

文章编号: 0258-7025(2003)01-0041-04

基于频谱分割的光码分多址接入系统实验研究

左超, 马文华, 高屹然, 周光涛, 伍剑, 林金桐

(北京邮电大学光通信中心, 北京 100876)

摘要 利用频谱分割技术进行了光码分多址接入(OCDMA)系统传输实验。该实验的编解码器利用可调谐法珀腔的不同自由谱域来区分不同用户,分析、测量了多址干扰对系统性能的影响,对系统中的光源、信道和编解码器的特性进行了讨论。测试表明,该接入系统在速率为155 Mb/s, MAI值是接收用户光功率30倍的情况下,传输11 km普通单模光纤后,误码率优于 10^{-9} 。该系统实现简单,成本低,是全光接入的可选方案。

关键词 光纤通信技术;光码分多址;频谱分割;全光接入

中图分类号 TN 929.11 文献标识码 A

Experimental Research on Optical Code Division Multiplex Access System Based on Spectral Slicing

ZUO Chao, MA Wen-hua, Gao Yi-ran, ZHOU Guang-tao, WU Jian, LIN Jing-tong
(Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract Optical code division multiplex access (OCDMA) transmission system experiment based on spectral splicing is demonstrated. Different users are distinguished by the different free spectral range (FSR) of the tunable Fabry-Perot cavity of the encoder/decoders. The influence of the multiple access interference (MAI) on the system performance is analyzed. The performance of the transmitter, the optical channel and the encoder/decoder is discussed. The BER measurement is also realized. The test results show that the bit error rate is better than 10^{-9} after transmission of 11 km simple mode fiber with the access rate of 155 Mb/s and the MAI value 30 times higher than received optical power. This system is a possible solution for the future all optical access system for its lower cost and simple structure.

Key words fiber communication technique; optical code division multiplex access (OCDMA); spectral slicing; all optical access

1 引言

光码分多址接入(OCDMA)系统作为一种扩展频谱光通信系统,所有用户同时共享光纤中的所有带宽,能够提供灵活的异步多址接入方式,具有高效、宽带、安全、低成本等优点,是下一代全光接入的有力竞争者^[1]。目前主要集中在以下几个研究方向:直接扩时编码^[2],脉冲位置编码^[3],频域相位、振

幅编码^[4],以及跳频编码^[5]技术。随着光纤光栅等光器件技术的发展,跳频光码分多址技术(FH-OCDMA)已经逐步实现产业化^[6]。它采用非相干宽谱光源,不同的接入用户在频域上采用不同的光频率进行编码,各用户码序列之间满足一定的正交性,经扩频后的光脉冲在时域上成为功率值很低的伪随机光噪声信号,接收端经解码后,只有与发送端相同频域编码的光脉冲才能恢复为初始脉冲,其余

收稿日期:2001-10-23

基金项目:电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室开放课题基金资助项目。

作者简介:左超(1972—),男,1994年南京通信工程学院本科毕业,1999年国防科技大学硕士毕业,现为北京邮电大学光通信中心博士研究生。研究方向为高速全光通信网等。E-mail:chaozuo@yahoo.com.cn

用户发送的光脉冲仍然为伪随机噪声信号,称为多址干扰(multi-access interference, MAI)。采用什么样的跳频序列是该技术的关键^[5]。基于频谱分割的光码分多址接入系统在频域对不同的用户采用不同的自由谱域(free spectral range, FSR)来编解码,是实现较为简单的频域光码分多址接入方案。本实验系统的宽谱光源为发光二极管(LED),掺铒光纤放大器(EDFA)的放大自发辐射(ASE),其输出光脉冲在频域由可调谐法-珀腔在自由谱域 7.5~30 GHz 范围内进行编码,每个用户经星型耦合后进行传输,由不断增大干扰用户的 MAI 来模拟接入用户数,接收端同样采用可调谐法-珀腔作为解码器,只有 FSR 相同的用户才能正确接收。该系统实现了变速率(10~622 Mb/s),星型拓扑结构,11 km 单模光纤传输,经系统测试,在干扰用户 MAI 值是正确解调用户信号功率的 30 倍情况下,系统误码率优于 10^{-9} 。

2 实验原理和装置

实验装置如图 1 所示。实验中的主要测试仪器和器件性能如下:误码仪为 Anritsu 公司的 ME522A 型,光谱仪最小分辨率为 0.05 nm,取样示波器带宽为 20 GHz。编解码器为本课题组自制。在发射端,误码仪产生数据格式为 $2^{23}-1$ 的伪随机码,分别调制宽谱光源输出的光信号,不同用户可以工作在不同的速率。该光信号经编码器后,某一路用户在 1550 nm 附近的光谱图如图 2 所示。各路光信号由星型耦合器耦合,经 EDFA 放大后传输。信道为 11 km 普通单模光纤搭配色散补偿光纤或者 30 km 色散位移光纤。在接收端,光信号首先经解码器解码,恢复出所需要的用户光信号,该光信号经接收模块光电转换后的电信号,由误码仪接收端测试误码。

实验中的关键技术是编解码器的设计与制作。其基本原理为频域基于法-珀腔的等间隔频谱分割,参数如下:FSR 在 7.5 GHz 至 30 GHz 范围内连续可调,精细度 F 为 14。调整接收端解码器的 FSR 即可接收不同用户的光信号,方便地实现了各用户之间的通信。由于非正确解调的光信号对于接收用户来说是 MAI 干扰信号,对这种 MAI 的抑制能力体现了该系统所能提供的用户容量。实验中,利用某一路非正确解调光信号来模拟 MAI 的大小,即在不断增大该光信号功率时,测试系统的各项指标,来判断解码器对 MAI 的抑制能力。

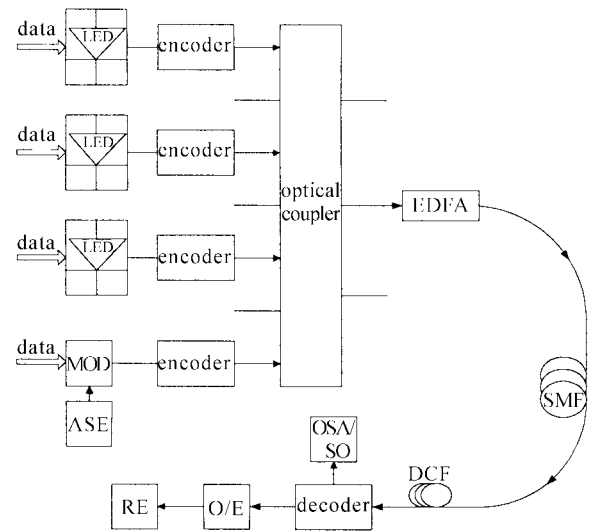


图 1 实验原理图

data: 误码仪发送端数据信号; MOD: 铌酸锂调制器; encoder: 编码器; decoder: 解码器; optical coupler: 光耦合器; SMF: 单模光纤; DCF: 色散补偿光纤; O/E: 光电转换; RE: 误码仪接收端; OSA: 光谱仪; OS: 取样示波器

Fig. 1 Experimental setup

data: transmitter data of the error rate meter; MOD: LiNbO₃ modulator; SMF: single mode fiber; DCF: dispersion compensation fiber; O/E: optical/electronic exchange; RE: receiver of the error rate meter; OSA: optical spectral analyzer; SO: sampling oscilloscope

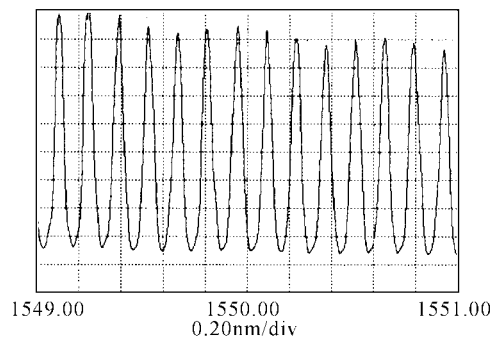


图 2 单路用户经编码器后的输出光谱示意图

Fig. 2 Diagram of the optical spectral output of a single user after the encoder

光源可以使用价格较低的 LED,采用内调制,但调制速率受 LED 的响应限制,最高为 140 Mb/s,同时也可以采用 EDFA 的 ASE 作为光源,由铌酸锂调制器(MOD)实现外调制,最高速率可到 10 Gb/s。

3 实验结果和讨论

3.1 实验结果

图 3 为光源采用 LED,调制速率为 140 Mb/s

时接收端正确解调和非正确解调的眼图(光口测量),码形为 $2^{23}-1$ 的伪随机 NRZ 码。此时干扰用户也工作在 140 Mb/s。测试表明改变干扰用户的速率(10~140 Mb/s)不影响正确解调用户的误码率。

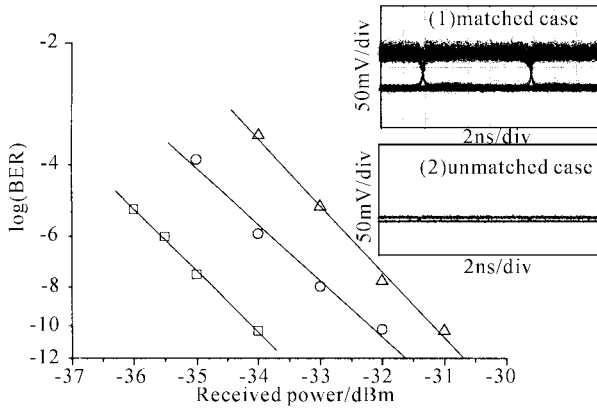


图3 接收端正确解调的误码率曲线和眼图(光)速率 140 Mb/s, $2^{23}-1$ 的伪随机 NRZ 码,多址干扰 0.23 dBm (1) 背靠背正确解调的眼图;(2) 背靠背非正确解调的眼图
□: 背靠背; ○: 单模光纤 11 km; △: 色散位移光纤 30 km
Fig. 3 Measured eye diagrams and BERs after the receiver encoder with bit rate 140 Mb/s, $2^{23}-1$ (PRBS) NRZ and the MAI is 0.23 dBm Back to back eye diagram (1) matched case; (2) unmatched case. □ back to back; ○ SMF 11 km; △ DSF 30 km

11 km 单模光纤在 1550 nm 的色散参量 $D = 16.89$ ps/km · nm, 色散斜率为 0.086 ps/km · nm²。30 km 色散位移光纤在 1550 nm 的色散参量 $D = 0.95$ ps/km · nm, 色散斜率为 0.073 ps/km · nm²。色散补偿光纤的色散参量 $D = -100$ ps/km · nm, 长度为 400 m。

当干扰用户光源采用 LED, 速率为 100 Mb/s, 在光耦合器前不断加大干扰用户的光功率时, 接收端的 MAI 误码率曲线如图 4 所示, 此时发射端光源采用 ASE, 外调制速率为 622 Mb/s, 码形为 $2^{23}-1$ 的伪随机 NRZ 码。从图中可以看出, 采用单模光纤搭配色散补偿光纤后, 在干扰用户的 MAI 值是正确接收用户光功率的 10 倍时, 系统误码率优于 10^{-8} 。当正确解调用户工作在 155 Mb/s 时, 测量表明干扰用户的 MAI 值是正确接收用户光功率的 30 倍时, 系统误码率优于 10^{-9} 。该曲线的变化趋势与理论报道^[7]一致。

3.2 讨论

1) 光源的选择。实验中同时使用了两种非相干宽谱光源。LED 具有价格低廉的优势, 但是它的

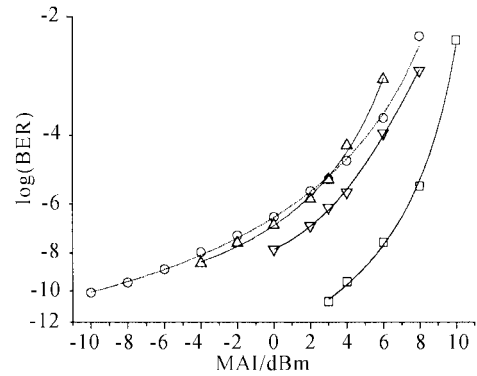


图4 MAI 误码率曲线

发送端光功率为 -10 dBm, 速率 622 Mb/s, $2^{23}-1$ 的伪随机 NRZ 码。□: 背靠背; ▽: 单模光纤 11 km+色散补偿光纤 400 m; △: 单模光纤 11 km; ○: 色散位移光纤 30 km

Fig. 4 Measured BERs versus MAI

The transmitter power is -10 dBm, the bit rate is 622 Mb/s and the code is $2^{23}-1$ (PRBS) NRZ

□ back to back; ▽ SMF 11 km+DCF 400 m; △ SMF 11 km; ○ DSF 30 km

调制速率低, 发光功率较小。而 ASE 作为光源需要使用外调制, 但工作速率可以很高。作为全光接入系统, 工作速率低于 140 Mb/s 时采用 LED 是合适的。

2) 光纤信道的选择。实验中使用了普通单模光纤和色散位移光纤以及普通单模光纤搭配色散补偿光纤作为传输信道, 测试结果表明, 单模光纤搭配色散补偿光纤是最佳的选择。由于本系统采用了宽谱光源(LED~60 nm), 光脉冲在传输中有较大的色散展宽, 特别是工作在较高速率时, 因此在接收端进行色散补偿有利于提高系统性能。另一方面, 一般传输系统中存在对线路 EDFA 累积噪声的抑制问题, 由于本系统在频域的编码范围较宽, 因此可以直接利用 EDFA 在 1530nm 附近较大的 ASE 作为发射端光源, 不必进行 EDFA 累积噪声的消除。

3) 系统对 MAI 的抑制能力直接与编解码器的性能有关, 因此设计法-珀腔的 FSR 和精细度 F 需要综合考虑, 精细度越高, 对 MAI 的抑制越好, 但光功率损失也就越大。

4 结论

本实验对非相干宽谱光源进行频谱分割, 不同的用户由不同的 FSR 进行区分, 不断增大干扰用户的发送光功率来模拟 MAI 值的大小, 实现了频域的光码分多址接入传输实验。测试表明, 该接入系统

在速率为 155 Mb/s, MAI 值是接收用户光功率 30 倍的情况下, 传输 11 km 普通单模光纤后, 误码率优于 10^{-9} 。与基于时分复用和波分复用的全光接入系统相比, 该系统不需要严格的波长对准和时间同步, 降低了对光器件的要求, 技术实现简单, 价格低廉, 速率透明, 拓扑结构灵活, 适合于小规模的全光接入系统。

参 考 文 献

- 1 Wei Huang, Mohamed H. Nizam, Ivan Andonovic *et al.*. Coherent optical CDMA(OCDMA) systems used for high-capacity optical fiber networks-system description, OTDMA comparison, and OCDMA/WDMA networking [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2000, **18**(6):765~778
- 2 P. R. Prucnal, M. A. Santoro, T. R. Fan. Spread spectrum fiber-optic local area network using optical processing [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1986, **LT-4**(5):547~554
- 3 Hossam M. H. Shalaby. Direct detection optical overlapping PPM-CDMA communication systems with double optical hardlimiters [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(7):1158~1165
- 4 H. P. Sardesai, C. C. Chang, A. M. Weiner. A femtosecond code-division multiple-access communication system test bed [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(11):1953~1964
- 5 H. Fathallah, L. A. Rusch, S. Larochelle. Passive optical fast frequency-hop CDMA communications system [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(3):397~405
- 6 H. Ben Jaafar, S. LaRochelle, P. Y. Cortes *et al.*. 1.25 Gb/s transmission of optical FFH-OCDMA signals over 80 km with 16 users. in OFC' 2001, 2001, paperTuV3-1
- 7 Ma Wenhua, Zuo Chao, Lin Jintong. The analysis on asynchronous frequency-time spreading OCDMA system with modified prime code [J]. *J. Beijing University of Posts and Telecommunications* (北京邮电大学学报), 2001, **24**(1):1~5 (in Chinese)