

基于 FBG 的 4 用户、2.5 Gb/s OCDMA-PON 实验研究

申志国¹ 陈晖² 李晓滨³ 李传起²

摘要

光码分多址(OCDMA)技术具有全光处理,异步接入,高安全性等优势.无源光网络(PON)为接入网“最后一公里”瓶颈提供了最佳的解决方案.基于光码分复用的无源光网络(OCDMA-PON)充分发挥了OCDMA技术的特点及PON技术的优势,在未来光接入网中有很大的应用潜力.介绍了OCDMA-PON系统以及FBG编解码器的结构原理.在此基础上采用二维光正交码,设计了4个发送用户和1个接收用户的OCDMA-PON系统,进行了速率为2.5 Gb/s的传输实验.结果表明在多用户随机接入的情况下,该系统能正确解码,性能良好.

关键词

光接入网;无源光网络(PON);光码分多址(OCDMA);光纤布拉格光栅(FBG)

中图分类号 TN915.6

文献标志码 A

收稿日期 2011-09-10

资助项目 国家自然科学基金(60977051);广西高校自然科学基金(20101MS018)

作者简介

申志国,男,硕士生,研究方向为光码分复用系统与网络. ocdma@163.com

李传起(通信作者),男,教授,博士生导师,主要从事光纤通信系统OCDMA网络技术方面的研究. lcq@gxnu.edu.cn

0 引言

随着IPTV、高清视频点播等综合业务的迅猛发展,PON(Passive Optical Network,无源光网络)成为解决“最后一公里”瓶颈的最佳选择.目前,用于PON的复用方式主要有:TDM(Time Division Multiple时分复用),WDM(Wavelength Division Multiple,波分复用)和OCDMA(Optical Code Division Multiple Access,光码分多址)等.其中,OCDMA技术靠相互准正交的地址码来区分网络内的不同用户,所有用户共享带宽,频带利用率高,具有随机接入、容量有弹性、网络控制简单、支持多速率业务、保密性强的特点.本文设计完成了4用户的OCDMA-PON系统实验,采用自主设计的地址码,利用FBG(Fiber Bragg Grating,光纤布拉格光栅)编解码器进行了速率为2.5 Gb/s的数据传输.

1 OCDMA-PON 系统

OCDMA-PON系统通过给每个ONU(Optical Network Unit,光网络单元)分配不同的地址码使多用户共享传输介质.在OCDMA-PON的上行方向,各ONU将信息用自己唯一的地址码编码后发出.由于各ONU使用互相准正交的地址码,其编码后的信息可以随时接入上行信道,不需要对介质进行接入控制,各ONU之间也不需要保持同步关系.同时在下行方向,ONU对OLT(Optical Line Terminal,光线路终端)发来的扩频信息进行相关运算,恢复出本ONU的信号.

OCDMA是一种较新的资源利用方式,OCDMA-PON在以下方面具有独特优势.1)随机接入:允许多个用户随机接入网络,不要求各用户之间的同步.2)抗干扰性:OCDMA-PON系统运用编解码器对脉冲信号进行了扩频处理,使得已扩频信号的带宽足够大,从而增强了系统的抗干扰能力.3)综合QoS服务:OCDMA-PON支持可变速率或多速率传输,可满足不同速率的业务,特别适合不同接入客户的不同要求.4)安全性能:OCDMA系统扩频技术保证了只有在接收端地址和发送端地址严格匹配的情况下,才能恢复出原始信号.

OCDMA-PON近年来发展迅速,国内外学者进行了大量的理论和实验研究^[1-4].根据所采用的编解码原理,OCDMA系统分为相干OC-

1 南京信息工程大学 电子与信息工程学院,南京,210044

2 广西师范大学 电子工程学院,桂林,541004

3 深圳大学 信息工程学院,深圳,518060

DMA 和非相干 OCDMA 两类. 最近, 国外关于相干 OCDMA-PON 系统的实验报道较多, 这种网络用户容量大, 抗干扰性好^[5-6]. 但相干 OCDMA 技术对编解码器和相干光源的性能要求较高, 短期内难以商用. 与之相比, 采用 FBG 编解码器的非相干二维 OCDMA 系统技术较成熟, 可使用常规通信用 LED 光源, 编解码器成本低廉实用性强.

通常用“0,1”矩阵表示一个非相干二维地址码, 其中“1”的位置记录码片的时延(横坐标)和波长(纵坐标), 其余的“0”标示的是时延信息. 利用 FBG 结合光纤延时线构成的二维编解码器, 基本原理是: 按照地址码矩阵中“1”的行号(波长片标志)控制 FBG 的反射波长, 在谱域进行波长分割编码, 再按“1”的列号(时间片标志)控制光纤延时线的延时量, 完成时域上的编码.

2 实验设计及结果分析

实验采用串联结构的 FBG 编解码器, 利用自行设计地址码在 PON 网络中实现 4 用户的传输实验. 在 2.5 Gb/s 的速率下实现了良好的传输效果, 文章以下部分分别对编解码器构造、地址码选取、实验方案和结果进行详细的分析.

2.1 编码方案

编解码器是 OCDMA 系统中的关键器件, 其性能直接影响系统的灵活性、可靠性以及通信质量. 本实验采用级联结构的 FBG 编解码器, 这种编解码器成本低、体积小、插入损耗低, 方便集成, 易于批量生产^[7-8]. 在非相干二维 OCDMA 系统中, 编解码器的基本功能是对光信号进行选频和延时. FBG 能反射特定波长(即布拉格波长)的光信号, 起到选频的作用. 将具有不同反射波长的 FBG 串联起来, 就能得到相应波长的反射信号. 连接各 FBG 之间的光纤起到延时作用, 不同波长的反射脉冲经历的光纤长度不同, 各脉冲在时间上互相分离, 从而在频域和时域上实现了对信号的二维编码. 单个信号脉冲经过编码后将成为一串携带地址码信息的光脉冲序列. 解码器与编码器的原理相同, 结构共轭. 经过正确解码后, 编码光脉冲序列中的各个脉冲将在时域上重新堆叠, 形成一个功率较高的脉冲, 而那些能够被解码器反射但不符合地址码的干扰脉冲经过解码后仍是离散的低功率脉冲. 对解码信号进行恢复处理后就能从中提取目标用户信息.

编解码器的结构由所采用的地址码决定, 地址

码的性能是影响系统通信质量的重要因素. 目前常用的地址码有: 素数码、光正交码和二维 RS 码等^[9-10]. 本文采用二维光正交码(2D-OOC)作为地址码, 该类地址码用户容量大, 性能优良. 2D-OOC 的设计参数可表示为 $(\lambda \times L, \omega, a, c)$, 其中 λ 和 L 分别表示波长片和时间片, ω 为码重, a 与 c 分别是码字的自相关限和互相关限.

本实验中, 4 个发送用户的地址码分别是来自码集 $(31 \times 31, 3, 1, 1)$ 中的 $\{(17, 10), (21, 11), (26, 17)\}$, $\{(18, 10), (22, 11), (27, 17)\}$, $\{(19, 10), (23, 11), (28, 17)\}$ 和 $\{(20, 10), (24, 11), (29, 17)\}$. 编解码器的设计就是依据地址码确定各 FBG 的反射波长和相邻 FBG 间的光纤延时线的长度. 根据级联结构 FBG 编解码器的设计原理并结合实验器材的实际参数, 可将 1 530.7 ~ 1 561.7 nm 范围内的波长按照公差 $\Delta\lambda_B$ 为 1 nm 进行 31 等分. 每个波长片的中心波长值依次为 $\lambda_1 = 1 530.7 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 1 531.7 \text{ nm}$, \dots , $\lambda_{31} = 1 561.7 \text{ nm}$. 将每个时间片的位置间隔设为 0.9 ns, 相邻的时间片的 FBG 用距离为 9 cm 的光纤延时线连接.

2.2 实验设置

如图 1 所示, 实验系统包括 4 个编码器, 将其中地址码为 $\{(17, 10), (21, 11), (26, 17)\}$ 的用户为目标用户, 另外 3 个作为干扰用户. 误码测试仪(anritsu MP1800)产生 2.5 Gb/s 的数据信号并循环发送, 数据是 100100001000, 码型为不归零码(NRZ). 选用在地址码波长范围内功率谱较平坦的 LED 作为光源. 由 LiNbO₃ 调制器对光源进行外调制, 产生的光信号经 EDFA 放大后进入光环行器. 光信号先由 1:4 的耦合器分为 4 路, 耦合器的各支路分别与 FBG 编解码器相连, 反射的编码信号经耦合器合成后从光环行器输出. 编码信号经背对背传输, 进入第 2 个光环行器, 由相应的解码器对目标用户信号进行恢复. 实验中使用光示波器(Agilent DCA-J 86100C)和光谱分析仪(anritsu MS9710C)观测编解码信号的波形及频谱信息.

2.3 实验结果

调制后的光信号功率较低, 需要使用 EDFA 进行放大. 图 2 为经 EDFA 放大后的光脉冲信号的光谱. 从图 2 中可以看出信号在较宽的波长范围内功率平坦, 这样编码后不同波长的脉冲功率相差不会太大, 这是系统正确编解码的基本条件. 非相干 OCDMA 系统对光源的一般要求是功率谱较平坦, 通常

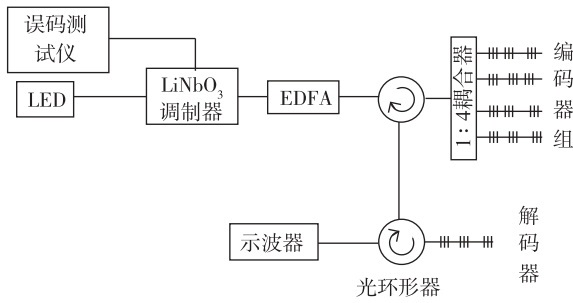


图1 实验系统结构

Fig. 1 Experimental system structure

的通信用 LED 即可满足. 与 WDM 技术相比, 非相干 OCDMA 系统对光源波长稳定性的要求不高. 这是因为编码信号的波长由 FBG 的反射波长决定, 只要对 FBG 进行适当的封装, 即可得到在应用环境下稳定的反射波长. 图 3 是原始信号光脉冲的波形, 图中横坐标的每一格代表的时间为 1 ns, 数据传输速率是 2.5 Gb/s, 每个脉冲宽 0.4 ns.

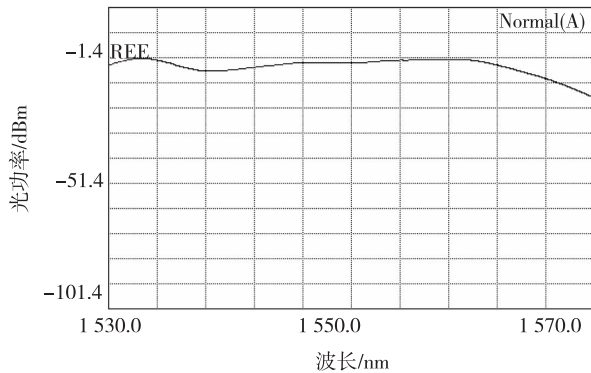


图2 原信号光谱

Fig. 2 The spectrum of data signal

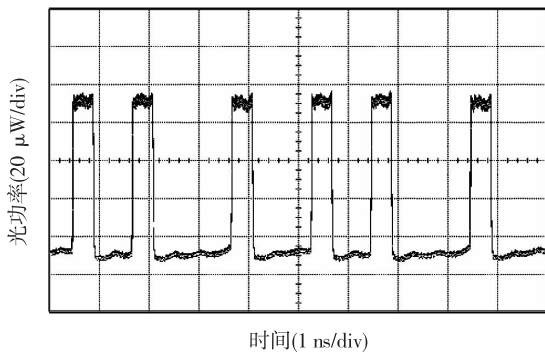


图3 原始数据波形

Fig. 3 The waveform of data signal

宽带光脉冲信号经过 4 个编码器编码后形成合

成编码信号进行传输. 图 4 为从第 1 个光环行器输出的编码信号的光谱. 每个用户的地址码码重为 3, 即每一比特位的编码信号由 3 个波长片组成. 4 路编码信号的合成信号共有 12 个不同波长的峰值, 从图 4 中可以发现中心波长与设计参数基本吻合, 能够符合实验要求. 实验所用 FBG 的反射谱宽在 0.2 nm 左右, 这比波长片公差 $\Delta\lambda_B$ 小很多, 有效地避免了各波长信号间的串扰. FBG 的反射率的一致性较好, 各反射峰的功率值均为 -20 dBm 左右. 4 个编码器与耦合器各支路之间分别连接了一段长度随机的光纤延时线. 这样做的目的是实现用户信号的随机性, 以检验在不同用户随机接入的情况下系统的解码性能. 图 5 是合成编码信号的波形. 从图 5 可以看出从时域上已无法分辨出目标用户的信息, 这说明在多用户的 OCDMA-PON 中, 信号传输具有较高的安全性.

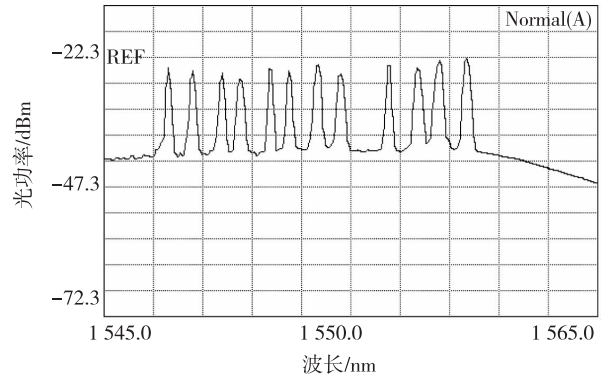


图4 编码信号光谱

Fig. 4 The spectrum of encoded signal

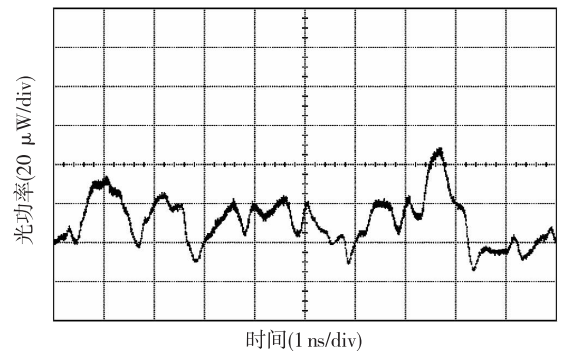


图5 编码信号波形

Fig. 5 The waveform of encoded signal

解码器的光谱如图 6 所示, 它与目标用户编码信号的光谱是一致的. 解码器与编码器的波长组成是相同的, 不同之处在于编解码器中各 FBG 的排列顺序相反. FBG 编解码器的性能是影响 OCDMA 系

统通信质量的关键因素.本实验中,由于解码器和编码器在时域和频域匹配较好,所以解码的效果很理想.在某些情况下编解码器所用 FBG 的性能以及连接 FBG 的光纤延时线长度的一致性较差,这种情况下解码后的信号的质量会受到影响,主要表现是解码后的自相关信号强度降低.

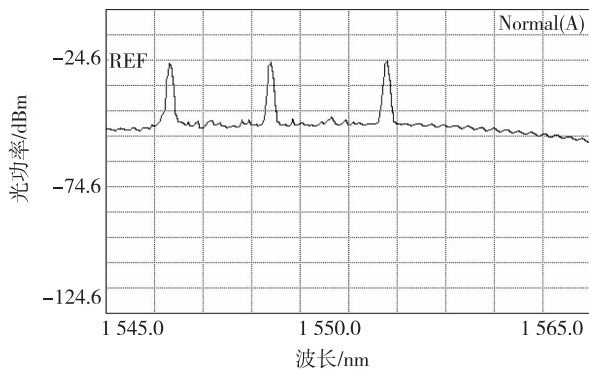


图6 解码信号光谱

Fig. 6 The spectrum of decoded signal

图7是经解码后得到的信号波形,与原始信号波形(图3)对比,可以看出解码信号与用户原数据信号波形一致,该 OCDMA-PON 系统在多用户随机接入的情况下实现了正确解码.2个码字只有在波长和时间片的位置重叠时,才会发生碰撞产生干扰.本实验中的4个用户地址码采用相同的时延不同的波长,因此码片发生碰撞的几率很低,有效地避免了多用户干扰.随着用户数的增加,通信质量会受多址干扰的影响恶化,有必要采用其他手段,如平衡探测法、引入光硬限幅器等来抑制误码^[11].

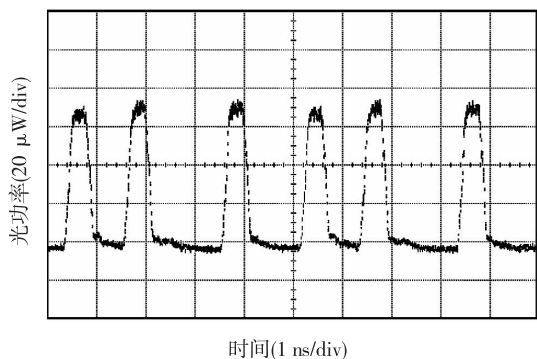


图7 解码信号波形

Fig. 7 The waveform of decoded signal

3 结论

OCDMA-PON 是下一代 PON 的最佳候选方案之

一.近年来,OCDMA 技术的研究取得了一系列进展,尤其在地址码构造、编解码器设计等方面.这些为 OCDMA-PON 技术的实现提供了有利条件.本文从实验的角度,根据 OCDMA-PON 的结构原理设计了4用户传输系统.实验采用 FBG 编解码器,传输速率为 2.5 Gb/s,模拟了多用户随机接入的情形.实验结果表明该 OCDMA-PON 系统实现了正确的解码,通信效果良好. OCDMA-PON 技术还涉及到网络协议、检测技术、抑制误码和可变址编解码器等问题.以后将进行长距离多用户的组网实验,并研究进一步提高用户容量改善传输质量的方法.

参考文献

References

- [1] Yang C. C. Compact optical CDMA passive optical network with differentiated services [J]. IEEE Transactions on Communications, 2009, 57(8): 2402-2409
- [2] Karbassian M M, Ghafouri-Shiraz H. Incoherent two-dimensional array modulation transceiver for photonic CDMA [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(8): 980-988
- [3] Kamio Y, Wada N. OCDM transmission experiments on JGN2 test bed optical link [J]. Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 2006, 53(2): 71-78
- [4] 李传起,周谓,宋标,等.一种光码分多址无源接入网及其性能研究[J].光学学报,2010,30(3):660-665
LI Chuanqi, ZHOU Xu, SONG Biao, et al. A new OCDMA passive access network and its performance analysis [J]. Acta Optical Sinica, 2010, 30(3): 660-665
- [5] Bres C S, Glesk I, Prucnal P R. Demonstration of an eight user 115 Gb/s Incoherent OCDMA system using supercontinuum generation and optical time gating [J]. Photonics Technology Letters, 2006, 18(7): 889-891
- [6] Kataoka N, Wada N, Wang X, et al. Field trial of duplex, 10 Gbps × 8-user DPSK-OCDMA system using a single 16 × 16 multi-port encoder/decoder and 16-level phase-shifted SSFBG encoder/decoders [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(3): 299-305
- [7] 吉建华,徐铭,杨淑雯,等.2.5 Gb/s 码位重叠快跳频光码分多址实验系统[J].中国激光,2006,33(6):779-783
JI Jianhua, XU Ming, YANG Shuwen, et al. Experiment on 2.5 Gb/s symbol overlapping optical fast frequency-hopping code division multiple access system [J]. Chinese Journal of Lasers, 2006, 33(6): 779-783
- [8] 付晓梅,于晋龙,王文睿,等.二维光正交码编码光码分多址系统研究[J].光电子·激光,2005,16(12):1459-1462
FU Xiaomei, YU Jinlong, WANG Wenrui, et al. The characteristics of two-dimension optical orthogonal code encoding OCDMA communication with Bragg grating arrays [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2005, 16(12):

1459-1462

- [9] 周园园,张媛,乙万义,等. OCDMA 系统中变重光正交码的构造及误码率分析[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版,2010,2(6):533-537
ZHOU Yuanyuan,ZHANG Yuan,YI Wanyi, et al. Structure and BER analysis of variable-weight optical orthogonal codes for OCDMA systems[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition,2010,2(6):533-537

- [10] 李传起,李晓滨. 光纤通信 OCDMA 系统 [M]. 北京:科学出版社,2008
LI Chuanqi, LI Xiaobin. Fiber communication OCDMA system[M]. Beijing:Science Press,2008
- [11] 李晓滨. 光码分多址多用户干扰抑制系统性能研究 [J]. 光通信研究,2006(3):38-41
LI Xiabin. Study of performances of optical CDMA multi-user interference suppression systems[J]. Study on Optical Communications,2006(3):38-41

Experimental study of 4-user, 2.5 Gb/s OCDMA-PON based on FBG

SHEN Zhiguo¹ CHEN Hui² LI Xiaobin³ LI Chuanqi²

1 School of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 College of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004

3 College of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060

Abstract Optical code division multiple access (OCDMA) offers all-optical processing, asynchronous access ability, and high potential information security. Passive optical network (PON) provides a solution for last mile bottleneck in optical access network. OCDMA-PON integrates the advantages of OCDMA and technological features of PON. It has great potential in future application of optical access network. In this paper, the theory of OCDMA-PON system and the principle of FBG-based en/decoder are introduced. A transmission experiment is designed with two-dimensional optical orthogonal code (2D-OOC), consisting of four transmitters and one receiver, and the data transmission rate is 2.5 Gb/s. The experimental result shows that in the case of multi-user, the system realizes correct transmission and reaches good performance.

Key words optical access network; passive optical network; optical code division multiple access; fiber Bragg grating