

光码分多址并行图像传输系统的最佳光 正交签名图形构造*

李晓滨

(深圳大学信息工程学院, 深圳 518060)

摘 要 图像传输和接入要求系统的吞吐量超过 Gb/s, 若采用常规光码分多址系统来实现图像传输, 对光电器件的要求高、实现难度大, 解决方案是采用光码分多址并行图像传输系统. 针对并行图像传输的签名序列是一种二维光正交签名图形, 是一种全新形式的签名码, 构造最大容量的光正交签名图形(最佳光正交签名图形)的方法很少这一问题, 提出一种区组设计构造算法. 算法的思想是根据差集合和光正交码的关系, 将差集合和区组设计的概念推广到二维空间, 根据二维差集合和光正交签名图形的关系从而构造出最佳光正交签名图形. 详细阐述了构造最佳光正交签名图形的步骤, 对算法进行了仿真. 仿真结果说明该算法可以有效地构造出最佳光正交签名图形.

关键词 光纤通信; 码分多址; 图像传输; 光正交签名图形; 区组设计

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

0 引言

光码分多址技术是码分多址技术在光纤通信的应用. 它采用光处理, 允许多个用户共享同一信道, 具有处理速度快、接入灵活、无须交换、可任意选址、充分利用光纤带宽资源等优点. 在通信业务不断增长的今天, 它在接入网、增加现有通信网络容量等方面都具有广阔的应用前景^[1~7].

尽管光码分多址能够充分利用光纤的带宽资源, 但当信息速率超过 Gb/s 时, 目前的光电器件实现该速率的接入和传输很难. 而在宽带业务需求不断增加的今天, 许多宽带业务如医学图像、数字视频广播、超计算机可视图像等都要求多址网络能提供系统的吞吐量超过 Gb/s, 而常规的码分多址方式要达到这一要求对器件的要求太高, 实现难度太大.

为了实现高吞吐量图像传输和灵活接入、共享宽带传输媒介光纤的带宽资源、减小图像传输中并/串转换引起的失真, Kenichi Kitayuna 提出了一种光码分多址并行图像传输系统^[8]. 系统由光空间编码器、复用器、多芯光纤、光空间解码器、图像再生器组成. 发送端, 光空间编码器将用户的图像信号变为光信号并与签名序列相乘实现图像信号的映射, 复用器将多个用户映射后的图像信号复用到一起送到多芯光纤. 由于签名序列具有正交性, 因此多个用户可以共享同一多芯光纤, 接收端每个接收机都接收到复用到一起的多个用户的图像信号, 通过将接

收到的信号与本地产生的签名序列进行相关运算可以检出发送给该接收机的图像信号.

该系统的主要特点是采用了多芯光纤. 多芯光纤有许多芯按一定的规律排列, 理想情况下每个芯传输单个像素信息. 为了传输一个图像, 光纤的芯数等于图像的像素数, 产生图像信息的激光束被直接发射到光纤的每个芯中, 因此不需要进行并一串转换, 图像可无失真地通过光纤. Kenichi Kitayuna 同时给出了这种方案的光学实现, 用可设定地址的空间光调制器来实现图像信号的调制; 用倍成像光学器件和透镜来实现光编码器; 用光学复用器件实现多个用户信号的复用; 用透镜将代表图像信息的激光束并行耦合到多芯光纤中. 目前这些器件都在使用, 具有几万个芯的光纤已经商用, 百万芯光纤正在研制中. 多芯光纤是一根光纤中具有多个纤芯, 体积要比同样数目的多根光纤体积小得多; 图像信号变为光信号是在调制时完成, 所需激光器的数目等于同时接入的用户数, 代表图像信息的激光束可以通过简单的光器件(如透镜)直接耦合到多芯光纤, 不需要多个耦合器, 因此这种方法在实现高吞吐量的同时, 对器件的要求又不高. 同多根光纤并行传输相比, 系统实现简单、体积小. Kenichi Kitayuna 提出的方案被认为是解决高吞吐量图像传输和接入的很好的方案, 但这种光码分多址系统由于是并行传输图像像素, 所使用的签名序列需是二维的, 与常规的光码分多址串行的传输数据比特的签名序列完全不同, 是一种全新的签名序列, 被称作光正交签名图形. 要实现光码分多址并行图像传输, 最大容量光正交签名图形的构造至关重要. 本文提出一种利用

*深圳大学科研启动基金(200514) 资助

Tel: 0755-26535364 Email: bing489@126.com

收稿日期: 2005-12-07

区组设计构造最大容量光正交签名图形的方法,根据该方法可以很容易的构造出任意长度的最大容量光正交签名图形.

1 光正交签名图形

1.1 定义

光正交签名图形是二维的空间图形.

光正交签名图形的定义:一个 $(N \times N, w, \lambda_a, \lambda_c)$ 的光正交签名图形 C 是一个用 $N \times N$ 的矩阵来表示的二进制 $(0, 1)$ 集合, w 为码重(即矩阵中“1”的个数). 为了实现同步,光正交签名图形在水平方向和垂直方向的平移需满足自相关条件;为了减小多用户干扰,不同签名图形之间需满足互相关条件. 即必须满足两个约束条件:

1) 光正交签名图形必须能和自身在空间的移位区别开来;

2) 任意两个光正交签名图形必须彼此能够区分(甚至和它的水平和垂直方向的移位能够区分).

若 $X, Y \in C, 0 \leq k < N, 0 \leq l < N$, 若令 $x_{i,j}$ 表示光正交签名图形 X 的元素, $y_{i,j}$ 表示光正交签名图形 Y 的元素, $x_{i,j}, y_{i,j} \in \{0, 1\}$. 光正交签名图形的两个约束条件的二进制离散形式为^[9]

自相关特性有

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{i,j} x_{i+k,j+l} = \begin{cases} w & k=l=0 \\ \leq \lambda_a & 1 \leq k, l \leq N-1 \end{cases} \quad (1)$$

互相关特性有

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{i,j} y_{i,j} \leq \lambda_c \quad 0 \leq k, l \leq N-1 \quad (2)$$

式中 λ_a, λ_c 分别为自相关约束、互相关约束. 对于光正交签名图形,为了同步要求其自相关峰值大、旁瓣小;为了减小多用户干扰要求互相关峰值小,通常要求 $\lambda_a = \lambda_c = 1$. 当 $\lambda_a = \lambda_c = \lambda$ 时 $(N \times N, w, \lambda_a, \lambda_c)$ 光正交签名图形可以记为 $(N \times N, w, \lambda)$. 光正交签名图形中,若元素 $x_{i,j}$ 取值为 1,该元素用其下标 (i, j) 来表示,则一个光正交签名图形可以表示为所有取值为 1 的元素的集合. 如光正交签名图形 $\{(1, 1), (1, 3), (3, 4)\}, \{(1, 1), (2, 5), (4, 2)\}$.

1.2 光正交签名图形的容量

光正交签名图形的容量是光正交签名图形 C 中满足自相关约束、彼此之间满足互相关约束条件的光正交签名图形的数目. 若光正交签名图形的容量用 $|C|$ 表示,则 $|C|$ 为^[9]

$$|C| \leq \lfloor \frac{N \times N - 1}{w(w-1)} \rfloor \quad (3)$$

式中 $\lfloor x \rfloor$ 表示取整,若光正交签名图形的容量能达到 $|C|$ 的最大值,则称 C 为最佳光正交签名图形.

在光码分多址通信中,为了能使更多的用户能同时使用同一信道,光正交签名图形的容量越大越好,容量越大,越能充分利用信道的带宽资源.

2 最佳光正交签名图形的构造算法

在光正交码的构造方法中,根据区组设计与光正交码的关系可以构造出任意光正交码^[10]. 其基本思想是, (N, w, λ) 光正交码与循环对称均衡不完全区组设计 $CSBIBD(N, w, \lambda)$ 一一对应,如果不同的 $CSBIBD(N, w, \lambda)$ 不仅能满足自相关条件,而且能满足互相关条件,则它们就是一个光正交码. 因此,构造光正交码转化为构造出满足自相关条件、互相关条件的循环对称均衡不完全区组设计,而循环差集与循环对称不完全区组设计 $CSBIBD(N, w, \lambda)$ 之间一一对应,若能生成循环差集就能生成 $CSBIBD(N, w, \lambda)$,但循环差集将光正交码中任意两个脉冲位置的距离全部包括,所以它只能生成码字为 1 的光正交码. 要生成具有多个码字的光正交码,就需要构造差集合而不是循环差集.

光正交签名图形与光正交码的区别是,它是在二维空间上满足自相关约束和互相关约束的光正交图形,二维空间差集合与光正交签名图形也满足一一对应的关系. 因此可以从构造二维空间差集合来构造光正交签名图形.

2.1 二维空间循环差集与差集合

2.1.1 二维空间循环差集

以正整数 N 为模的 w 个互不同余的整数所组成的集合可表示为

$$D \equiv \{(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_w, b_w)\} \pmod{N} \quad (4)$$

定义二维空间距离 d 为

$$d = (\xi, \eta) \in \{(0, 1), (0, 2), \dots, (0, N-1), (1, 0), \dots, (1, N-1), \dots, (N-1, N-1)\} \quad (5)$$

如果对每个 $d \neq (0, 0) \pmod{N}$,恰好在 D 中有 λ 个有序整数对 (a_i, b_i) 使得 $d \equiv \{(a_i - a_j) \pmod{N}, (b_i - b_j) \pmod{N}\}$ 成立,则称它为一个 (N, w, λ) 二维空间循环差集,记作 $D(N, w, \lambda)$.

2.1.2 差集合

在上述 D 中,如果仅对某些 $d \neq (0, 0) \pmod{N}$,恰好在 D 中有 λ 个有序整数对 (a_i, b_i) 使得 $d \equiv \{(a_i - a_j) \pmod{N}, (b_i - b_j) \pmod{N}\}$ 成立,则称它为一个 (N, w, λ) 二维空间差集合,记作 $D_1(N, w, \lambda)$.

2.2 二维空间差集合的构造

在最佳光正交码的构造中,从完备距离循环排列可以构造出循环差集,对此方法加以改进就可以构造差集合^[10]. 对于二维空间可以定义出二维空间完备距离循环排列,从而构造出空间域循环差集,

进而构造空间域差集合,最后构造光正交签名图形.

空间域完备距离循环排列与非完备距离循环排列的定义为:和为 N 的 w 个正整数对 ($w < N$) 作圆周上循环排列,如能通过邻加恰好生成 $(0, 1), (0, 2), \dots, (0, N-1), (1, 0), \dots, (1, N-1), \dots, (N-1, N-1)$ 各整数对各 λ 次,则称它是一个空间域完备距离循环排列,简记为 CPPD(N, w, λ);若只能生成 $(0, 1), (0, 2), \dots, (0, N-1), (1, 0), \dots, (1, N-1), \dots, (N-1, N-1)$, 中的部分整数对 λ 次,则称它为空间域非完备距离循环排列,简记为 CPID(N, w, λ).

例如:整数对集合 $\{(0, 1), (1, 0), (2, 1), (1, 2)\}$ 根据 CPPD 算法的定义,顺时针方向邻加,可得出的整数对称为扩展集合为 $\{(1, 1), (3, 1), (3, 3), (1, 3), (3, 2), (0, 3), (3, 0), (2, 3), (0, 0)\}$,从扩展集合可以看出它与原整数对没有重复的元素,并且它是不完备的,所以原整数对元素构成的集合是一个差集合,由该差集合构造出的光正交图形自然满足自相关约束^[10].

2.3 最佳光正交签名图形的构造步骤

设空间域 $(N \times N, w, 1)$ 光正交签名图形对应的非完备距离循环排列整数对构成的集合为 $A^{(w)}$,其中 $1 \leq q \leq \lfloor \frac{N \times N - 1}{w(w-1)} \rfloor$, $A_{\text{EXT}}^{(q)}$ 为 $A^{(w)}$ 采用 CPID 法邻加产生的新整数对集合,称为扩展集合,整数空间 $Z_{N,N} = \{(0, 1), (0, 2), \dots, (0, N-1), (1, 0), \dots, (1, N-1), \dots, (N-1, N-1)\}$,用非完备距离循环排列法构造最佳光正交签名图形的算法如下:

1) 生成 CPID 整数对 从 $Z_{N,N}$ 中任取 w 个不同的元素 $(\xi_1, \eta_1), \dots, (\xi_w, \eta_w)$,并要求 $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_w = N, \eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_w = N$,令 $A^{(w)} = \{(\xi_1, \eta_1), \dots, (\xi_w, \eta_w)\}$;

2) 检查自相关约束 生成扩展集合 $A_{\text{EXT}}^{(q)}$. 若扩展集合中有重复元素,返回步骤 1;否则,进行下一步;

3) 检查互相关约束 $1 \leq t \leq q$,若 $A_{\text{EXT}}^{(q)} \cap A_{\text{EXT}}^{(t)} \neq \phi$,返回步骤 1,否则进行下一步;

4) 生成差集合,检查容量是否最大 接受 $A^{(w)}$,令 $Z_{N,N} = Z_{N,N} - A_{\text{EXT}}^{(q)}$. 若 $q < \lfloor \frac{N \times N - 1}{w(w-1)} \rfloor$, $q = q + 1$,返回步骤 1,否则,进行下一步;

5) 由差集合生成光正交签名图形 根据对应关系,若光正交签名图形为 $C_q = \{(a_1, b_1), \dots, (a_w, b_w)\}$,则

$$a_i = 1 + \sum_{t=1}^{i-1} \xi_t (1 \leq i \leq w) \pmod{N} \quad (6)$$

$$b_i = 1 + \sum_{t=1}^{i-1} \eta_t (1 \leq i \leq w) \pmod{N} \quad (7)$$

这样就可以构造出最佳 $(N \times N, w, 1)$ 光正交签名图形.

3 仿真结果

根据上述算法得到的仿真结果如表 1.

表 1 最佳光正交签名图形仿真结果

N	w	图形数量	光正交签名图形
3	3	1	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)\}$
4	3	2	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)\}, \{(1, 1)(2, 3)(3, 2)\}$
5	3	4	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)\}, \{(1, 1)(1, 3)(3, 3)\}, \{(1, 1)(2, 3)(3, 2)\}, \{(1, 1)(2, 4)(4, 2)\}$
6	3	5	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)\}, \{(1, 1)(1, 3)(2, 5)\}, \{(1, 1)(3, 4)(5, 2)\}, \{(1, 1)(2, 4)(4, 5)\}, \{(1, 1)(2, 0)(4, 0)\}$
4	4	1	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)(4, 3)\}$
5	4	2	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)(3, 0)\}, \{(1, 1)(1, 3)(2, 0)(4, 1)\}$
6	4	2	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)(2, 4)\}, \{(1, 1)(2, 5)(3, 4)(5, 0)\}$
5	5	1	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)(2, 4)(4, 1)\}$
6	6	1	$\{(1, 1)(1, 2)(2, 2)(2, 4)(4, 0)(6, 3)\}$

根据式(3)计算上述最佳光正交签名图形的容量应分别为:1, 2, 4, 5, 1, 2, 2, 1, 1, 可见所构造的光正交签名图形的数量与根据式(3)计算得出的数目一致,说明该算法可以构造最佳光正交签名图形.

4 结论

光码分多址并行传输系统是能够实现高吞吐量图像传输的一种方案,与常规光码分多址系统不同的是,它的签名序列是二维光正交签名图形. 文章通过将一维空间区组设计、循环差集、差集合的概念推广到二维空间,定义二维空间域循环差集与差集合,研究二维空间域差集合与光正交签名图形的关系,提出了一种最佳光正交签名图形的构造算法,并进行算法仿真,仿真结果说明通过该算法可以有效地构造出最佳光正交签名图形.

参考文献

- 1 Kwong W C, Yang G C, Chang C Y. Wavelength-hopping time-spreading optical CDMA with bipolar codes. *J Light Technology*, 2005, **23**(1): 260~267
- 2 Kirm S J, Kirm T Y, Park C S, et al. 10 Gb/s temporally coded optical CDMA system using bipolar modulation/balanced detection. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2005, **17**(2): 510~512
- 3 付晓梅,于普龙,王文睿,等. 降低频谱编码光码分多址系统干扰的实验研究. *光子学报*, 2004, **33**(12): 1476~1479

- Fu X M, Yu P L, Wang W R, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12):1476~1479
- 4 吉建华,范戈. 一种新的大容量的二维光正交码. 光子学报, 2001, **31**(6):676~680
Ji J H, Fan G. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **31**(6):676~680
- 5 李传起,孙小菡. 基于 2D200C 的 OCDMA 系统的地址码结构研究. 光子学报, 2003, **32**(1):46~50
Li C Q, Sun X H. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1):46~50
- 6 Liu M Y, Tao H W. Performance analysis of direct-detection fiber-optic synchronous CDMA systems with parallel interference cancellers. *J Opt Commun*, 2000, **21**(4):147~153
- 7 Ratnam J. Optical CDMA in broadband communication-scope and application. *J Optical Communication*, 2002, **23**(1):11~21
- 8 Kitayuna K. Novel spatial spread spectrum based fiber optic CDMA networks for image transmission. *IEEE J Selected Area in Communication*, 1994, **12**(4):762~772
- 9 Yang G C, Kwing W C. Two - dimensional spatial signature patterns. *IEEE Transaction on Comm*, 1996, **44**(2):184~191
- 10 李晓滨,宋建中. 最佳(F,K,1)光正交码的构造算法. 中国激光, 2003, **30**(5):417~420
Li X B, Song J Z. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, **30**(5):417~420

Construction of Optimal Optical Orthogonal Signature Patterns Based on Optical Code Division Multiple Access for Image Transmission

Li Xiaobin

College of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060

Received date: 2005-12-07

Abstract It is stated that image transmission and access need the throughput of the system exceeding well over Gb/s, if conventional optical code division multiple access system is used as transmission system, it will be very difficult to realize because of the speed limitation of current opto-electronic devices, and the requirement to opto-electronic devices will be very high. The solution is adopted parallel transmission system based on optical code division multiple access. However, the signature of the parallel transmission system is a two-dimensional optical orthogonal signature patterns different from conventional signature sequences. Aiming at the problem that the construction of the maximum capacity of the optical orthogonal signature patterns (optimal optical orthogonal signature patterns) is lacked now, a novel construction algorithm based on block design is presented. The idea of the algorithm is based on the relationship between difference sets and optical orthogonal codes. If the concept of difference sets and block design can be extended to two-dimensional space, then according to the relationship between two-dimensional difference sets and optical orthogonal signature patterns, the construction of optimal optical orthogonal signature patterns can be achieved. The procedures to construct optimal optical orthogonal signature patterns are explained in detail. Simulation based on the algorithm is done. The simulating result shows that this algorithm can construct optimal optical orthogonal signature patterns effectively.

Keywords Optical fiber communication; Code division multiple address (CDMA); Image transmission; Optical orthogonal signature patterns (OOSPC's); Block design



Li Xiaobin was born in 1966. She is an associate professor of college of Information Engineering, Shenzhen University. She received her Ph. D in 2003. Her main research work focuses on the study of optical access networks, optical CDMA communication, and the technique and theory of wireless communication.