

一种电光组合二维 OCDMA 编解码系统

周 鹏¹, 李传起², 刘志强³, 吕宏伟³, 陆 叶^{1*}

(1.广西师范大学 电子工程学院,广西 桂林 541004;

2.南宁师范大学 物理与电子工程学院,南宁 530001;3.中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004)

摘要:针对光码分多址(OCDMA)系统频谱利用率不高的问题,提出了一种 OCDMA 编解码技术与 PAM4 技术相结合的二维电光组合 OCDMA 编解码系统。建立了两用户、带宽为 10Gb/s 与传输距离为 20km 的 OCDMA 系统模型,并进行了仿真实验。结果表明:该系统能够实现零误码传输,且频谱利用率相较于传统 OCDMA 系统提高了一倍。

关键词:PAM4; OCDMA; 电光组合; 带宽利用率

中图分类号:TN929.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)03-0020-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.03.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Electro-optical combined two-dimensional OCDMA codec system

ZHOU Peng¹, LI Chuanqi², LIU Zhiqiang³, LYU Hongwei³, LU Ye^{1*}

(1. College of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi 541004, China; 2. College of Physics and Electronic Engineering, Nanning Normal University, Nanning 530001, China; 3. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Aiming at the problem of low spectrum utilization of optical code division multiple access (OCDMA) system, an OCDMA two-dimensional electro-optical combined codec system combining OCDMA codec technology and PAM4 technology is proposed. An OCDMA system model with two users, 10G bandwidth and 20km transmission distance is established, and simulation experiments are carried out. The results show that the system can achieve zero error transmission, and the spectrum utilization rate is doubled compared with the traditional OCDMA system.

Key words: PAM4; OCDMA; electro-optic combination; bandwidth utilization

0 引言

随着 4k、8k 视频业务和智慧城市等综合业务的迅猛发展,对通信网络提出了更高的要求。光码分多址(OCDMA)技术凭借其随机接入、容量有弹性、安全性高和网络管理简单等优势,成为解决无源光网络中“最后一公里”的备选方案之一。OCDMA 是码分多址(CDMA)技术与光通信技术的结合,不仅具有 CDMA 的抗干扰能力,而且具有光通信带宽资源丰富的优势^[1,2]。然而,现有的 OCDMA 传输系统带宽利用率不

高,且精密光器件的需求导致系统成本很高。2015 年,华为公司^[3]提出了一种 8 用户的一维 PAM-EOCDMA 编解码系统,采用 PAM4 技术缓解了 OCDMA 系统频谱利用率不高的问题,但由于采用一维地址码,造成了系统用户容量较少。2014 年,吉喆等人^[4]提出了一种基于耦合双环阵列的二维相干光编解码器,虽然该编解码器的体积小、成本低,但是频谱利用率不高。

因此,本文提出一种二维 OCDMA 编解码器,以降低系统成本,提高系统频谱利用率。

1 二维 OCDMA 编解码系统

本文设计的二维 OCDMA 编解码方案如图 1 所示。在发送端,用户数据经过二维电域 OCDMA 编码模块后进行 PAM4 和电光调制,调制后的光信号经过光纤链路到达接收端。在接收端,接收到的编码光信号经过光电转换和 PAM4 解调后送入二维电域 OCDMA 解码模块中,恢复出用户数据。

发送端编码原理如图 2 所示。该编解码器采用地

收稿日期:2018-09-25。

基金项目:广西科技计划(桂 AB17292082)资助;2016 年广西师范大学教师成长基金(EDF2016002)资助。

作者简介:周鹏(1993-),男,江苏南通人,广西师范大学电子工程学院硕士研究生,主要从事光通信网络技术研究。参与 2017 年广西科技计划项目重点研发计划课题:光码分多址系统数字相干与电光组合编解码技术应用研究及设备研制;曾获得“华为杯”研究生电子设计竞赛华南赛区三等奖。

* 通信作者:陆叶 (Email: luye@mailbox.gxnu.edu.cn)。



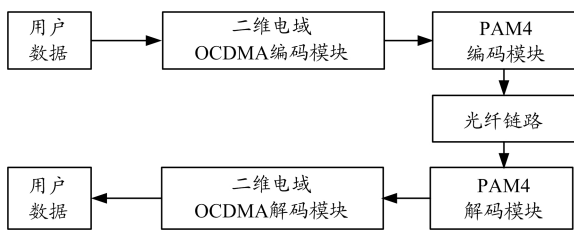


图1 二维 OCDMA 编解码方案

址码 $(L \times \lambda, w, \lambda_a, \lambda_b)$, 其中 L 为码长, λ 为波长, w 为码重, λ_a 为自相关值, λ_b 为互相关值。首先, N 路未编码的用户信号经过二维电域 OCDMA 编码器进行电域编码, 产生电域编码信号 1, 电域编码信号 2, …… , 电域编码信号 N ; 然后, 对 N 路电域编码信号进行 PAM4 生成四阶电平电信号; 最后, 根据用户地址码中不同的波长, 用不同波长的光信号对电信号进行电光强度调制 (IM), 产生光域编码信号 1, 光域编码信号 2, …… , 光域编码信号 N 。 N 路编码光信号被送入波分复用器 (WDM) 中混合成一路光信号后经过光纤传输到解码端。

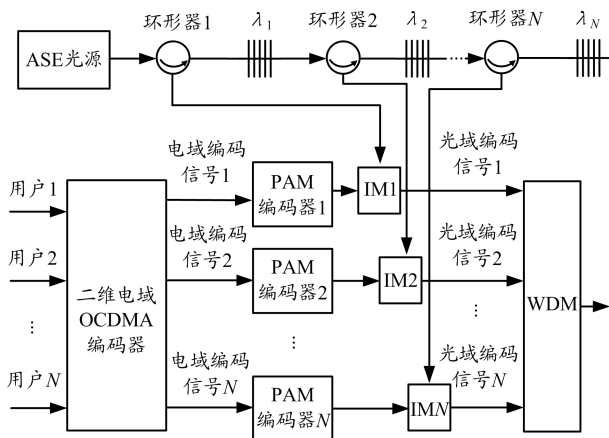


图2 发送端编码原理图

图3为两用户二维电域 OCDMA 编码器的编码原理图。首先, 用户 $R_i (1 \leq i \leq 2)$ 的二进制数据经过 $1 \times w$ 分路器分成 w 路切普; 然后, 根据地址码中信号 1 的位置将每一路切普信号分别延时相应的时间单位; 最后, 将地址码中波长相同的信号切普信号相或, 得到电域编码信号 1, 电域编码信号 2, …… , 电域编码信号 N 。同时, 将多路切普信号相或, 使编码后的信号只存在 0 和 1, 从而达到了电域限幅的效果, 有效抑制了用户之间的多址干扰^[5,6]。

电域解码器接收端原理如图4所示。可以看出, 接收到的光信号经过波分解复用器后得到光域信号 λ_1 , 光域信号 λ_2 , …… , 光域信号 λ_N ; 每一路的光信号经

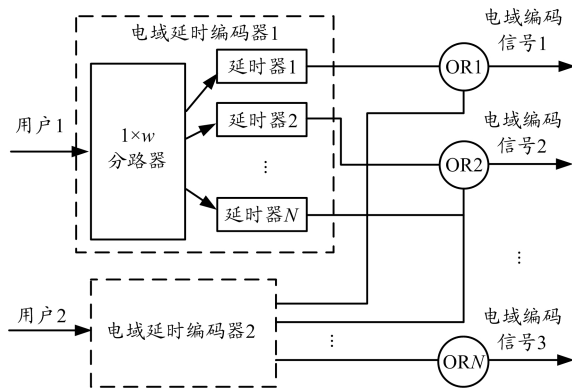


图3 两用户电域 OCDMA 编码原理图

过光电二极管 (PD) 电光转换之后, 生成的电信号送入 PAM4 解码模块, 经解码后送入电域延时解码器中。二维电域 OCDMA 解码器原理与编码器原理相似, PAM4 解码后的信号根据地址码中的相同的波长送入对应的反向延时器中, 每个延时器延时 $(L-L_w-1)\epsilon$ (其中, L 为码长, L_w 为第 w 路信号 1 的位置, ϵ 为码字中相邻码片的时间间隔) 个时间单位后进行叠加, 最后进行阈值判决, 恢复出用户数据^[7]。

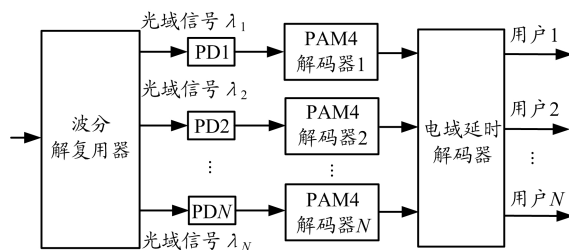


图4 电域解码器接收端解码原理图

2 仿真实验结果

本次实验仿真了一个两用户的二维 OCDMA 编解码系统。在仿真实验中, 用户 1 传输的数据码流为 10101101, 用户 2 传输的数据码流为 11001010, 传输速率均为 5Gb/s。两用户分别使用光地址码集 $(L \times \lambda, w, \lambda_a, \lambda_b) = (2 \times 7, 3, 1, 0)$ 中的 2 个地址码 $\{(1550, 0); (1551, 1); (1552, 3)\}$ 和 $\{(1550, 3); (1551, 0); (1552, 1)\}$ 。仿真传输距离为 20km, 传输介质为单模光纤, 光纤损耗为 0.2dBm/km, 色散系数为 16.75ps/(nm·km)。

在发送端, 电域延时编码器将每个用户的数据复制成 3 份, 再根据地址码中的码长分别延时 0、 ϵ 、 3ϵ 和 3ϵ 、0、 ϵ 个时间单位; 根据地址码中相同波长的信号进行分组相或后进行 PAM4 和电光调制^[8,9]。1551nm 通道经 PAM4 后信号的时域波形如图 5(a) 所示。可以

看出,PAM4 采用四阶电平分别为-3、-1、1和3,分别对应数据 00、01、10和11,使用户带宽利用率增加了一倍。

在接收端,接收到的编码信号经过波分解复用器后分为3路信号,分别进行PAM4解调。1551nm通道信号 PAM4 解调信号如图 5(b)所示。对比图 5(a)和图 5(b)可以看出,PAM4 解调信号的准确性高。图 6 为 1551nm 通道 PAM4 解码的眼图。可以看出,眼图张开较大、形状良好,表明 PAM4 编解码性能良好。

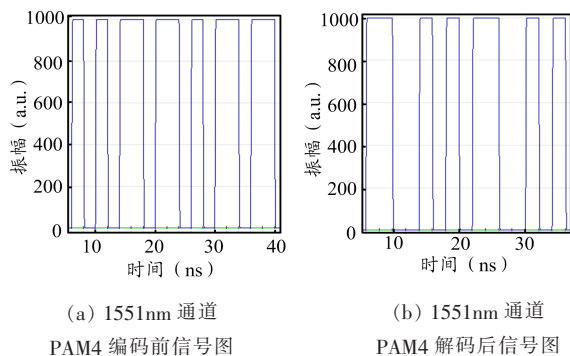


图 5 1551nm 通道 PAM4 编解码信号图

PAM4 解调后的信号经过二维电域 OCDMA 解码器后能正确解调出每个用户的数据,用户 1 码流是 10101101,用户 2 码流是 11001010。两用户解码信号波形如图 7 所示。

图 8 为两路用户解码信号的眼图。可以看出,系统的误码率为 0,眼图图形张开较大、形状良好且迹线清晰,表明该编解码系统具有良好的编解码性能。

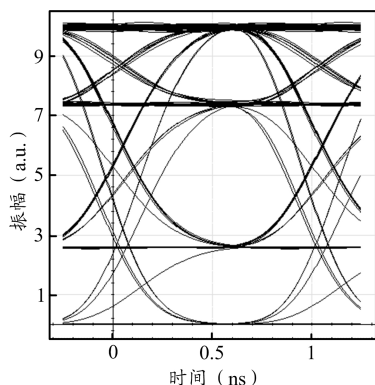


图 6 1551nm 通道 PAM4 解码眼图

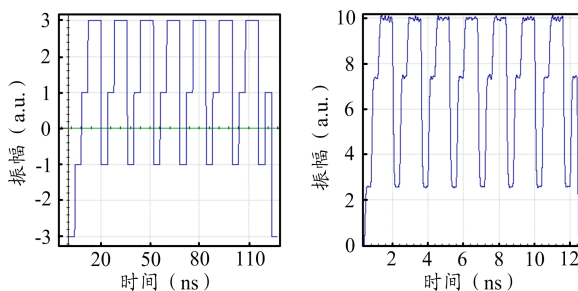


图 7 两用户解码数据码流图

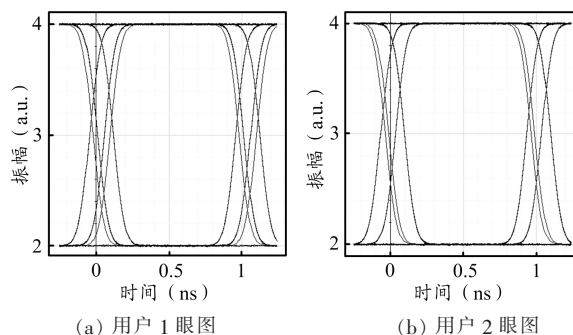


图 8 两用户眼图

3 结束语

本文提出了一种 OCDMA 编解码技术与 PAM4 技术相结合的编解码系统。两用户数据传输速率为 5Gb/s、传输距离为 20km,并将 PAM4 技术与 OCDMA 相结合,成倍增加了系统的带宽利用率;同时,利用电子编码器的灵活性,实现了用户数据传输过程中的限幅操作,不仅降低了用户间多址干扰的影响而且大幅度降低了系统的成本。实验结果表明:该编解码系统能够实现零误码传输。在 5G 技术飞速发展的今天,PAM4 光模块技术也日益成熟,为 OCDMA 推广使用提供了更好的技术支撑^[10]。

参考文献:

- [1] 武为江,蒲涛,朱华涛,等.基于波长选择开关的 OCDMA 编解码系统实验研究[J].中国激光,2016,43(1):122-127.
- [2] 谭业腾,蒲涛,项鹏,等.相干扩时光码分多址系统的物理层安全性研究[J].量子电子学报,2018,35(1):115-121.
- [3] GUO X, LI X, WONFOR A, et al. 8-User PAM-ECDMA PON with 25.6 Gb/s aggregate data rate[C]//2015 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO). May 10-15, 2015, San Jose, California United States. United States: OSA Publishing, 2015: 1-2.
- [4] 吉喆,贾大功,张海伟,等.基于耦合双环阵列的二维相干光码分多址编解码器[J].光学学报,2014,34(5):33-38.
- [5] 申志国. OCDMA 系统多址干扰抑制和组合编解码技术研究[D].南京:南京信息工程大学,2012:22-30.
- [6] 李晓滨.一种新的光码分多址多用户干扰抑制方法[J].光电子·激光,2006(9):1096-1099.
- [7] LI Chuanqi, HU Jinlin, HE Dongdong, et al. A 10 Gbit/s OCDMA system based on electric encoding and optical transmission[J]. Optoelectronics Letters, 2013, 9(6):473-476.
- [8] 赵关宝,沈寒寒,陈伟. PAM4 模块在 DWDM 大数据中心互联系统的应用研究[J].光学与光电技术,2018,16(1):16-20.
- [9] 金琦,胡毅. 100/400 Gbit/s PAM4 光收发模块的技术分析[J].光通信研究,2016(2):33-36.
- [10] 朱梅冬,陆建鑫. PAM4 技术在光通信应用中的系统分析[J].中兴通讯技术,2018,24(4):33-37.