

W-OCDMA系统中MPC/OOC二维码的构造及实现

周秀丽, 胡渝, 谭庆贵, 么周石

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】基于光正交跳频码构造原理, 分别用改进素数码和光正交码为时域扩频模式和频域跳频模式, 并构造了适用于无线光码分多址系统的调整数码/光正交码二维组合码。和现有二维码相比, 该组合码容量大, 通过有规律的分组, 每组内码字具有良好的相关性, 同时组内具有较大的码容量。该构造方式易于实现, 对构造实例设计了可调谐光纤布拉格光栅编解码器。

关键词 光码分多址; 光正交码; 改进素数码; 调整数码/光正交码; 光纤布拉格光栅

中图分类号 TN914.53

文献标识码 A

Construction and Realization of MPC/OOC on W-OCDMA System

ZHOU Xiu-Li, HU Yu, TAN Qing-gui, YAO Zhou-shi

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Based on the construction theory of optical orthogonal hopping codes, constructed the two dimensions MPC/OOC combination codes for the wireless-OCDMA system with the modified prime code as time spreading codes and the optical orthogonal codes as frequency hopping codes. This coding scheme has large code's capacity compared with the two dimensional codes in existence. By grouping, the MPC/OOC code has good performance in auto-correlation and cross-correlation with still quite large codes capacity. Designed the tunable FBG encoder and decoder to the construction example.

Key words optical code division multiple access; optical orthogonal code; modified prime code; modified prime code/optical orthogonal code; fiber brags grating

近年来, 无线光通信技术得到快速的发展, 无线光码分多址技术(Wireless Optical Code Division Multiple Access, W-OCDMA)因其抗干扰性强、随机接入、保密性好等而成为星际链路中很有发展潜力的一种多址技术。W-OCDMA系统中, 所有用户同时占有整个带宽, 在时间和频率上重叠, 利用地址码在光域内的正交性来实现彼此的区分。构造容量大并易于实现的地址码是W-OCDMA技术实现的基础。

从电域码分多址到光纤码分多址, 对地址码的构造进行了广泛的研究, 目前地址码方案主要有一维和二维地址码, 有一维光正交码(Optical Orthogonal Code, OOC)^[1], 素数码(Prime Code, PC)等^[2], 但一维地址码的容量有限, 因此提出了二维地址码的构造^[2], 目前已有一些二维地址码的构造方案^[3-5], 但设计大容量的地址码仍然是OCDMA技术的研究热点, 也是W-OCDMA技术在星间链路中使用的重要条件。本文基于改进素数码(Modified PC, MPC)和OOC, 进行时域扩频/频域跳频二维组合码MPC/OOC的构造, 并分析其容量、讨论相关性及实现。

1 光正交跳频码的构造

光跳频CDMA是对一个比特数据上的脉冲用不同的波长进行编码。在光跳频CDMA中, 设第 k 个用户的

收稿日期: 2004-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60272006)

作者简介: 周秀丽(1971-), 女, 在职博士生, 讲师, 主要从事光通信技术方面的研究。

跳频图案是 $H_k(l)$, 则第 k 个用户的跳频码可表示为^[6] :

$$I_{k,l} = H_k(l) \frac{B}{q} \tag{1}$$

式中 $l=1,2,\Lambda,W$, W 为码字中脉冲数 ; B 是信号带宽 ; q 为总的跳频数 ; $I_{k,l} \in I$, $I = \{I_0, I_1, \Lambda, I_{q-1}\}$ 为可选波长的集合。对于 $(L,W,1)$ -OOC , L 表示码长 , W 为码重 , 1 表示该 OOC 的自相关和互相关限。设其码系为 $\{S_{i,0}, S_{i,1}, \Lambda, S_{i,W-1}\}$, $S_{i,0} < S_{i,1} < \Lambda < S_{i,W-1}$, $i=1,2,\Lambda,C$, C 为 $(L,W,1)$ -OOC 的容量 , 构造光正交跳频码的关键是构造出 $\max(S_{i,W-1}) - q - 1$ 的 OOC , q 为跳频数。然后将 $S_{i,j}$ 直接作为跳频码发生器的频率 , 即 $\{I_{S_{i,0}}, I_{S_{i,1}}, \Lambda, I_{S_{i,W-1}}\}$ 。由此发生器可以生成的跳频码为 $\{I_{S_{i,0} \oplus j}, I_{S_{i,1} \oplus j}, \Lambda, I_{S_{i,W-1} \oplus j}\}$, 式中 \oplus 运算为对 q 取模运算 , 其中 $j=0,1,\Lambda,q-1$ 。

在光跳频码的频率之间增加时间间隔 , 利用时域扩频码的时间位置特性 , 可构造出光时域扩频/频域跳频组合码。

2 光时域扩频/频域跳频组合码的构造

2.1 MPC/OOC 组合码的构造

首先构造 OOC , 采用 Wilson 方法^[7] , 可以构造出 $(13,3,1)$ -OOC , 包括两个码字 : $(0,1,4)$ 和 $(0,2,7)$ 。

然后构造 MPC , 构造 MPC 的前提是构造对应的素数码 , 根据素数码的构造算法^[8] , 得到素数 p 的对应码字 C_i , $i \in (0,1,\Lambda,p-1)$, 对素数码采用循环移位的办法 , 得到 MPC。取和 $(13,3,1)$ -OOC 相同的码重 , 即 $p=3$, 可获得 MPC 码字数量为 $p^2=9$, 码长也为 $p^2=9$ 。

据上节的二维时域扩频/频域跳频组合码的设计思路 , 这里采用 MPC 序列作为扩时序列 , OOC 作为跳频序列。在每个时域扩频中 1 的位置上 , 用频域跳频模式中的波长替换 , 替换方法为第 j 个波长替换时域扩频码中的第 j 个 1 , 这样可以得到 MPC/OOC 组合码的码发生器。

前面设计的 $(13,3,1)$ -OOC 对应的两个码字 $(0,1,4), (0,2,7)$, 可得到跳频模式如表 1 所示。总的跳频模式数为 : $L \times F_{\text{OOC}}$, 其中 F_{OOC} 为正交码的码容量 , L 为 OOC 的码长。

表 1 (13,3,1)-OOC 频域跳频模式

	跳频模式	跳频码发生器
H_0	$H_{0i} \ i \in (0,1,\dots,12)$	$I_{0 \oplus i} I_{1 \oplus i} I_{4 \oplus i}$
H_1	$H_{1i} \ i \in (0,1,\dots,12)$	$I_{0 \oplus i} I_{2 \oplus i} I_{7 \oplus i}$

前面设计方法得到的 MPC 为时域扩频模式 , OOC 为频域调频模式 , 依次用频域跳频模式中的波长替换该 MPC 中的 1 , 得到如表 2 所示的二维地址码。

表 2 MPC/OOC 组合码

跳频模式	码序列	跳频模式	码序列
$H_{0i} C_j$ $j = (0,1,\dots,8)$	$I_{0 \oplus i} 00 \ I_{1 \oplus i} 00 \ I_{4 \oplus i} 00$	$H_{1i} C_j$ $j = (0,1,\dots,8)$	$I_{0 \oplus i} 00 \ I_{2 \oplus i} 00 \ I_{7 \oplus i} 00$
	$I_{0 \oplus i} 00 \ 0I_{1 \oplus i} 0 \ 00I_{4 \oplus i}$		$I_{0 \oplus i} 00 \ 0I_{2 \oplus i} 0 \ 00I_{7 \oplus i}$
	$I_{0 \oplus i} 00 \ 00I_{1 \oplus i} \ 0I_{4 \oplus i} 0$		$I_{0 \oplus i} 00 \ 00I_{2 \oplus i} \ 0I_{7 \oplus i} 0$
	$0I_{0 \oplus i} 0 \ 0I_{1 \oplus i} 0 \ 0I_{4 \oplus i} 0$		$0I_{0 \oplus i} 0 \ 0I_{2 \oplus i} 0 \ 00I_{7 \oplus i} 0$
	$0I_{0 \oplus i} 0 \ 00I_{1 \oplus i} \ I_{4 \oplus i} 00$		$0I_{0 \oplus i} 0 \ 00I_{2 \oplus i} \ I_{7 \oplus i} 00$
	$0I_{0 \oplus i} 0 \ I_{1 \oplus i} 00 \ 00I_{4 \oplus i}$		$0I_{0 \oplus i} 0 \ I_{2 \oplus i} 00 \ 00I_{7 \oplus i}$
	$00I_{0 \oplus i} \ 00I_{1 \oplus i} \ 00I_{4 \oplus i}$		$00I_{0 \oplus i} \ 00I_{2 \oplus i} \ 00I_{7 \oplus i}$
	$00I_{0 \oplus i} \ I_{1 \oplus i} 00 \ 0I_{4 \oplus i} 0$		$00I_{0 \oplus i} \ I_{2 \oplus i} 00 \ 0I_{7 \oplus i} 0$
	$00I_{0 \oplus i} \ 0I_{1 \oplus i} 0 \ I_{4 \oplus i} 00$		$00I_{0 \oplus i} \ 0I_{2 \oplus i} 0 \ I_{7 \oplus i} 00$

2.2 MPC/OOC 组合码的性能分析

1) MPC/OOC 的容量分析 : MPC/OOC 码码长和码重保持时域扩频码 MPC 的不变 , 即码重 $W = p$, 码长

$F = p^2$ 。MPC/OOC可用的波长数等于跳频模式中OOC的码长 L ，通过该二维地址码方案中波长和脉冲位置的不同组合，可组成的码发生器数为： $F_{\text{OOC}} \times p^2$ ，每个码发生器可产生的码序列数为 L ，码字的数目扩大到 $W_{\text{MPC/OOC}} = L \times F_{\text{OOC}} \times p^2$ 。2) MPC/OOC码的自相关性分析：MPC/OOC码的码重等于 W ，所以其自相关最大值为 W 。MPC/OOC码的互相关性分析：当两个码具有相同的跳频格式、不同的时域扩频格式，产生MPC的移位置算子 t 不同。如码字 $(I_00000I_10I_40)$ 和 $(00I_00I_10I_400)$ ，互相关为2。

由MPC的构造方法可知，MPC码是在原有PC基础上的循环移位形式，码发生器中码波长的下标是OOC中的1在时间位置上的坐标，而该时间位置是由MPC确定，在同一个素数码产生的移位序列，会产生互相关峰值为 $p-1$ 的结果，这种情况下该二维组合码的互相关峰值为 $p-1$ 。其他条件下所有码字的互相关小于等于1。

综合以上分析可知，MPC/OOC的互相关最大值为 $p-1$ ，有的二维组合码保持了MPC的相关特性，但MPC/OOC组合码的码字数量多，可以通过移位次数 t 挑选码组， $t \in (0, p-1)$ ，以上构造的MPC/OOC，属于同一跳频码发生器产生的码字可分为 p 组，每组码字由移位次数 t 确定，每个 t 对应所有码字的互相关小于等于1，因此可对这些码分组使用。

将本文提出的MPC/OOC码和文献[5]中所提出的混合编码方案作一比较。假设均采用 p 素数码，MPC/OOC码的光跳频模式采用 $(L, p, 1)$ -OOC，则文献[5]中给出的混合编码方案的码长为 p^2 。当 $p=3$ ， $F_{\text{OOC}}=2$ ， $L=13$ 时，文献[5]中所提出的混合编码的码容量为6，所用的波长数为3；而MPC/OOC码的码容量为234，每组码容量为78，所用的波长数为13，码长为 $p^2=9$ 。另外，同样条件下，采用Prime/OOC码的码容量为78^[4]，可见每组码容量刚好是Prime/OOC码的码容量。从构造的实例来看，能产生大容量的地址码，而保持码长不变，但是由于出现了互相关峰值较高的情况，该类型的码可以分组使用，或者只用于同步W-OCDMA系统。

3 MPC/OOC的实现

对本文提出的编码方案，可以设计可调布拉格光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)编解码器，来满足基于MPC/OOC组合码的二维W-OCDMA系统的编解码要求。

3.1 光栅设计

在同一根光纤上等距离制作若干个同样参数的子光纤光栅，压电陶瓷作用在光栅上，可以达到改变子光纤光栅中心波长的目的。通过改变电陶瓷的电压可以达到任意变址的目的。

设定两个邻近的子光栅间中心间距为 l ，每一个子光栅长度为 l_c ，任意两子光栅间的空间距离为 l_s ，则有 $l = l_c + l_s$ ，码片 $T_c = n_g 2l/c$ ，其中 n_g 为有效群速系数， c 为光速， T_c 确定最大码片速率。假定子光栅的中心波长为：

$$\Delta I_b = I^2 \sqrt{1 + (kl_c / \pi)^2} / n_{\text{eff}} l_c \quad (2)$$

式中 k 是耦合效率； n_{eff} 为光纤的有效折射率，根据文献[3]光栅的中心反射波长偏移最大波长为：

$$\Delta I_s = 0.8I\Delta l / l_c \quad (3)$$

式中 Δl 是压电陶瓷的长度改变量。那么最大的可用于一次编码的子光栅的数目 m 为： $m = \Delta I_s / \Delta I_b$ ，也即确定了此编码器所能采用的地址码的最大码重为 m ，假设地址码的码长为 N ，则光纤光栅阵列的长度为： $l_{\text{total}} = (N-1)l$ ，即需要在同一根光纤上制作 N 个子光栅。

基于以上原则，本文提出的MPC/OOC，设计地址码 $H_{0i}C_0$ 对应的编解码器结构如图1、2所示。

对于给出的实例，通过连续改变FBG的中心波长，只要FBG的调谐范围能达到需要的13个波长值，用一个FBG就可以实现由码发生器 $H_{0i}C_0$ 所生成的所有MPC/OOC码，用18根可调多布拉格光纤光栅就可以得到所有的码字。在图中，假设光栅的FWHM(半值全宽)为0.2 nm，因此要得到由码发生器 $H_{0i}C_0$ 所生成的所有码字，光纤光栅的调谐范围必须大于等于2.6 nm。目前，研究工作者已经制作了Bragg波长漂移范围达到40 nm的FBG^[10]，可见，利用可调谐FBG能够获得构造实例里面所有的地址码。

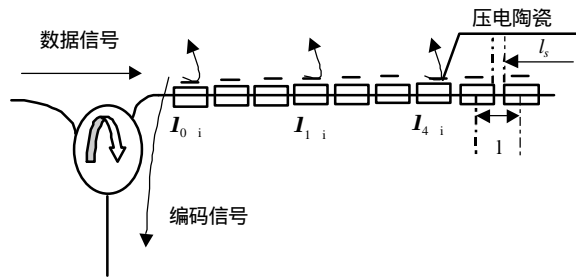


图1 MPC/OOC 编码器结构

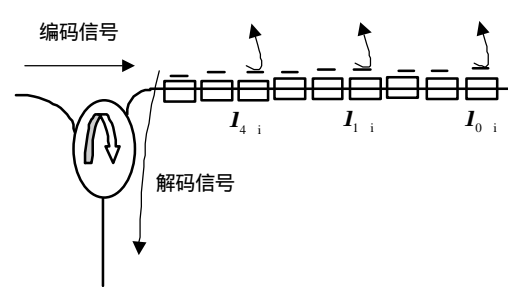


图2 MPC/OOC 解码器结构

4 结 论

基于光正交跳频码的构造原理,以MPC为时域扩频模式,OOC为频域跳频模式,构造了二维MPC/OOC组合码。和现有其他码字相比,同样条件下,该类型码字容量大大增加而保持码长不变,但是当两个码具有相同的跳频格式、不同的时域扩频格式特征,且产生两个码的MPC的移位置次数 t 不同时,会出现互相关峰值较高的情况。因此在无线光OCDMA系统中,对该MPC/OOC码可以通过分组使用,以充分利用各码组优越的相关性能。对构造码字设计了可调谐FBG制作的编解码器。分析表明,利用可调谐FBG可获得MPC/OOC构造实例里所有的码字,本编码方案和对应的编解码器方案将是实现W-SOCDMA的理想方案。

参 考 文 献

- [1] Chung F R K, Salehi J A, Wei V K. Optical orthogonal code design, analysis, and applications [J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1989, 35(3): 595-604
- [2] Wen J H, Lin J Y, Liu C Y. Modified prime-hop codes for optical CDMA systems [J]. Communications, IEE Proceedings, 2003, 150(5): 404-408
- [3] Djordjevic I B, Vasic B. Novel combinatorial constructions of optical orthogonal codes for incoherent optical CDMA systems[J]. Lightwave Technology, 2003, 21(9): 1 869-1 875
- [4] Wan Sheng Peng, Hu Yu. Two-dimensional optical CDMA differential system with prime/OOC codes [J]. Photonics Technology Letters, 2001, 13(12): 1 373-1 375
- [5] Tancevski L, Andonovic I, Tur M, et al. Hybrid wavelength hopping/time spreading code division multiple access systems [J]. IEE Proc-Optoelectron., 1996, 143(3):161-166
- [6] Fathallah H, Rusch L A, LaRochelle S. Passive optical fast frequency-hop CDMA communication system [J], Lightwave Technology, 1999,17(3): 397-405
- [7] Chung H, Kumar P V. Optical orthogonal codes-new bounds and an optimal construction [J]. IEEE Trans. Inform.Theory, 1990,36(4): 866-873
- [8] Prucnal P R, Santoro M A, Fan T R. Spread spectrum fiber-optic local area network using optical processing [J]. Lightwave Technology, 1986, 4(5): 547-554
- [9] Fathallah H, Rusch L A, LaRochelle S. Passive optical fast frequency-hop CDMA communications system[J]. J. Lightwave Technol, 1999, 17(3): 397-405
- [10] Set S Y, Dabarsyah B, Goh C S, et al. A widely tunable fiber bragg grating with a wavelength tenability over 40 nm [C]. OFC 2001, 2001, 1: MC4 1-MC4_3