

文章编号: 0258-7025(2006)06-0779-04

## 2.5 Gbit/s 码位重叠快跳频光码分多址 实验系统

吉建华, 徐 铭, 杨淑雯, 张志朋

(深圳大学新技术研究中心, 广东 深圳 518060)

**摘要** 设计并实现了单用户、数据速率 2.5 Gbit/s 的码位重叠快跳频光码分多址(SO-FFH OCDMA)实验系统。采用波长数为 7 和码长为 4 的单重合码,在数据速率 2.5 Gbit/s 时设计和制作了基于光纤布拉格光栅(FBG)的光编码/解码器,并测试了光编码器和光解码器的频谱图。脉冲发生器产生 2.5 Gbit/s 的非归零(NRZ)脉冲信号,外调制放大自发辐射(ASE)宽带光源后,通过光环行器进入光编码器进行光信号的扩频编码。编码后的光信号经掺铒光纤放大器(EDFA)放大后,输入到光解码器进行扩频解码,并通过 2.5 Gbit/s 接收模块转换为电信号。从解码信号的波形看,在用户数据速率为 2.5 Gbit/s 时,该系统能够正确解码用户的数据信息。实验结果表明,相对于传统的快跳频光码分多址系统,码位重叠快跳频光码分多址可大大提高用户的数据速率。

**关键词** 光通信;快跳频光码分多址;光纤光栅;单重合码

**中图分类号** TN 929.11 **文献标识码** A

## Experiment on 2.5 Gbit/s Symbol Overlapping Optical Fast Frequency-Hopping Code Division Multiple Access System

JI Jian-hua, XU Ming, YANG Shu-wen, ZHANG Zhi-peng

(Advanced Technology Research Centre, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

**Abstract** Experiment on 2.5 Gbit/s symbol overlapping fast frequency-hopping optical code division multiple access (SO-FFH OCDMA) system with single user is designed and demonstrated. Under user's data rate 2.5 Gbit/s, fiber Bragg grating based optical encoder and decoder are designed and fabricated employing one-coincidence sequence, which the number of wavelengths is seven and code length is four. The spectra of optical encoder and decoder are measured. Pulse generator generates 2.5 Gbit/s non-return zero (NRZ) pulse signal, which is used to externally modulate amplified spontaneous emission (ASE) broadband source, and then optical signal is fed into optical encoder to spread spectrum. At the receiver, an Erbium-doped fiber amplifier (EDFA) is employed to amplify the encoded optical signal, then optical signal is fed into the decoder, and is also converted into electrical signal by 2.5 Gbit/s receiver module. It can be shown from the waveforms of decoded optical signal and the electronic signal that, user's data can be decoded correctly at 2.5 Gbit/s data rate. Experiment shows that compared with traditional FFH OCDMA, SO-FFH OCDMA has much higher user's data rate.

**Key words** optical communication; fast frequency-hopping optical code division multiple access; fiber Bragg gratings; one-coincidence sequence

### 1 引 言

光码分多址(OCDMA)结合了光纤的海量带宽和电码分多址的优点,具有高速的光信号处理、无延

迟随机异步接入、网络控制简单、业务透明性好且安全可靠等特点,是未来宽带接入和高速局域网的最佳可选方案之一。其中,基于光纤布拉格光栅(FBG)编解码的快跳频光码分多址(FFH

收稿日期:2005-09-26;收到修改稿日期:2006-01-24

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60132040)和广东省自然科学基金(5301028,04300855)资助课题。

作者简介:吉建华(1970—),男,江苏江阴人,深圳大学新技术研究中心副教授,主要从事光通信、扩频通信和信道编码的教学和科研工作。E-mail:jjh@szu.edu.cn

OCDMA)是目前光码分多址研究的热点之一<sup>[1~4]</sup>。

文献[5,6]提出了一种码位重叠的快跳频光码分多址(SO-FFH OCDMA)系统,该系统的数据速率可达到扩频信号的切普速率。本文设计和制作了光纤布拉格光栅光编解码器并测试了其频谱图,设计了码位重叠快跳频光码分多址实验系统,在单用户条件下实现了数据信号速率为2.5 Gbit/s的正确解码。

### 2 实验系统

码位重叠快跳频光码分多址实验系统如图1所示,采用放大自发辐射(ASE)宽带光源,数据信号由误码仪 ADVANTEST 03371 产生2.5 Gbit/s的电信号(矩形脉冲),经 LiNbO<sub>3</sub> 调制器进行外调制并通过环形器后,由光纤光栅编码器进行光域扩频编码。环形器输出的光信号经过掺铒光纤放大器(EDFA)放大,经背对背传输后,由光纤光栅解码器进行光域解码,解码后的光信号通过 Agilent 8610A 宽带示波器进行观察,同时输入 PHOTON(飞通公司)2.5 Gbit/s接收模块,转换为电信号,然后通过 Agilent 8610A 宽带示波器进行分析。

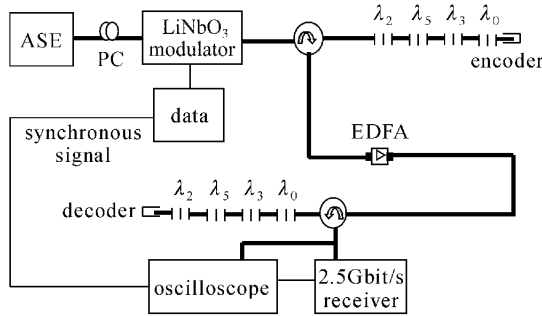


图1 码位重叠快跳频光码分多址实验系统

Fig. 1 Experimental system of SO-FFH OCDMA

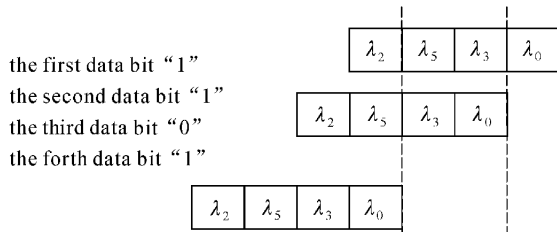


图2 码位重叠快跳频光码分多址扩频原理

Fig. 2 Principle of spectrum-spreading in SO-FFH OCDMA

码位重叠快跳频光码分多址系统的扩频编码原理如图2所示<sup>[5,6]</sup>,用户的每个数据比特“1”扩频成

$N$  个光脉冲信号(这里  $N = 4$ ),每个光脉冲的时间间隔(即切普宽度)等于数据比特周期。当用户发送数据比特“0”时,不发送光信号。码位重叠快跳频光码分多址系统的数据速率等于切普速率,是传统快跳频光码分多址系统数据速率的  $N$  倍,但码位重叠快跳频光码分多址系统的多址干扰要比传统快跳频光码分多址系统大。

### 3 光编解码器设计

码位重叠快跳频光码分多址系统的地址码采用单重合码<sup>[7]</sup>,设  $q$  为一个奇整数(等于系统的有效波长数),定义码长  $N = q - 2d - 1$ ,  $d$  为任意两个相邻“切普”波长的最小间隔。例如,  $q = 7, N = 4, d = 1$ ,根据文献[7]的构造方法,可以构成7个单重合码(码长  $N = 4$ ):  $\{2 \oplus k, 5 \oplus k, 3 \oplus k, 0 \oplus k\}$ ,其中  $k = 0, 1, \dots, 6$ ,“ $\oplus$ ”表示模7的加法。

在实验中,这7个波长选定为100 GHz间隔的ITU-T的标准波长,分别为  $\lambda_0 = 1547.715$  nm,  $\lambda_1 = 1548.515$  nm,  $\lambda_2 = 1549.315$  nm,  $\lambda_3 = 1550.116$  nm,  $\lambda_4 = 1550.918$  nm,  $\lambda_5 = 1551.721$  nm,  $\lambda_6 = 1552.524$  nm。

扩频信号的切普宽度用  $T_c$  表示,则相邻光纤布拉格光栅的中心间隔为  $L = cT_c / 2n_{eff}$ ,其中  $c$  为真空中的光速,  $n_{eff}$  为光纤内的有效群折射率。在实验中,取  $T_c = 0.4$  ns(相当于用户数据速率2.5 Gbit/s),所以  $L = 3 \times 10^8 \times \frac{4 \times 10^{-10}}{2 \times 1.55} \approx 4$  cm。实际取  $L =$

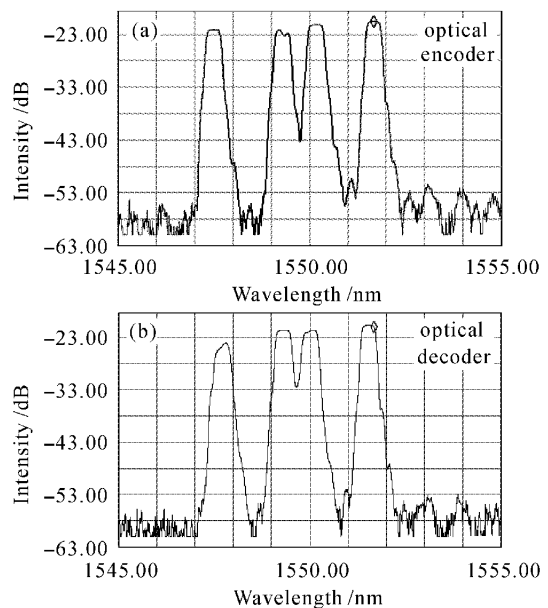


图3 光编码器/解码器的频谱图

Fig. 3 Spectra of optical encoder/decoder

4 cm, 其中光纤布拉格光栅的长度为 1 cm, 光纤延迟线的长度为 3 cm, 其精度为  $\pm 2$  mm. 光纤布拉格光栅的反射谱设计成高斯形, 3 dB 带宽为 0.4 nm, 峰值反射率为 20 dB 以上。

图 3 为设计制作的光编码器/解码器的频谱图, 采用 Agilent 86142B 光谱仪进行测试。光编码器的码字为  $\lambda_2\lambda_5\lambda_3\lambda_0$ , 光解码器的码字为  $\lambda_0\lambda_3\lambda_5\lambda_2$ 。

## 4 实验结果

误码仪输出 2.5 Gbit/s 数据信号 100110, 图 4 为编码前的光信号波形, 即 2.5 Gbit/s 数据信号经过 LiNbO<sub>3</sub> 调制器进行外调制后, 通过 Agilent 8610A 宽带示波器观察到的光信号波形。图 5 为解码后的光信号波形, 即接收端的光信号通过光解码器解码后, 通过 Agilent 8610A 宽带示波器观察到的光信号波形。图 6 为解码后的电信号波形, 即解码后的光信号由飞通公司 2.5 Gbit/s 接收模块转换为电信号后, 通过 Agilent 8610A 宽带示波器观察到的电信号波形。

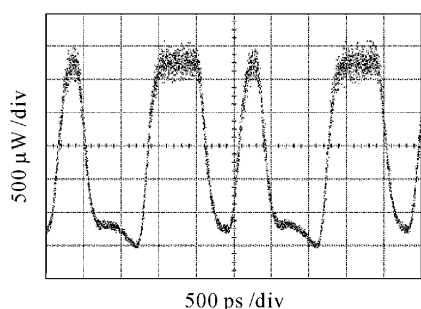


图 4 编码前的光信号波形

Fig. 4 Waveform of optical signal before encoder

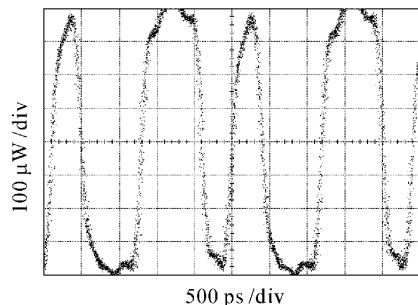


图 5 解码后的光信号波形

Fig. 5 Waveform of optical signal after decoder

从图中的解码输出波形可以看出, 虽然存在一定的背景噪声, 但接收端的光信号和电信号能够正确解码发送端的数据信号 100110。实际上, 由于系

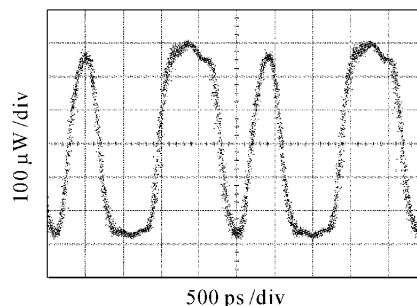


图 6 解码后的电信号波形

Fig. 6 Waveform of electric signal after decoder

统的数据信号是“0”和“1”的二进制信号, 从图 5 或图 6 的波形信号看, 只要判决门限取“0”和“1”光信号强度的中间值, 即可正确判决。因此, 设计的码位重叠快跳频光码分多址能够正确解码速率 2.5 Gbit/s 的数据信号。

## 5 结 论

在用户数据速率 2.5 Gbit/s 的条件下, 采用波长数为 7, 码长为 4 的单重合码, 设计和制作了基于光纤光栅的光编解码器。从光编码器和光解码器的频谱图看, 两者的匹配性较好。在此基础上, 设计并实现了单用户数据速率为 2.5 Gbit/s 的码位重叠快跳频光码分多址实验系统, 正确观察到了解码后的光信号和电信号波形。实验结果表明, 在用户数据速率为 2.5 Gbit/s 时, 码位重叠快跳频光码分多址系统能够正确解码和恢复用户数据信号。下一步工作将设计制作多个光纤光栅的光编解码器, 在多用户条件下研究码位重叠快跳频光码分多址系统性能。

## 参 考 文 献

- 1 H. Fathallah, L. A. Rusch, S. Larochelle. Passive optical fast frequency-hop CDMA communications system [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, 17(3):397~405
- 2 H. Fathallah, L. A. Rusch. Robust optical FFH-CDMA communications; coding in place of frequency and temperature controls [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, 17(8):1284~1293
- 3 Yang Shuwen, Pu Tao, Xu Ming *et al.*. Research of algebraic congruent codes used in two-dimensional code division multiaddress system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, 24(2):225~229
- 4 杨淑雯, 蒲涛, 徐铭等. 用于二维光址多址系统的代数同余码研究[J]. *光学学报*, 2004, 24(2):225~229
- 5 Wang Shouyuan, Yu Chongxiu, Zhang Qi. Research of a novel OCDMA system scheme based on the MPHCs and FBG en-/decoders [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, 32(8):1081~1085
- 6 王守源, 余重秀, 张琦. 基于光纤光栅编解码和修正素数跳频

- 码的一种光码分多址系统方案研究[J]. 中国激光, 2005, 32(8):1081~1085
- 5 E. Inaty, H. M. H. Shalaby, P. Fortier. Multi-class/multi-rate overlapped optical FFH-CDMA system: SIR performance evaluation and cutoff rates analysis [C]. *IEEE International Conference on Communications*, 2004, 3:1714~1719
- 6 Chengbin Sheng, Chen Wu, Jinhui Yu *et al.*. A novel symbol overlapping FFH-OCDMA system [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, 2(2):78~81
- 7 Li Bin. One-coincidence sequences with specified distance between adjacent symbols for frequency-hopping multiple access [J]. *IEEE Transactions on Commun.*, 1997, 45(4):408~410

\*\*\*\*\*

## 中国光学学会 2006 年学术大会的通知

### 2006' General Congress of Chinese Optical Society

**会议时间:**2006 年 9 月 3~5 日

**会议地点:**中国·广州

**主办单位:**中国光学学会

**承办单位:**华南师范大学,广东省光学学会

**展馆地点:**中国·深圳(2006 年 9 月 6~9 日)

**协办单位:**清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室,广州光学学会,深圳光学学会,中国光学学会国际会议展览工作委员会,中国国际光电博览会(深圳),广州光学光电子行业协会,深圳光学光电子行业协会

**会议宗旨:**两年一次的中国光学学会年会,将于 2006 年 9 月 3~5 日在广州举行。由华南师范大学和广东省光学学会具体承办。本次会议将总结交流我国光学、光子学和工程光学领域的最新成果,展望 21 世纪的发展方向,为新老学者提供探讨新思想、交流新技术的讲台,促进本领域的科技创新和成果转化。本次会议将与光学、光电子新技术和新产品大型国际展览会——中国国际光电博览会及中国光电产业高级论坛同期举行。

**会议名誉主席:**王大珩(中国科学院)

**会 议 主 席:**母国光(南开大学)

**节目委员会主席:**金国藩(清华大学)

**组织委员会主席:**刘颂豪(华南师范大学)

**大 会 秘 书 长:**邢 达(华南师范大学)

大会安排 15 个专题会议(分会场):1) 量子光学与非线性光学, 2) 生物与医学光学, 3) 激光物理与技术, 4) 光学功能材料, 5) 集成光子学与光纤光学, 6) 光通信与光传感, 7) 光学存储与光全息, 8) 工程光学与光学制造, 9) 光电技术与系统, 10) 光学薄膜技术, 11) 超快光学, 12) 光学微系统与微纳米技术, 13) 颜色光学、眼(科)光学和仪器, 14) 激光加工技术, 15) 光学教学研究

**会议论文提交截止时间:**2006 年 6 月 15 日(论文提交请见会议网站及第二轮通知)

**承办单位地址:**广州市华南师范大学信息光电子科技学院, 邮政编码:510631

**电话:**+86-020-39310309, +86-020-85216848, **传真:**+86-020-39310311, **联系人:**崔红丽, 罗爱平

**电子邮箱:**guangd@scnu.edu.cn(崔红丽), luoai ping2003@126.com(罗爱平)

本会议建立了会议网页,网址为:<http://laser.scnu.edu.cn/final/index2.htm>。敬请访问浏览,了解会议细节和相关的最新信息。