

基于R-S码的二维OCDMA系统研究

周秀丽, 谭庆贵, 胡渝

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】根据R-S码构造了一种二维码,并按Johnson边界条件研究了 $I_a = I_c = I = 1$ 的二维R-S码的码容量,分析结果表明,构造的码渐近为最优码;在只考虑多用户干扰的理想条件下,分析了多波长R-S码的二维OCDMA系统的误码率性能,得到了不同素数 p 构造的二维R-S码的误码率和并发用户数的关系曲线,为二维OCDMA的进一步研究提供了理论依据。

关键词 多波长光码分多址; 二维地址码; 误码率; 检测阈值

中图分类号 TN914.53 文献标识码 A

The Investigation of 2-D OCDMA System Based on R-S Code

Zhou Xiuli, Tan Qingui, Hu Yu

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

Abstract In this paper, we construct MW R-S code based on Reed-Solomon code, this code belong to 2-D codes, its auto-relativity is zero and the cross-relativity is one. Analyzed the capacity of 2-D R-S code with $I_a = I_c = I = 1$ based on the Johnson boundary condition, compared with the code we constructed, it shows that the code we constructed is nearly optimal. And we carried on the datum analysis on the performance of the code in 2-D OCDMA system with only considering the multi-user interference, got the curves of BER via the number of simultaneous users in 2-D OCDMA system with different prime p . This result supplies important reference for the further theory investigation on 2-D OCDMA system.

Key words multi-wavelength optical code division multi-access; two-dimension codes; bite error probability; decision threshold

光码分多址(Optical Code Division Multi-Access, OCDMA)通信系统作为一种扩频系统,能提供灵活的异步多址接入方式,具有不需快速光电转换,提供突发,连续,异步通信的特点。目前对一维OCDMA系统的研究已经比较成熟,为了支持较多的同时用户数,提出了二维OCDMA系统方案,每个用户的地址码序列是二维的,即每个地址码序列的光脉冲不仅在时域上扩展,同时还在空间或波长上扩展。由于增加了一个自由度(空间或波长),二维OCDMA系统的性能比一维OCDMA系统的性能有较大提高。在相同扩频系数下,不仅码字数增多,并发用户数也有较大提高^[1,2]。

二维OCDMA系统目前的一种方案是多波长光码分多址(Multi-Wavelength OCDMA, MWOCODMA),也称跳频OCDMA,每个码字同时在时域和波长上扩展,码字中的每个脉冲调制在不同的波长上^[3]。

OCDMA系统的主要问题之一在于设计一套编码,为OCDMA系统的实用化创造条件。对设计的光地址

收稿日期: 2003-08-25

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,博士生,讲师,主要从事光通信技术方面的研究。

码,要求相关性好,同时在能容纳大量的并发用户数下,误码率小。本文针对MWOCDMA系统基于里德-索罗蒙码(Reed-Solomon, R-S)构造系统地址码。

1 多波长R-S码的构造

1.1 R-S码

R-S码是一种纠错码,是 q 进制BCH(Bose-Chadhuri-Hocquenghem)循环码中重要的子类,同时也是一种性能很好的跳频序列族。R-S码作为跳频序列族,具有优良的自相关和互相关性能及较多的序列数目,卫星多址通信中采用R-S码作为跳频码^[2]。OCDMA是基于扩频通信的通信方式,同样可利用微波领域使用较多的跳频序列族来构造码序列。

1.2 多波长R-S码的构造

MWOCDMA系统中的每个用户使用多个波长,码字中的每个光脉冲调制在不同的波长上。典型的MWOCDMA系统采用光纤光栅编、解码和宽带光源^[3],光栅的中心反射波长可由压电陶瓷致动器调节光栅周期而改变,实现波长编码,光栅位置起延迟线的功能,即实现时域的编码。

MWOCDMA系统是一种二维(Two-Dimensions, 2-D)OCDMA系统,对应的码为2-D码。构造2-D码的基本思想是分配时间片的光脉冲给每个波长,这样对任何两个不同的码字,为保证自相关值为0,互相关值小于1,所有脉冲应该分配在不同波长上,这等同于码字矩阵每行只有一个1,即码字每行有单个脉冲。

通过一维(1-Dimension, 1-D)R-S码构造2-D码,算法如下^[4]:

一个R-S码字,如 $[N, K, d]$,其中, $N = p - 1$, d 是码字间最小距离, p 是素数,码元取自有限伽罗华域 $GF(p)$, R-S码的生成多项式形式为

$$g(x) = (x - a^b)(x - a^{b+1}) \cdots (x - a^{b+d-2})$$

这里, a 为 $GF(p)$ 的本原元,通常取整数 $b = 1$, $K = N - d + 1$ 为维数,令 $d = N - 1 = p - 2$,如 $K = 2$, $b = 1$,因此生成多项式为 $g(x) = (x - a)(x - a^2) \cdots (x - a^{p-3})$,由此生成一个R-S码。

首先得到一系列素数 p_1, p_2, \dots, p_k ,且 $p_k > p_{k-1} > \dots > p_2 > p_1$, 1-DR-S码的码字 $a_i, i = [0, p - 1]$ 调整为2-D形式为

$$[(a_{i,0}, 0), (a_{i,1}, 1), \dots, (a_{i,j}, j), \dots, (a_{i,p-2}, p_1 - 2)] \quad (1)$$

因此,码 D_k 的构成为

$$\begin{aligned} & \{[(a_{i,0} \oplus l, ((a_{i,0} \oplus l) \otimes_{p_2} i_2)(p_1 - 1) + \dots + ((a_{i,0} \oplus l) \otimes_{p_k} i_k)(p_1 - 1)p_2 \cdots p_{k-1}), \\ & (a_{i,1} \oplus l, 1 + ((a_{i,1} \oplus l) \otimes_{p_2} i_2)(p_1 - 1) + \dots + ((a_{i,1} \oplus l) \otimes_{p_k} i_k)(p_1 - 1)p_2 \cdots p_{k-1}), \\ & (a_{i,p-2} \oplus l, (p - 2) + ((a_{i,p-2} \oplus l) \otimes_{p_2} i_2)(p_1 - 1) + \dots + ((a_{i,p-2} \oplus l) \otimes_{p_k} i_k)(p_1 - 1)p_2 \cdots p_{k-1})]\} \\ & l = \{0, 1, 2, \dots, p_1 - 1\}, i_2 = \{0, 1, 2, \dots, p_2 - 1\}, i_3 = \{0, 1, 2, \dots, p_3 - 1\}, \dots, i_k = \{0, 1, 2, \dots, p_k - 1\} \end{aligned} \quad (2)$$

式中 进行纵向移位和横向移位, \oplus 为纵向模和, \otimes 为横向模积,得到多波长R-S码的码字,这是一个 $(p_1 \times (p_1 - 1)p_2 \cdots p_k, p_1 - 1, 0, 1)$ 的多波长R-S码,共有 $p_1 p_2 \cdots p_k$ 个码字,有效码长为 $p_1 \times (p_1 - 1)p_2 \cdots p_k$,码重为 $p_1 - 1$,自相关为0,互相关小于1。

例如: $p_1 = 5$,多波长R-S码的生成多项式为 $g(x) = (x - a)(x - a^2)$,因此对应的码字为 $a_0 = (0, 1, 4, 3)$, $a_1 = (1, 2, 0, 4)$, $a_2 = (2, 3, 0, 1)$, $a_3 = (3, 4, 2, 1)$, $a_4 = (4, 0, 3, 2)$, $p_2 = 7$,则构造结果为 $(5 \times 28, 4, 0, 1)$,有35个码字。

1.3 多波长R-S码的容量分析

多波长R-S码为2-D码,可表示为 $(m \times n, w, I_a, I_c)$,对某个多波长R-S码字 $m = p_1$, $n = (p_1 - 1)p_2 \cdots p_k$, $w = p_1 - 1$,且 $I_a = I_c = I = 1$,由Johnson边界条件^[2]

$$F(m \times n, w, I, I) = \frac{m(mn - 1)(mn - 2) \cdots (mn - I)}{w(w - 1) \cdots (w - I)} \quad (3)$$

可知该多波长R-S码的容量为

$$F(p_1 \times (p_1 - 1)p_2 \cdots p_k, p_1 - 1, 1, 1) = p_1 p_2 \cdots p_k + (2p_1(p_1 - 1)p_2 \cdots p_k - p_1) / (p_1 - 1)(p_1 - 2) \quad (4)$$

和所构造的多波长R-S码的容量 $p_1 p_2 \cdots p_k$ 比较，容量上界多了一项 $(2p_1(p_1-1)p_2 \cdots p_k - p_1)/(p_1-1)(p_1-2)$ ，当 p_1 取值较大时，该项约为1，可见构造的2-D R-S码渐近为最优码。

2 多波长R-S码的二维OCDMA系统性能分析

分析2-D码的误码性能，主要考虑系统中来自多用户干扰的噪声，而忽略热噪声，量子噪声，背景噪声等，因此分析结果基于信噪比接近无穷大的情形。当某个用户传输数据“0”，由于其他用户串扰的累积效应，使干扰功率超过了接收机判决门限，而判决为“1”，因而形成误码。根据文献[4, 5]提出的“撞击”法，首先考虑任意两个码字之间的撞击率 q ，即一个码字中“1”和另一个码字中“1”的碰撞概率，对于1-D 光正交码(Optical, Orthogonal Code, OOC)($n, w, 1, 1$)， n 为码长， w 为码重，每个码字中有 w 个“1”，两个“1”表示码的自相关和互相关值都为“1”，考虑码字携带信号“0”和“1”的概率相等，因此第一个码字中某个“1”和第二个码字中的“1”撞击的概率为 $w/2n$ ，第一个码字中的 w 个“1”和第二个码字的“1”的碰撞率为 $q = w^2/2n$ 。

对构造的MWOCMA正交码，如多波长方案 $(p \times (p-1)p, p-1, 0, 1)$ ， p 为素数。该系统中码字之间的碰撞率由一维的 $q = w^2/2n$ 变为

$$q = \left[\frac{(p-1)}{2p(p-1)} \right] \left[\frac{(p-1)}{p} \right]$$

其中第一个 $p-1$ 表示脉冲数，即码重， $p(p-1)$ 为有效码长， $(p-1)/p$ 表示两个不同码字在同波长下的碰撞概率，为了数学计算的方便，这里也考虑了码片同步，因此该二维OCDMA系统的误码率为

$$P_e = \frac{1}{2} \sum_{i=Th}^{N-1} \binom{N-1}{i} \left(\frac{p-1}{2p^2} \right)^i \left(1 - \frac{p-1}{2p^2} \right)^{N-1-i} \quad (5)$$

式中 Th 为接收端的检测阈值，理想状态下，其值通常设定为码重， N 为系统中总的并发用户数，因子 $1/2$ 表明预期发端据有无比特数据的等概率性传输“0”时的概率。不同素数下误码率和并发用户数的关系如图1所示，图是经过数值分析得到的结果，计算了不同素数 p 构造的MW R-S码的二维OCDMA系统中误码率和并发用户数的关系，可见，在保证一定误码率(如 $P_e=10^{-9}$)条件下， p 越大，能够容纳的并发用户数也越多，同时还可看出，在相同用户数下， p 越大，其误码率越小。

上述基于R-S码的MWOCMA系统，主要考虑多用户干扰而忽略了系统中的其他因素，而实际的光通信系统中，一般存在热噪声，背景噪声，量子噪声等，对MWOCMA系统，尤其还存在色散效应，这将导致光脉冲展宽或者码片偏移^[6]。色散对系统的具体影响，在此不做定量分析，在下一步的工作中，可考虑在通信容量较小和较大情形下对阈值的具体影响建立模型再进行分析。

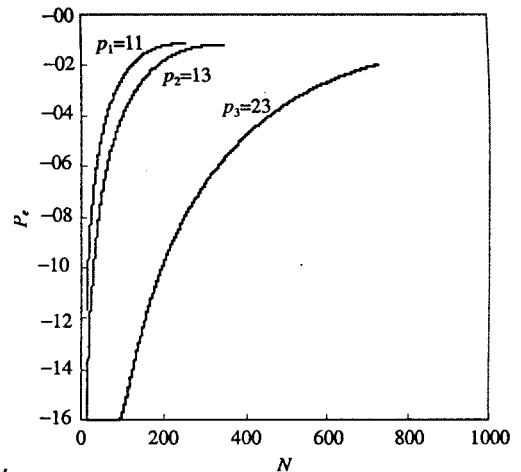


图1 不同素数下误码率和并发用户数的关系

3 结论

基于R-S码构造了多波长 R-S码，分析了码字的容量，和johnson上界对比表明该码渐近为最优码；在只考虑多用户之间的码字干扰，而忽略系统中其他噪声的理想条件下，对构造的多波长R-S码在二维OCDMA系统中的误码率性能进行了数值分析，结果表明，对于不同素数 p 构造的MW R-S码， p 越大，在保证一定误码率(如 $P_e=10^{-9}$)的条件下，系统能容纳的并发用户数也越多；一定的并发用户数下， p 越大，误码率越低，两种情况都能提高二维OCDMA系统的性能，可以选择适当 p 值来讨论系统的实用化，以上结论也为OCDMA系统的理论分析进一步提供了依据。在考虑其他条件对系统干扰的条件下，提出色散的存在对系统误码率

是一个重要的影响因素。

参 考 文 献

- [1] Wan S P, Hu Y. A new coding scheme of optical CDMA[J]. China Institute of Commun, 2001, 22(1): 12-17
- [2] Yang G C, Kwong W C. Performance comparison multiwavelength CDMA and WDMA+CDMA for Fiber-Optic Networks[J]. IEEE transactions on communications, 1997, 45(11): 1 246-1 434
- [3] 吉建华, 范 戈. 基于光正交码的多波长OCDMA与WDM+OCDMA系统的性能分析[J]. 光通信技术, 2002, 26(2): 30-33
- [4] Li Chuanqi, Sun Xiaohan. Configuration research of 2D-OOC signature sequence code for OCDMA System[J]. ACTA PHOTONICA SINICA, 2003, 32(1): 50-54
- [5] Yang G C, Kwong W C. Performance analysis of optical CDMA with prime code[J]. Electron Lett, 1995, 31(7): 569-570
- [6] Ng E K H, Weichenberg G E, Sargent E H. Dispersion in multiwavelength optical code-division multiple-access systems: impact and remedies. communications[J]. IEEE Transactions on, 2002, 50(11): 1 811-1 816

编 辑 刘文珍

(上接第11页)

4 结 束 语

本文给出的改进非平稳信号分析方法具有自适应性,既弥补了传统STFT时频聚集性差的缺点,又克服了WVD存在交叉项干扰、适用范围小的局限,因此是一种较为有效的非平稳信号分析方法。

参 考 文 献

- [1] 张贤达, 保 铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [2] Wood J C, Barry D T. Radon transformation of time-frequency distributions for analysis of multicomponent signal[J]. IEEE Transactions on signal processing, 1995, 42: 3 166-3 177
- [3] Wood J C, Barry D T. Linear signal synthesis using the Radon-Wigner transform[J]. IEEE Trans on ASSP, 1994, 42: 2 105-2 111

编 辑 徐培红