分编码, 就得到调制以后的最后数据。

3 最小欧氏距离反馈 MIMO-FES-CMA 盲均衡常模方法

本实验采用最小欧氏距离反馈 MIMO-FES-CMA 盲均衡常模方法恢复原来的信号, 这种就是通过相位恢复出来的信号, 通过载波相位恢复以后出来的信号与 $(1,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(-1,0)$ 和 $(0,-1)$ 这四点进行最小欧氏距离判断, 使用最小欧氏距离反馈到 MIMO-CMA 均衡, 通过修改 MIMO-CMA 均衡横向滤波器系数 μ 的数值, 使载波相位恢复的信号与 $(1,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(-1,0)$ 和 $(0,-1)$ 四点的欧氏距离最小。因为载波相位恢复的信号与 $(1,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(-1,0)$ 和 $(0,-1)$ 四点的欧氏距离最小, 这样相位恢复以后的信号经过判决的正确率就高, 从而实现信号输出误码最少。最小欧氏距离反馈 MIMO-FES-CMA 盲均衡常模方法设置一段横向滤波器的系数, 通过对不同横向滤波器的系数得到的相位恢复信号与 $(1,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(-1,0)$ 和 $(0,-1)$ 四点的欧氏距离, 寻找欧氏距离最小的相位恢复信号。

4 实验结果及分析

本实验采用伪随机码发生器产生两路 10Gb/s 数据长度为 $2^{11}-1$ 个 PRBS 电信号, 把这两路 PRBS 电信号调制到 IQ 调制器上, 产生光 QPSK 信号, IQ 调制器输出的光 QPSK 信号眼图如图 2 所示。QPSK 信号传输 200km 单模光纤 (SMF) 以后, 在接收端信号光和本

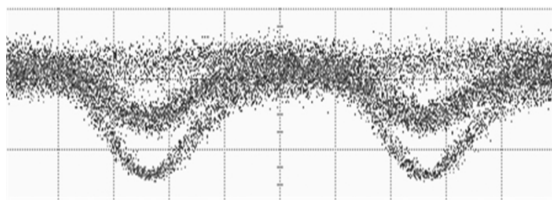


图2 IQ调制器输出的眼图

振光被分离为两个偏振态,每个偏振态的信号光分别与对应偏振态的本振光经过 90° 度光混频器混频,输出两个偏振态的 QPSK 信号。QPSK 信号经 PD 进行光电转换,实时示波器使用 20Gb/s 采样 20000 数据,并对采样的信号进行离线数字信号处理。

本实验系统采用位同步实验 Garden 方法,该方法能够准确地检测到采样的最佳位置。盲均衡使用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法,实现了信号输出误码最少。载波频偏估计实验 FFT-CZT 方法提高了计算的速度和精度。

使用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法, CMA 不同的步长对应的欧氏距离与相应的 QPSK 星座图如图 3 所示。从图 3 得知,在载波相位恢复的信号与 $(1,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(-1,0)$ 和 $(0,-1)$ 四点的欧氏距离最小时, QPSK 星座图比较清晰,而欧氏距离较大时, QPSK 星座图比较模糊,这样经判决后出现误判的机率就加大。

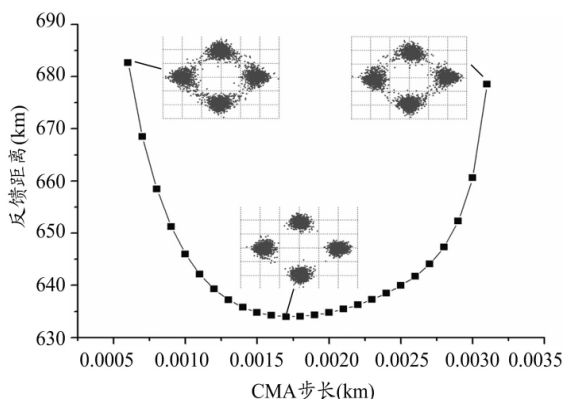


图3 在 OSRN=19 时, CMA 不同的步长对应的欧氏距离与相应的 QPSK 星座图对照图

PM-QPSK 相干光传输系统误码曲线图如图 4 所示,由图 4 可以看出,使用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法的误码曲线性能比使用固定步长 CMA 方法的误码曲线要好, CMA 的步长越接近最小欧氏距离的步长时,误码率越小。通过图 4 还可以看出, CMA 的步长越接近最小欧氏距离的步长时, QPSK 的星座图越清晰。

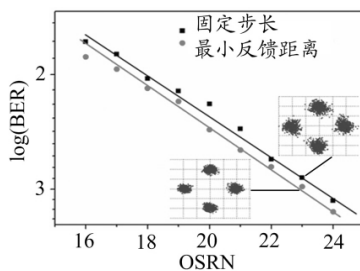


图4 使用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法和固定步长 CMA 的系统传输 200km SMF 后的误码曲线图

5 结束语

以上我们进行了传输速率为 40Gb/s 的相干光 PM-QPSK 传输系统实验,通过在两个偏振态上分别传输 QPSK 信号,提高了光纤链路的频谱利用率。实验中,首先产生了光 QPSK 信号,

在接收端,信号光和本振光被分离为两个偏振态,每个偏振态的信号光分别与对应偏振态的本振光经过 90° 混频,输出两个偏振态的 QPSK 信号。QPSK 信号 PD 进行光电转换,通过实时示波器进行采样,并对采样的数字信号进行数字信号处理。通过数字信号处理,去除光链路上的色散、偏振态串扰、载波的频偏和相偏等,从而恢复 QPSK 信号。在本实验中,通过使用最小距离反馈 MIMO-FES-CMA 均衡方法,得到的传输系统的误码性能比不使用这个方法得到的传输性能更好。

参考文献:

- [1] SEBASTIEN B. Coherent Detection: A Key Enabler for Next-Generation Optical Transmission Systems[C]. Proc. ICTON 2007, Tu.B4.5.
- [2] PFAU T, HOFFMANN S, AND NOE S, et al. Coherent optical communication: Towards realtime systems at 40 Gbit/s and beyond[J]. Optics Express 2008, 16(2): 866-872.
- [3] SEB J Savory. Digital filters for coherent optical receivers[J]. Optics Express, 2008, 16(2): 804-817.
- [4] SATOSHI T, KAZUHIRO K, KAZURO K. Coherent Demodulation of Optical Multilevel Phase-Shift-Keying Signals Using Homodyne Detection and Digital Processing[J]. Photon. Technol. Lett., 2006, 18(10): 1131-1133.
- [5] SEIMETZ M. Performance of Coherent Optical Square-16-QAM-Systems based on IQ-Transmitters and Homodyne Receivers with Digital Phase Estimation[C]. Proc. OFC 2007, NWA4.
- [6] SEBASTIEN D, GAGNON L, TSUKAMOTO S, KATOH K, et al. Coherent Detection of Optical Quadrature Phase-Shift Keying Signals With Carrier Phase Estimation[J]. J. Lightw. Technol., 2006, 24(1): 12-21.
- [7] TAYLOR M G. Coherent detection method using DSP for demodulation of signal and subsequent equalization of propagation impairments[J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2004, 16(2): 674-676.
- [8] GARDNER F M. A BPSK/QPSK timing error detector for sampled receivers[J]. IEEE Transactions on Communications, 1986, 34(5): 423-429.
- [9] VITERBI A J, VITERBI A M. Nonlinear estimation of PSK-modulated carrier phase with application to burst digital transmission[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1982, 29(4): 543-555.