

# 基于扩展二次同余码/单重合序列的二维光码分多址系统仿真

陈志文<sup>1,2</sup> 孙刘杰<sup>2</sup> 庄松林<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093; <sup>2</sup> 上海理工大学光光与电子信息工程学院, 上海 200093)

**摘要** 基于扩展二次同余码/单重合序列(EQC/OCS),利用光纤布拉格光栅(FBG)和光纤延迟线作为编解码器,对二维非相干光码分多址(OCDMA)系统进行系统仿真。通过软件仿真,实现了4个用户的EQC/OCS码字的解码相关输出结果。结果表明,低成本的FBG编/解码器实现了EQC/OCS码字的编码和相关解码,提高了二维OCDMA系统容量。

**关键词** 光通信;光码分多址;仿真;光纤布拉格光栅;单重合序列;扩展二次同余码

**中图分类号** TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.110602

## Simulation of 2-D Optical Code-Division Multiple Access System Based on Extended Quadratic Congruencies Code/One Coincidence Sequence Code

Chen Zhiwen<sup>1,2</sup> Sun Liujie<sup>2</sup> Zhuang Songlin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China

<sup>2</sup> Optical and Electronic Information Engineering College, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

**Abstract** Based on extended quadratic congruencies code/one coincidence sequence (EQC/OCS) the incoherent 2-D optical code-division multiple access system (OCDMA) is simulated by using fiber Bragg grating (FBG) and fiber delay line. The expected en/decoding result with four users is obtained by system simulation. It is indicated that the low cost FBG can be employed as en/decoder for EQC/OCS code, which can enhance the system capacity of 2-D OCDMA system.

**Key words** optical communications; optical code-division multiple access; simulation; fiber Bragg grating; one coincidence sequence; extended quadratic congruencies

**OCIS codes** 060.4510; 060.3735; 060.2630; 060.4785

## 1 引言

二维光码分多址(2-D OCDMA)系统的光脉冲信号同时在时域和波长或空间域上扩展,具更大的用户容量和更好的系统性能,是目前OCDMA系统的主要发展方向和研究热点之一<sup>[1~7]</sup>。陈志文等<sup>[7]</sup>提出的扩展二次同余码/单重合序列(EQC/OCS)码(以扩展二次同余码作为时间扩频伪随机序列,以单重合序列作为波长跳频伪随机序列),相比其他编码方法,码字容量更大,而且所采用的波长数可为任意整数,不局限于素数,可充分利用系统的有效波长数。本文主要是基于EQC/OCS码,采用光纤延迟线和光纤布拉格(Bragg)光栅(FBG)相结合的二维非相干编/解码方案,采用OptiSystem软件,进行系统仿真,验证系统方案的可行性,为后续单元级及系统级实验起到指导作用。

**收稿日期**: 2011-04-13; **收到修改稿日期**: 2011-06-14; **网络出版日期**: 2011-09-03

**基金项目**: 国家自然科学基金(60772027),校博士基金(SPPCBSQD11-01)资助课题。

**作者简介**: 陈志文(1974—),男,博士,主要从事光通信/嵌入式软件/数字出版等方面的研究。

E-mail: chzw\_jjh@163.com

2 EQC/OCS 码字结构

二维光正交码是在一维光地址码的基础上,通过扩展波长信道而得到的。根据文献[7]的构造方法,以素数  $p=5$ ,波长数  $q=10$  构造 EQC/OCS 码字。 $p=5$  的 EQC 码字和  $q=10$  的 OCS 码字分别如表 1 和表 2 所示。结合表 1 中的 EQC 码  $C_1$ ,EQC/OCS 码  $C_1H_x$  可如表 3 所示,其他码字  $C_iH_x$  依此类推。

表 1 EQC 码的码字结构( $p=5$ )

Table 1 Code structure of EQC when  $p=5$

$j$	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
0	100000000	100000000	100000000	100000000
1	010000000	001000000	000100000	000010000
2	000100000	010000000	000010000	001000000
3	010000000	001000000	000100000	000010000
4	100000000	100000000	100000000	100000000

表 2 OCS 跳频序列( $q=10,d=2$ )

Table 2 OCS frequency-hopping sequence ( $q=10,d=2$ )

$H_0$	3	7	4	0	9
$H_1$	4	8	5	1	9
$H_2$	5	0	6	2	9
$H_3$	6	1	7	3	9
$H_4$	7	2	8	4	9
$H_5$	8	3	0	5	9
$H_6$	0	4	1	6	9
$H_7$	1	5	2	7	9
$H_8$	2	6	3	8	9

表 3 EQC/OCS 码字  $C_1H_x$  ( $p=5,q=10,d=2$ )

Table 3  $C_1H_x$  code structure of EQC/OCS when  $p=5,q=10,d=2$

Subitem	Code								
	$C_1H_0$	$C_1H_1$	$C_1H_2$	$C_1H_3$	$C_1H_4$	$C_1H_5$	$C_1H_6$	$C_1H_7$	$C_1H_8$
$j=0$	$\lambda_300000000$	$\lambda_400000000$	$\lambda_500000000$	$\lambda_600000000$	$\lambda_700000000$	$\lambda_800000000$	$\lambda_000000000$	$\lambda_100000000$	$\lambda_200000000$
$j=1$	$00\lambda_7000000$	$00\lambda_8000000$	$00\lambda_0000000$	$00\lambda_1000000$	$00\lambda_2000000$	$00\lambda_3000000$	$00\lambda_4000000$	$00\lambda_5000000$	$00\lambda_6000000$
$j=2$	$0\lambda_40000000$	$0\lambda_50000000$	$0\lambda_60000000$	$0\lambda_70000000$	$0\lambda_80000000$	$0\lambda_00000000$	$0\lambda_10000000$	$0\lambda_20000000$	$0\lambda_30000000$
$j=3$	$00\lambda_0000000$	$00\lambda_1000000$	$00\lambda_2000000$	$00\lambda_3000000$	$00\lambda_4000000$	$00\lambda_5000000$	$00\lambda_6000000$	$00\lambda_7000000$	$00\lambda_8000000$
$j=4$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$	$\lambda_900000000$

3 基于 FBG 的编/解码器仿真

FBG 是一种性能优良的光谱选择性器件,具选频作用。通过紫外写入等方法控制纤芯的折射率沿轴向发生周期性的改变,形成布拉格光栅,从而对特定波长的光具有很强的反射作用,而对其他波长的光则基本不发生反射。正是由于光栅的波长可选择性和光栅中心波长可灵活改变,且具有体积小、制备工艺简单、低插入损耗等优点,在 OCDMA 系统的二维编/解码领域获得了广泛的应用研究,本节仿真设计采用 FBG 及光纤延迟线相结合的方案。

3.1 编/解码器结构

采用 OptiSystem 仿真软件的 FBG 编码器结构如图 1 所示,编码序列以  $C_1H_6$  为例,由 FBG、光分路器、光纤延迟线和光合路器组成。当输入脉冲光进入 FBG 时,不同波长入射光波经过光分路器后,首先通过光纤延迟线对光波进行延迟,然后分别经过 5 个并行光栅(中心反射波长分别为  $\lambda_0,\lambda_4,\lambda_1,\lambda_6,\lambda_9$ )反射,最后通过光合路器得到在时域上将产生分离不同波长成分的脉冲序列,从而实现二维非相干编码。FBG 解码器结

构与编码器结构正好构成反对称,解码器相应波长的延迟时间与编码器相应波长的延迟时间成互补关系。当接收的光脉冲序列编码信号经过匹配的 FBG 解码器以后,进行相关解码。

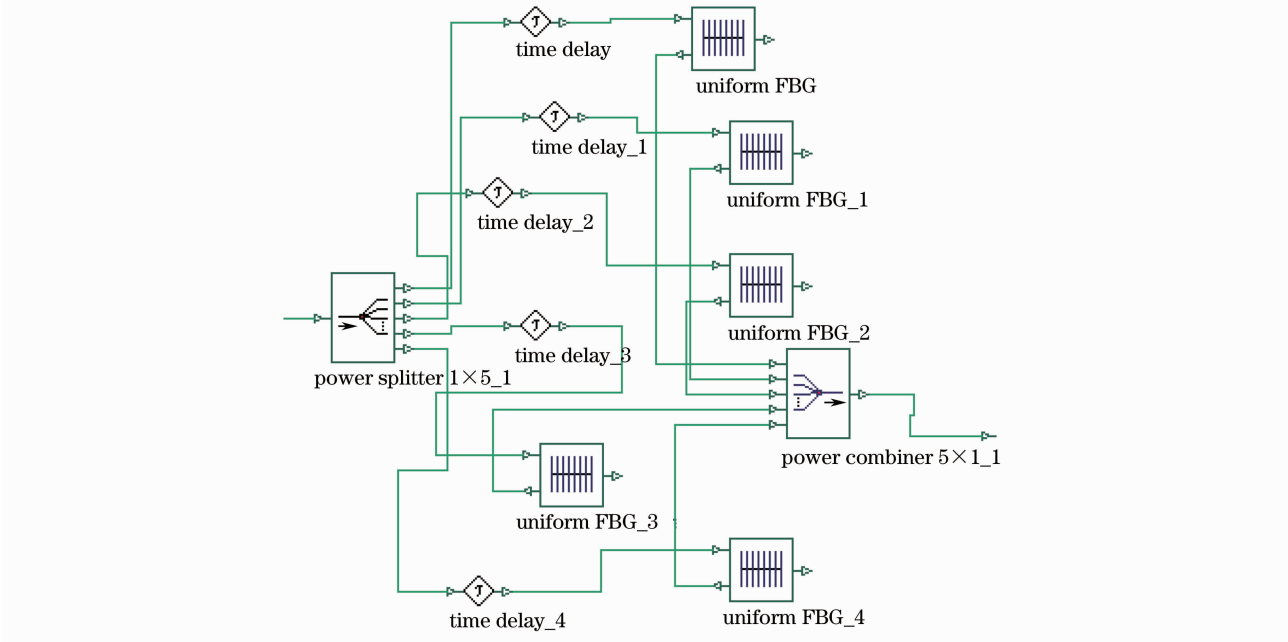


图 1  $C_1H_6$  编码器结构  
Fig. 1  $C_1H_6$  encoder structure

3.2 仿真结果分析

为了仿真实际系统存在多址干扰的情况,选取 4 个用户( $C_1H_6$ ,  $C_1H_7$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_8$ )进行了仿真。仿真参数如下:数据速率为 100 Mb/s,通过随机比特序列产生器产生;光源选用仿真软件传输库中的 CW Laser 连续激光源,采用 MZ 外调制器;传输距离为 20 km;波长数为 10(仿真选取的波长从 1550 nm 开始的 10 个波长,相邻波长间隔为 0.8 nm,对应的波长  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_9$  分别为 1550, 1550.8,  $\dots$ , 1557.2 nm),具体跳频波长由各个用户的跳频码决定。通过示波器对仿真系统各个输出进行了观察。用户  $C_1H_6$  输入的原始数据信号如图 2(a)所示,经过 FBG 编码器(跳频波长分别为: $\lambda_0, \lambda_4, \lambda_1, \lambda_6, \lambda_9$ ,各“切普”间的光纤延迟时间分别为 0,2.44444,4.22222,6.44444,8 ns)编码的信号如图 2(b)所示。经过解码器相关解码后得到的光数据信号如图 2(c)所示。

用户  $C_2H_8$  的仿真结果如图 3 所示,系统存在多址干扰,但能够正确解码。

3.3 不匹配仿真

当解码器的地址码与编码器的地址码不匹配时,解码器无法进行正确解码。如编码器的地址码和解码

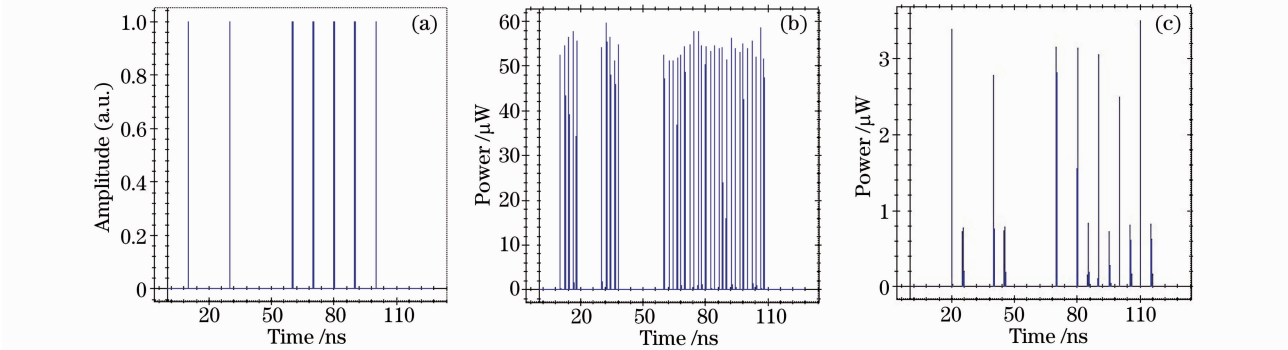


图 2 EQC/OCS 编/解码系统仿真结果(用户  $C_1H_6$ )。(a)原始数据信号;(b)编码后的时域光信号;(c)解码后的时域光信号

Fig. 2 Outputs of the OCDMA encoder/decoder system based on FBG and EQC/OCS code (user  $C_1H_6$ ).

(a) Original data signal; (b) optical signal after encoding; (c) optical signal after decoding

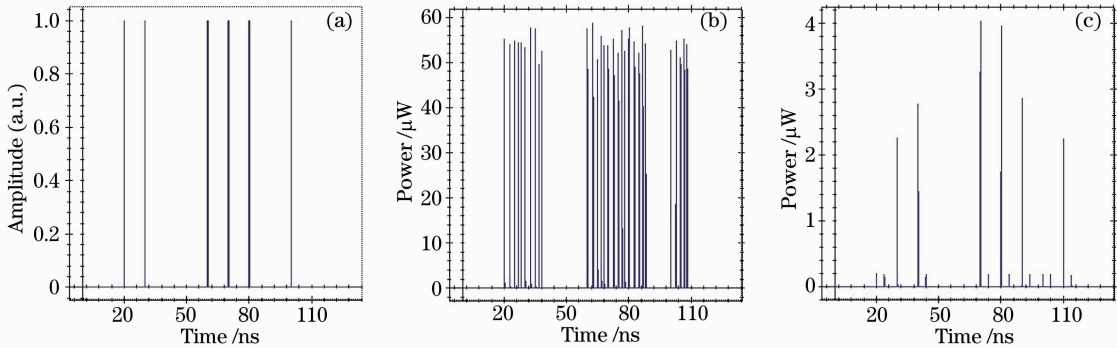


图 3 EQC/OCS 编/解码系统仿真结果(用户  $C_2H_8$ )。 (a)原始数据信号; (b)编码后的时域光信号; (c)解码后的时域光信号

Fig. 3 Outputs of the OCDMA encoder/decoder system based on FBG and EQC/OCS code (User  $C_2H_8$ ).

(a) Original data signal; (b) optical signal after encoding; (c) optical signal after decoding

器的地址码分别选取 EQC/OCS 地址码  $C_1H_6$  和  $C_2H_8$ 。图 4 是经过解码器  $C_2H_8$  的解码信号,解码产生的光信号功率极低(纳瓦级),与原始数据信号[图 2(a)]完全不一样,实际上得到的是相当于多址干扰信号。

4 结 论

FBG 编解码器具有制作工艺简单、成本低、体积小及插入损耗小等特点,具有较为优良的性能和广阔的应用前景。基于 FBG 的编/解码原理,基于二维 EQC/OCS 的 OCDMA 编/解码方案,采用 OptiSystem 软件,通过计算机仿真,实现了四个用户的 EQC/OCS 码字的编码和相关解码。由于硬件条件限制,目前尚未加工 FBG 编/解码器,实际构建 OCDMA 系统,在今后的工作中将进一步开展。

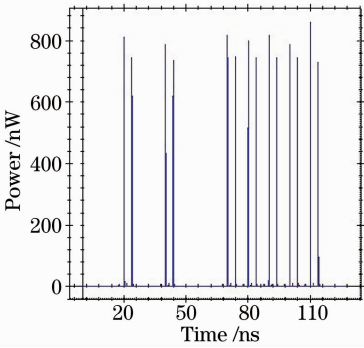


图 4 不匹配解码器解码信号

Fig. 4 Mismatched decoder signal

参 考 文 献

1 Xin Yu, Yu Chongxiu, Wu Qiang *et al.*. A kind of two-dimension code word structure of OCDMA system and fiber Bragg grating en-/de-coder[J]. *J. Optoelectronics Laser*, 2003, **14**(5): 512~514  
辛 雨, 余重秀, 吴 强 等. 一种 OCDMA 二维码字结构及光纤光栅编/解码器[J]. 光电子·激光, 2003, **14**(5): 512~514  
2 Zhou Xu, Li Chuanqi, Zhu Yingchun. Investigation on optical code division multiple access en/decoder and optical threshold devices[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(s1): 17~21  
周 诤, 李传起, 朱迎春. 光码分多址中编解码器和阈值器件的研究[J]. 光学学报, 2009, **29**(s1): 17~21  
3 Fang Tao, Lu Lin, Li Yuquan *et al.*. Application of optical pulse source with frequency chip in OCDMA system[ J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(3): 623~628  
方 涛, 卢 麟, 李玉权 等. 啁啾脉冲光源用于光码分多址系统的研究[J]. 光学学报, 2009, **29**(3): 623~628  
4 Li Chuanqi, Zhou Xu, Song Biao *et al.*. A new OCDMA passive access network and its performance analysis[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(3): 660~664  
李传起, 周 诤, 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): 660~664  
5 Lin Chuanyi, Yu Xiangyang. Effects of third order dispersion on the BER of OCDMA system[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, **47**(5): 050602  
林传艺, 余向阳. 三阶色散效应对光码分多址系统误码率的影响[J]. 激光与光电子学进展, 2010, **47**(5): 050602  
6 Wan Shengpeng, Hu Yu. Two-dimensional optical CDMA differential system with prime/OOC codes[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(12): 1373~1375  
7 Chen Zhiwen, Ji Jianhua, Zhuang Songlin. A novel code design and performance analysis of two-dimensional optical orthogonal codes[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2010, **37**(5): 70~73  
陈志文, 吉建华, 庄松林. 一种新的二维光正交码的设计与性能分析[J]. 光电工程, 2010, **37**(5): 70~73