

前置放大的空间光 DPSK 自相干接收系统分析

张慧颖, 孙 浩

(吉林化工学院 信息与工程学院, 吉林省 吉林市 132022)

摘要:针对强背景光下接收信号信噪比低、星地长距离光通信中接收信号微弱等问题,进行光差分相移键控(DPSK)调制的前置放大自相干接收方案研究和空间光到单模光纤耦合关键技术分析。在 Optisystem13 软件平台上搭建光前置自相干接收系统实验模型,实验结果表明:加入光前置的自相干接收机的通信质量具有较好改善;当滤波器带宽为 35GHz 时,系统达到最佳接收状态。

关键词:光 DPSK; 光前置放大; 自相干接收; 耦合

中图分类号: TN929.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)05-0050-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.05.013

Analysis of space optical DPSK self-coherent receiving system based on pre-amplifier

ZHANG Huiying, SUN Hao

(College of Information and Control Engineering,

Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China)

Abstract: In view of problem for SNR is lower to received signal under strong background, and the receiving signal power is weak in long distance ground-stars optical communication, the scheme for self coherent receiving system based on pre-amplifier of DPSK modulation has studied, the key technical analysis of space optical to single mode fiber coupling technology is completed. The experimental model of the optical pre-coherent self coherent receiving system is built on the Optisystem13 software platform. The experimental results show that the communication quality for self-coherent receiving system based on pre-amplifier is improved. Moreover, the system reaches the optimal receiving state when the filter bandwidth is 35GHz.

Key words: optical DPSK; optical pre-amplifier; modulation; self-coherent receiving; coupling

0 引言

空间光通信经过几十年的发展,技术愈加成熟。在迅速发展的高速率、宽带宽要求下,空间光通信技术将使人类进入“太空宽带时代”^[1,2]。在早期的空间光通信领域,强度调制/直接探测(IM/DD)技术应用较多,但是通信比特速率达 10Gb/s 左右,通信距离较短且灵敏度不高。近年来,差分相移键控(DPSK)、差分正交相移键控(DQPSK)和脉冲位置调制(PPM)等先进调制格式的发展推动了高速相干光通信系统的发展,尤

其是相干接收技术发展,为通信距离较长的星间光通信(FSO)奠定了基础^[3,4]。20 世纪 70 年代,Delange 等人提出外差检测技术,相干接收技术研究开始起步^[5]。但是,当时 IM/DD 技术是 FSO 系统的主流,因此相干接收技术没有引起关注。2002 年,Griffin 和 Carter 等人提出 QPSK 调制的相干探测技术,使系统容量得到翻倍,相干接收技术重新引起研究人员的重视。美、日、欧等国家和地区相继开展了相干光通信技术研究^[6,7]。在相干探测体制下,零差探测对激光器的线宽要求较高,设计时需要光学锁相环实现信号光与本振激光器的相位同步,实现起来非常困难;而外差探测需要一个中频信号,该信号的频率远远高于信号比特率,采样芯片的速率要求较高。相比于零差接收和外差接收,自相干接收机无需本振激光器,结构简单易于实

收稿日期:2018-02-06。

基金项目:吉林省教育厅“十三五”科学研究规划项目资助;吉林化工学院科学技术研究项目资助。

作者简介:张慧颖(1982-),女,博士,副教授,主要从事光通信技术及无线通信方面等研究。

现,并可降低对光源线宽的要求。因此,本文研究光 DPSK 调制/自相干接收技术,重点分析基于前置放大的自相干接收系统性能,解决接收信号微弱、接收机误码率高等问题,为样机制作提供理论依据。

1 光 DPSK 调制结构设计

光 DPSK 调制结构如图 1 所示^[8],采用两级串联马赫-曾德尔调制器(MZM)实现光 DPSK 调制。MZM 工作在推挽驱动方式下,MZM1 采用双端调制,偏置电压设为 0,时钟频率为信号频率的一半,时钟电压的峰峰值为 $2V_{\pi}$ 。MZM2 完成数据信息的加载,偏置电压为 V_{π} ,以一对差分编码的 NRZ 数据流电压来驱动,数据信号峰峰值为 $2V_{\pi}$ 。MZM1 和 MZM2 这两级的顺序可以互换,不影响调制效果。经过两级 MZM 串联后实现完全的 180° 相位调制。

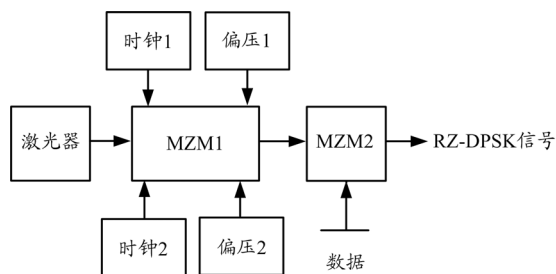


图 1 DPSK 调制信号框图

2 自相干延迟解调分析

自相干延迟探测也称差分自相干探测。DPSK 信号经过耦合分束器分成两部分后送入马赫-曾德尔延迟干涉仪(MZDI)的两臂,光束 1 相比于光束 2 有 1Bit 的延迟,两路信号经过 50% 的合束器进行相干叠加,利用前后码元光信号的干涉将相位差信息转换为振幅信息,实现 DPSK 信号解调^[9]。MZDI 工作原理如图 2 所示。

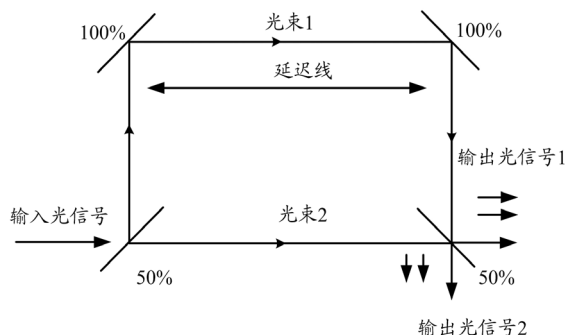


图 2 MZDI 解调工作原理图

MZDI 实质上由两个 3dB 耦合器组成,DPSK 信号经过 MZDI 解调后,采用 PD 平衡探测得到强度信号。差分自相干解调无需相干载波,虽然在抗噪声能力方面略有损失但实现起来较简单。

3 基于光前置放大的自相干解调结构分析

当进行星地间长距离通信时,由于大气信道中大气湍流、散射等影响,导致系统接收灵敏度下降、误码率上升。为提高输出光功率、改善通信质量,本文采用带有前置光放大器的自相干解调结构。

3.1 空间光与单模光纤耦合分析

接收光学天线与光纤放大器之间耦合效率直接影响接收机性能。当激光束的直径小于光纤芯直径,且发散角小于光纤的孔径角时,系统可获得较高的耦合效率。由于空间光的光束直径会产生微小变动,在进行耦合时,存在单模光纤之间模场半径不匹配的情况^[10]。通过分析可知,耦合效率表达式为:

$$\eta = 2[1 - \exp(-\beta^2)] / \beta^2 \quad (1)$$

其中, β 表示耦合参数,由耦合参数与耦合效率关系曲线(图 3)可以看出,在理想条件下,耦合参数 $\beta=1.2$ 时,耦合效率取得最大值,约为 82%,耦合损耗约为 0.88dB。当耦合系数大于 1.2 时,耦合效率随之下降,故耦合参数取 1.2 左右最适宜。但耦合效率随湍流增大而减小。通常,激光器波长为 1550nm、接收孔径为 10cm 时,耦合效率可达 78% 左右。

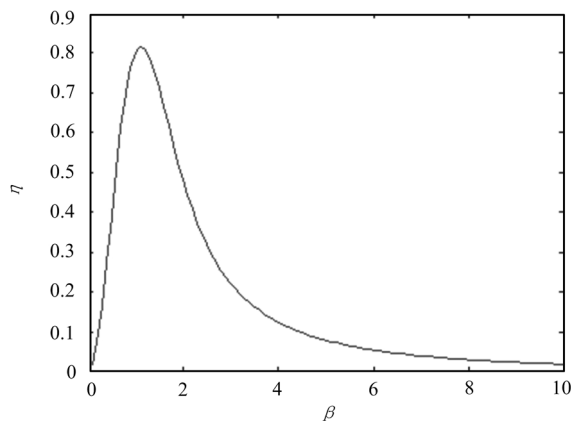


图 3 耦合参数与耦合效率关系曲线

3.2 接收结构设计

由于接收到的光信号非常微弱,在接收端采用低噪声掺铒光纤放大器(EDFA)对其放大。为减小自发辐射(ASE)噪声对信号和泵浦的影响,在级间加入光滤波器、隔离器(ISO)来隔离后向 ASE 噪声。窄带宽光

带通滤波器选取法布里-珀罗(F-P)滤波器。由于调制后的 DPSK 信号频谱主瓣带宽为 20GHz, 滤波器带宽变化范围应在 10~70GHz 最为适宜。放大滤波后的光信号经过 MZDI 解调后平衡探测^[11,12]。光前置放大自相干接收结构如图 4 所示。

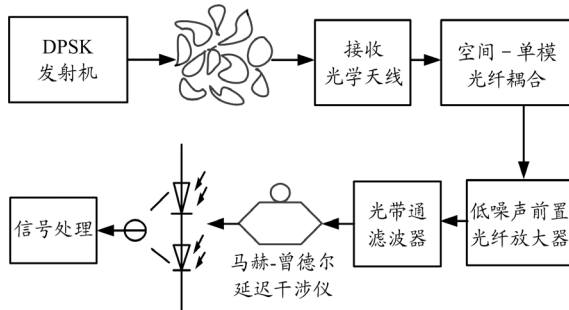
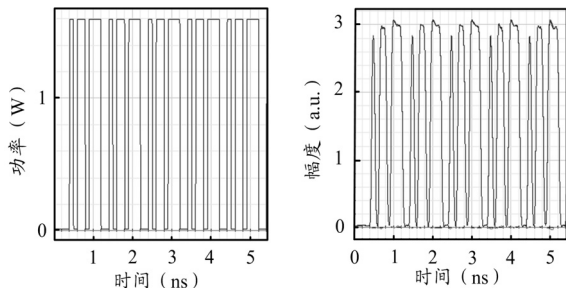


图4 前置放大自相干接收结构框图

采用光前置放大的自相干系统,在提高入射光功率的同时引入了 ASE 噪声,输出的总噪声由散弹噪声、自发辐射噪声和热噪声组成。因此,在实际设计前置放大自相干接收机时应该考虑如何减小 ASE 噪声的影响。

4 系统仿真实验分析

我们在光学仿真平台 Optisystem13 上搭建前置放大光 DPSK 调制/自相干接收系统。选取波长 1550nm 激光器,发射功率为 45dBm,频率为 193.414THz,线宽 10kHz;选取发射天线直径为 5cm、接收天线直径为 10cm;通信距离为 10km;通信速率 10Gb/s;EDFA 长度为 5m,噪声设为 4dB;F-P 光滤波器的频率设置在 193.414THz,带宽为 35GHz;信道中光束发散角为 2mrad;大气效应引起衰减为 5dB/km,模拟弱湍流环境^[13]。仿真结果如图 5、图 6 和图 7 所示。

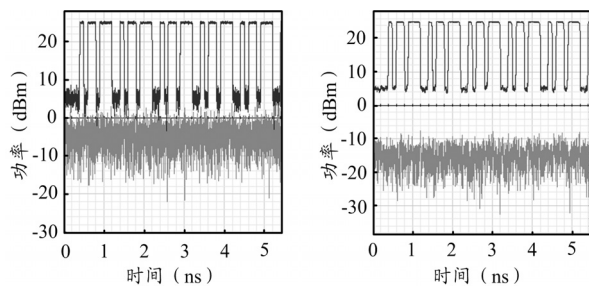


(a) DPSK 调制后波形

(b) DPSK 解调后波形

图5 DPSK 调制波形和解调波形

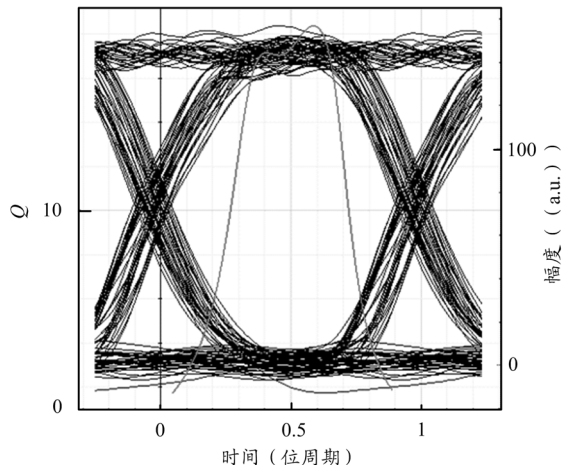
由图 5 看出,带有前置放大的自相干接收系统可以很好地实现调制信号解调,解调波形与输入波形几乎一致。由图 6 看出,加入 F-P 滤波器后,噪声信号得



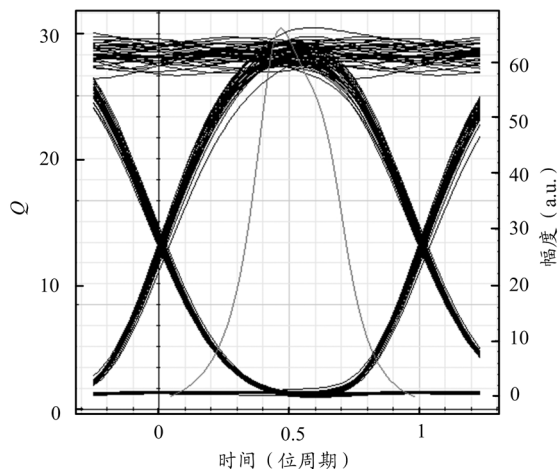
(a) EDFA 输出光波形图

(b) 滤波后输出光波形图

图6 滤波前后的光信号波形图



(a) 无前置放大器输出的眼图



(b) 带有前置放大器输出的眼图

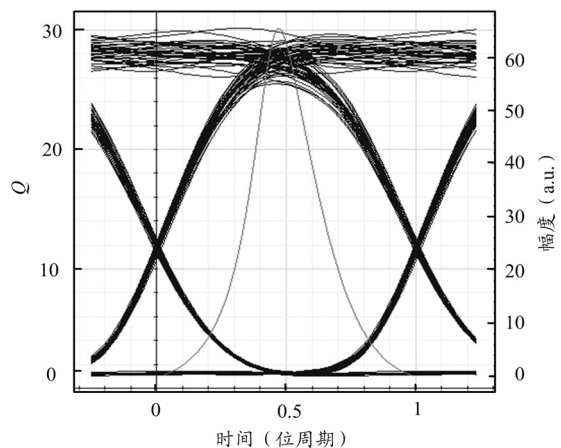
图7 加入前置放大器前后眼图对比图

到了有效抑制,输出信号的波形较平稳,有效改善了信号失真现象。

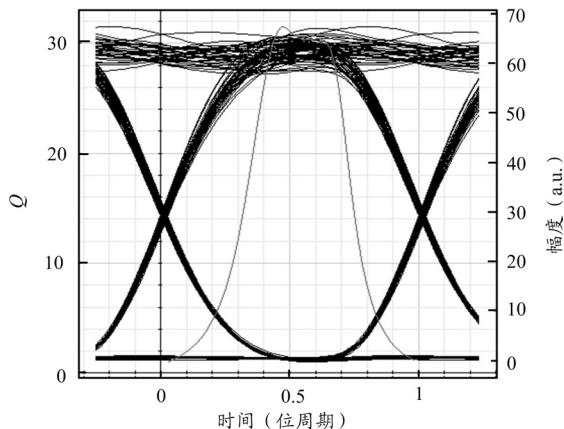
由图 7 看出,相比于未加入前置放大的自相干接收系统,带有前置放大的自相干接收机眼图张开度变大,眼线变细而平滑,说明此时的接收性能优越。当未加前置放大时,测得 Q 因数为 14.327;而加入前置放大后,系统输出 Q 因数为 36.5582。调制信号经过大气

信道传输后,接收到的光功率为 -60.395dBm ,而经过光前置放大后接收到的光功率为 9.214dBm ,前置放大器提高了接收光功率。由于调制后输出的光功率较小,微弱的光信号从发射单元发射后,在远距离传输过程中产生的损耗及大气信道中大气效应等影响,导致接收到的光功率削弱,从而引起波形失真、接收灵敏度下降。而加入前置光放大器后有效增大接收光功率,接收机误码性能得到较大改善,通信质量得到明显提高。

F-P 带宽为 20GHz 时的眼图如图 8(a)所示,测得的 Q 因数为 30.16 ,相比于图 7(b),当减小 F-P 的带宽时,眼图效果有所降低,眼线变散,眼睛张开角度变小。带宽变为 60GHz 时,测得的眼图如图 8(b)所示,当增大带宽时,眼图有所恶化, Q 因数为 31.5027 。滤波器带宽变化将影响接收机效果,当 F-P 滤波器最佳带宽为 35GHz 时,接收灵敏度最好,系统工作在最佳接收状态下。



(a) 带宽为 20GHz 时



(b) 带宽为 60GHz 时

图 8 改变 F-P 带宽输出的眼图

5 结束语

本文在光 DPSK 调制和自相干解调原理的基础上,重点分析了带有前置光放大器的自相干接收结构。在理想环境下,对空间光到单模光纤耦合效率问题进行分析,由分析可知,在湍流信道条件下,耦合效率可达 78% 左右。本文利用光学仿真软件 Optisystem13 完成了基于前置放大的自相干接收系统仿真实验,在仅考虑大气效应的信道环境下,加入光前置放大器和 F-P 滤波器后,接收性能具有明显提高,在星地远距离、带有大气闪烁和瞄准误差的综合信道环境下,系统将会发挥更大作用。由于光放大器的引入无可避免地带来 ASE 噪声,实际应用时要考虑抑制 ASE 噪声的手段。本文研究内容为自相干接收技术提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 张靛,杜中伟,谌明,等. 激光测控通信技术研究进展与趋势[J]. 飞行器测控学报,2016,35(1):10-20.
- [2] 白帅,王建宇,张亮,等. 空间光通信发展历程及趋势[J]. 激光与光电子学进展,2015(7):1-14.
- [3] 王海. 相干光通信零差 BPSK 系统的设计[D]. 成都:电子科技大学,2009.
- [4] 许楠,刘立人,刘德安,等. 自由空间相干光通信技术及其发展[J]. 激光与光电子学进展,2007,44(8):44-51.
- [5] DE LANGE OE. Wide-band optical communication systems: Part II-Frequency-division multiplexing [J]. Proceedings of the IEEE, 1970, 58(10): 1683-1690.
- [6] TSUKAMOTO S, LY-GAGNON D, KATOH K, et al.Coherent demodulation of 40-Gbit/s polarization-multiplexed QPSK signals with 16-GHz spacing after 200-km transmission [J]. Optical Fiber Communication Conference, Technical Digest. OFC/NFOEC, IEEE, 2005, 3(5): 34-37.
- [7] LY-GAGNON D S, TSUKAMOTO S, KATOH K, et al.Coherent detection of optical quadrature phase-shift keying signals with carrier phase estimation[J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(1): 12-21.
- [8] 张慧颖,李洪祚. 基于 DPSK 调制的自由空间光通信性能分析[J]. 光通信研究, 2015(6):61-64.
- [9] 齐鸣,张新亮,黄德修. 可调马赫-曾德尔干涉仪型差分相移键控解调器[J]. 中国激光,2006,33(12):76-81.
- [10] 邓科,王秉中,王旭,等.空间光-单模光纤耦合效率因素分析[J]. 电子科技大学学报,2007,36(5):889-891.
- [11] 向劲松,胡渝. 带前置光放大的卫星激光通信系统的优化[J]. 电子科技大学学报,2006,35(4):433-436.
- [12] 姜会林. 空间激光通信技术与系统 [M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [13] Optisystem 学习手册-光通讯系统仿真设计[Z]. 讯技光电科技(上海)有限公司,2010.