

文章编号: 1002-2082(2004)04-0018-03

用于光码分多址系统的一种 3-D 地址码

周秀丽, 胡渝, 谭庆贵

(电子科技大学 物理电子学院, 四川 成都 610054)

摘要: 在构造 2-D 码的基础上, 提出并构造了一种用于 OCDMA 系统的新的空域/频域/时域 3-D 地址码, 与 2-D 码相比, 基于 R-S 序列运算的 3-D 码容量大, 系统带宽效率高, 误码率低, 表现出更好的性能, 大大增强了 OCDMA 系统的可行性。

关键词: OCDMA; 空域/波长域/时域扩展; 3-D 地址码; 2-D 地址码

中图分类号: TN914.53

文献标识码: B

A 3-D Code for OCDMA System

ZHOU Xiu-li, HU Yu, TAN Qing-gui

(College of physical electronics, UESTC, Chengdu 610054, China)

Abstract: Based on Reed-Solomon sequence arithmetic, we put forward a new kind of space/wavelength/time spread three-dimensional optical code for OCDMA system, and performed some mathematical analyses. Compared with 2-D code, 3-D optical code has much bigger capacitance, better bandwidth efficiency and lower error probability, and enhances the feasibility of the OCDMA system.

Keywords: OCDMA; space/wavelength/time spread; 3-D codes; 2-D codes

引言

光码分多址(OCDMA)通信系统作为一种扩频系统, 能够提供灵活的异步多址接入方式。由于其不需快速光电转换, 可提供突发、连续、异步通信, 因此许多学者对此进行了研究。OCDMA 的主要问题是需要设计一套编码以支持系统性能, 为 OCDMA 系统的实用化创造条件。对 OCDMA 系统方案来说, 希望设计一种光地址码, 即在一定码长下误码率低, 能容纳大量的同时用户数。

1 1-D 和 2-D 地址码

1-D OCDMA 系统中每个用户的地址码是在时域上扩展的 $\{0, 1\}$ 二值序列, 为了支持较多的同时用户数, 这些地址码必须具有良好的自相关和互相关特性。光正交码(OOC)是用于 1-D OCDMA 系

统的一种典型地址码, 它在一维地址码中具有最小的自相关和互相关值。但是, OOC 的码字个数较少, 从而导致码字的算法复杂, 具有一定的局限性。因此, 本文提出构造 2-D 码。在 2-D 光码中光脉冲在时域和空域扩展, 或者在波长和时域扩展, 可使用另一维(空间或波长)地址码。2-D OCDMA 系统和 1-D OCDMA 系统相比性能大大的提高。2-D 码系的自相关和互相关值分别为 0 和 1, 构造 2-D 码的一般算法是素数码和 Reed-Solomon 码。波长/时间域码和空间/时间域码都可用这种算法来构造。

2 2-D 地址码的构造

构造 2-D 码的基本思想是时间片的光脉冲分配给每个空间信道(或波长)。这样对任何两个不同的码字, 光脉冲只有在一个空间信道或波长上, 否

收稿日期: 2003-07-11

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, 电子科技大学讲师, 成电光学专业博士研究生, 主要从事光通信技术的研

则,码字的互相关值会大于1。为保证自相关值为0,所有脉冲应该分配不同的空间信道或波长,即码字矩阵每行只有一个1。换言之,码字每行只有单个脉冲。

2-D码可以通过调整1-D素数码和1-D R-S码构造出来,可直接用于构造空域/时域地址码。本文分别称之为2-D素数码和2-D R-S码。这里只讨论2-D R-S码。

RS码是长为 $N=q-1$ 的 q 元域(q 为素数) BCH码。令脉冲数 2^m (取 $p=2$)与有限域中 $GF(2^m)$ 中的元素相等,即 $2^m=q$ 。式中 m 为整数。 q 元有限域上的一个RS码序列 $(y_1^{(K)}, y_2^{(K)}, \dots, y_{q-1}^{(K)})$, $y_i^{(K)} \in GF(q)$, $i=1, 2, \dots, q-1$ 。

通信系统中, $GF(q)$ 中非系统RS码的具体编码方法如下。

设信息元向量为 $X_K = (X_1^{(K)}, X_2^{(K)}, \dots, X_b^{(K)})$, α 为 q 元域中的本原元。以本原元 α 构成的矩阵为

$$G = \begin{bmatrix} 11 & \dots & 1 \\ \alpha\alpha^2 & \dots & \alpha^{q-1} \\ \alpha^2\alpha^4 & \dots & \alpha^{2(q-1)} \\ \alpha^{b-1}\alpha^{2(b-1)} & \dots & \alpha^{(b-1)(q-1)} \end{bmatrix}$$

即码长为 $q-1$,信息元数目为 b 的RS $(q-1, b)$ 码的码字向量为 $y_K = X_K G$ 。

2-D地址码 $(S \times T, S, 0, 1)$ 由矩阵 $S \times T$ 表示。其中 S 表示矩阵的行数(对应波长或空间信道数); T 表示矩阵的列数(对应码长,即扩频系数); $(i, j) = 1$ 表示第 j 个脉冲用第 i 个波长发送或在第 i 个空间信道发送,即当用户发信息比特“1”,表示发送一帧光信号,发“0”时不发送任何光信号。接收端每一行(同一波长或空间信道)将单独进行互相关,然后进行叠加形成码字互相关。这种码有 T 个码字。

3 3-D地址码

3.1 3-D地址码定义

3-D码的码字由具有二进制(0或1)值作为元素的3-D矩阵来表示。在空间、波长、时间域扩展的3-D码的组成矩阵为 $S \times W \times T$ 。其中, S, W 和 T 分别代表空间信道数、波长数和时间片,每个元素代表3-D空间概念中相应点是否被光脉冲占据,即矩阵元素 (s, w, t) 值为1,表明空间信道上某个时间

片存在某个波长的光脉冲。

下面我们用数字语言定义3-D码。

定义3-D地址码 $A(l \times m \times n, c_w, \lambda_u, \lambda_c)$ 由矩阵 $l \times m \times n$ 表示。其中 c_w 为码重; C 是二进制符号 $\{0, 1\}$ 集合。它满足以下约束条件:

• 自相关限。对任何3-D码字, $X \in C$,则

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{n-1} x_{i,j,k} x_{i,j,k \oplus \tau} &= c_w, \text{ for } \tau = 0 \\ \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{n-1} x_{i,j,k} x_{i,j,k \oplus \tau} &\leq \lambda_u, \\ &\text{for } 1 \leq \tau \leq n-1 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $x_{i,j,k} \in \{0, 1\}$ 是矩阵的一个元素; λ_u 表示自相关值, $\oplus$ 表示模 n 加。

• 互相关限。对任何两个3-D码字 $X, Y \in C$,则

$$\sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{n-1} x_{i,j,k} y_{i,j,k \oplus \tau} \leq \lambda_c, \text{ for } 1 \leq \tau \leq n-1 \quad (3)$$

式中, $x_{i,j,k}, y_{i,j,k} \in \{0, 1\}$ 分别是矩阵的元素; λ_c 代表互相关。2-D码定义和3-D码类似,区别是用 $m \times n$ 代替 $l \times m \times n$ 。

3-D地址码可表示为 $(S \times W \times T, \omega, \lambda_u, \lambda_c)$,其中 S, W, T 分别为空间信道、波长、时间。令 $\lambda_u = 0$, $\lambda_c = 1$,则 $(3 \times 3 \times 3, 3, 0, 1)$ 可用矩阵表示为

$$\begin{bmatrix} 100 \\ 000 \\ 000 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 000 \\ 001 \\ 000 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 000 \\ 000 \\ 010 \end{bmatrix}$$

3个 3×3 矩阵表示了一个3-D扩频码,3个矩阵表示3个空间信道,每个 3×3 矩阵中元素 $X_{i,j}$ 表示本空域中第 i 时刻所传的“1”信号光脉冲是用第 j 个波长来填充。

3.2 由2-D地址码到3-D地址码

空域/波长/时域3-D地址码可通过扩展2-D地址码,即空域/时域码或波长/时域码来构造。假设有一个 $(S \times T, S, 0, 1)$ 空域/时域2-D地址码,如果每个空间信道可获得的波长数为 W ,则在码字构造中就有另一个自由度去选择每个空间信道的波长。例如,对于空域/时域2-D地址码,通过改变每个空间信道的脉冲波长可以构造出不同的码字。在给每个空间信道分配波长过程中,可通过约束任何两个码字的互相关来保证正交性。由于2-D码的正交性,同样,时隙分布下任何两个码字之间的互相关不会大于1。扩展2-D码到3-D码不会损失正交

性,只需要分配波长到每个空间信道。这样,任何两个不同码字的波长只有一个空间信道。为达到这样的目的,我们可以使用相同的算法,即在前面给出的构造 2-D 码的算法构造空间/波长/时间域 3-D 码。本文只讨论素数码用于 2-D 的情形。

3.3 3-D 地址码的构造

3.3.1 3-D 地址码的构造方法

通过应用 2-D R-S 码算法可在空间信道分配 W 个波长,即在空间信道为每个分布脉冲产生 W 个不同的码字,如码字 $(3 \times 3 \times 3, 0, 1)$,可用 R-S 码算法构造。其中时域上分布脉冲可通过用不同方式将波长分配到空间信道,如果波长数大于或等于空间信道数,即 $W \geq S$,那么由于 2-D R-S 码构造算法的正交性,则在波长域的每个循环移位将产生另一个和其他码字正交的码字。通过波长域的移位,每个码字又可以产生另外 2 个码字。因此,我们在 $(3 \times 3 \times 3, 0, 1)$ 3-D 素数码中共有 27 个码字。如果 $W \geq S$,我们扩展 $(S \times T, S, 0, 1)$ 码到 $(S \times W \times T, S, 0, 1)$ 码可以产生 $W^2 T$ 个码字。如果 $W < S$,则波长域的循环移位和其他码字一致。所以,在 $(S \times W \times T, S, 0, 1)$ 3-D 码中共有 WT 个码字。

在这里,我们假定在一个码字中保持所有脉冲数等于通过扩展 2-D 码构造 3-D 码的 2-D 码数目。这种情况下,可保证每个空间信道中 3-D 码有一个脉冲。

3.3.2 3-D 码的数学分析

RS 码集合中序列的数量由信息元数确定,对于 $RS(q-1, b)$ 序列码,序列数目为 q^b 。RS 码是一种循环码,要求在时域的任意时延 τ 和其他脉冲的重叠不要超过 $b-1$,因此有必要对 RS 码进行筛选。设 $RS(q-1, b)$ 码的码字总集合为 E ,首先选出循环周期为 $q-1$ 的码字构成集合 E_1 ,再将 E_1 分成两两不相交的子集,每个子集中码字都是循环等效的。之后,再从每个循环等效的子集中各选一个码字构成集合 E_1' ,该集合中所有码字图案有如下特点:

1) 良好的互相关性,即 $RS(q-1, b)$ 码的子集 E_1' 中任何两个码字在任何时延的互相关数不大于 $(b-1)/q$; 2) 良好的自相关性,即自相关旁瓣不大于 $(b-2)/q$ 。

对于 $W \geq S, T \geq S$,共有 $W^2 T$ 个码字。由于所有脉冲属于不同空间信道,因此自相关限很容易满

足。经选择码字矩阵 E_1' ,也满足互相关条件。

对于 $W < S, T \geq S$,共有 WT 个码字。由于所有脉冲属于不同的空间信道,显然自相关值为 0,互相关同上。

4 性能分析

假设空间信道数为 S ,波长数为 W ,时间片数为 T ,则可为 3-D 码构造 $WT(S > W)$ 或 $W^2 T(S \leq W)$ 个正交码字,为 2-D R-S 码构造 T 个正交码字,可见 3-D 码容量大于 2-D 码。

对于固定码长,3-D 码容量比 2-D 码大,这个特征在系统带宽效率方面很重要。在 OCDMA 系统中,采用一个给定调制带宽 B_{source} 的光源,每个用户带宽 B_{user} 与码容量成反比,即 $B_{\text{user}} = B_{\text{source}}/T$ 。在基于 2-D 码的系统中,每个用户带宽与总用户数有关。但是,对以上构造的 3-D 码,不用减小每个用户带宽(码容量大),还可增加用户总数。换言之,若基于 2-D 素数码的系统提供了和 3-D 码系统同样的总用户数,则系统的每个用户带宽就要减小。

在分析 OCDMA 系统的误码率时,我们忽略了光电探测的热噪声和散粒噪声,只考虑来自其他用户的干扰。分析多用户环境下系统的性能就要用到概率 p (p 是在时域检测中从一个不希望的发送端得到一个光脉冲的概率)。2-D 码中互相关概率 $p = (1/2T) \times (\text{行数})$,在空域/波长/时域 3-D 码中 $p = (1/2T) \times (1/W) \times S$ 。

如果概率 p 值确定,则系统误码率由下式得到:

$$Pe = \frac{1}{2} \sum_{i=Th}^{N-1} \binom{N-1}{i} P^i (1-p)^{N-1-i} \quad (4)$$

式中, Th 是检测的阈值; N 是同时用户数。因子 $1/2$ 为传输“0”时的概率。如果给定 S, T 值,就可计算出 Pe 。3-D 码和 2-D 码相比,性能的提高主要是因为减小了互相关,它是 2-D 码的 $1/W$ 。

5 结论

本文在构造 2-D R-S 码基础上,提出了构造空间/波长/时间域扩频 3-D 光正交码,对 3-D 码进行了数学分析,分析了 3-D 码的性能,并和 2-D 码进行了比较。提出 3-D 码容量更大,系统带宽效率高,误码率低,具有更高的性能, (下转第 25 页)

在各ONU依次向上发送数据时,第*i*个ONU发送完数据到第*i+1*个ONU开始发送数据之间,还需要有一个警戒带,如图5所示。这是因为ONU发送数据是突发性的,ONU之间不能直接相互协

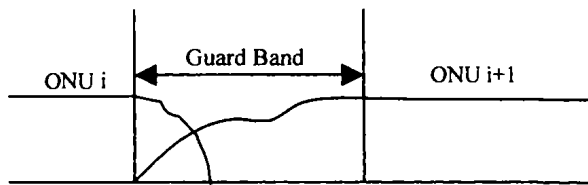


图5 警戒带宽示意图

Fig. 5 The Sketch of the guard band

调,相邻的不同ONU发送数据间隙有可能发生冲突。OLT在开始接收新一个ONU正式上传的数据之前要作一些诸如接收门限、同步等调整。在警戒带宽内,要关闭上一个ONU激光器,打开新ONU激光器(根据GATE帧中的grant start time来打开激光器)。OLT根据新ONU发送激光的强度进行接收门限调整,并对新上传的数据进行时钟提取、同步、码组对齐等工作。同时,OLT和ONU之间的时钟漂移也需警戒带宽来消除其影响。所有这些都是确定警戒带宽时必须要考虑的因素,其他更详细的内容请参看文献[6]。ONU何时发送数据主要依据启动注册时的同步时间(Sync Time)来确定最后真正发送上行数据的时间。

6 结束语

点到多点是EPON系统的一大特点,但如何把OLT和多个ONU有效地组织起来,提供高质量的接入服务,这一直是业界关注的问题。本文对EPON的管理协议MPCP进行了详细介绍,对其应用的几个主要方面也作了阐述,希望对业界人士有所帮助。

参考文献:

- [1] Onn Haran. MPCP general description [EB/OL]. http://www.ieee802.org/3/efm/public/mar02/maislos_1_0302.pdf.
- [2] Rich Seifert(美)著,郎波,黄冬泉,张辉,李巍译. 千兆以太网技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.
- [3] 杨柳,毛谦,何岩. EPON中点到点LAN和共享LAN的仿真技术[J]. 光通信研究, 2002, (6): 1-4.
- [4] Onn Haran, Ajay Gummalla, Ariel Maislos, et al. MPCP: Auto discovery [EB/OL]. http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan02/haran_2_0102.pdf.
- [5] Olli-Pekka Hiironen, Nokia. Security in MPCP auto-discovery [EB/OL]. http://www.ieee802.org/3/efm/public/ju102/index.html/hiironen_p_2mp_3_0702.pdf.
- [6] Onn Haran, Ariel Maislos. MPCP: Timing model [EB/OL]. http://www.ieee802.org/3/efm/public/may02/haran_1_0502.pdf.

(上接第20页)

为OCDMA系统实用化增强了可行性技术支撑。

参考文献:

- [1] F R K Chung, J A Salehi, V K Wei. Optical orthogonal code design, analysis, and applications[J]. IEEE Trans Inform Theory, 1989, 35: 595-604.
- [2] S P Wan, Y Hu. A new coding scheme of optical CDMA[J]. J China Institute of Commun, 2001, 22(1): 12-17.
- [3] H Chung, P V Kumar. Optical orthogonal codes-new bounds and an optimal construction[J]. IEEE Trans Inform Theory, 1990, 36(4): 866-873.

- [4] Pu Tao, Li Yuquan, Zhang Baofu. Discussion on frequency hop and time hop hybrid system of optical CDMA[J]. J China Institute of communications(通信学报), 2002, 21(5): 18-22(in Chinese).
- [5] Wan shengpeng, Hu Yu. Two dimension optical CDMA differential system with Prime/OOC codes[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2001, 13(12): 1373-1375.
- [6] Wan Shengpeng, Hu Yu. Optical time spreading/frequency hopping differential OOK-CDMA system[J]. Microwave and Optical Technology Letter, 2001, 29(2): 125-128.