

完全互补 OCDMA 系统编解码方案与系统设计

陈 雷¹, 郭艳菊², 张 燕¹, 康志龙², 贾志成²

(1. 天津商业大学 信息工程学院, 天津 300134; 2. 河北工业大学 信息工程学院, 天津 300130)

摘要:对双极性光码分多址(OCDMA)系统采用码的单/双极性转换思路,将相关性能更优秀的双极性码应用于传统单极性 OCDMA 信道中,提出了一种采用双极性完全互补序列的 OCDMA 编解码方案及系统模型。仿真结果表明,完全互补的 OCDMA 系统与基于 Gold 序列的 OCDMA 系统性能相比有较大的优势。采用完全互补序列作为地址码,可以有效降低 OCDMA 系统中的多址干扰,提高通信质量。

关键词:光码分多址;双极性码;单极性码;完全互补序列;相关特性

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8788(2008)03-0010-04

Coding/decoding method and system design for complete complementary sequences-based OCDMA systems

Chen Lei¹, Guo Yanju², Zhang Yan¹, Kang Zhilong², Jia Zhicheng²

(1. School of Information Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2. School of Information Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: In the bipolar OCDMA system, bipolar codes with better correlation properties are used in the conventional unipolar OCDMA channels in light of the unipolar-bipolar code transformation. A bipolar complete complementary sequence-based OCDMA system coding/decoding method and system model are proposed. The simulation results show that it has much better system properties than the Gold sequence-based OCDMA system and that using complete complementary sequences as the address codes, the MAI in the OCDMA system can be effectively reduced and the communication quality improved.

Key words: OCDMA; bipolar code; unipolar code; complete complementary code; correlation property

光码分多址(OCDMA)系统是未来高速全光局域网的可能解决方案之一。目前,OCDMA 系统中能够直接使用单极性地址码,OCDMA 系统的单极性码主要有光正交码(OOC)、素数码(PC)等^[1]。但由于单极性码的自相关和互相关特性并不十分理想,基于单极性扩频码的 OCDMA 系统中的多址干扰(MAI)较为严重。因而提高 OCDMA 系统性能的有效办法是在系统中使用相关特性更加优秀的双极性地址码。

目前对双极性光码分多址系统的研究主要集中在双/单极性码的转换^[2],文献[3]给出了编解码器的信息处理方式,文献[4]对 OCDMA 系统中的单极性和双极性码的容量与性能进行了比较。尽管这些双极性码的相关特性优于 OOC 等单极性码,但

仍然不很理想。所以将 m 序列和 Gold 序列等双极性码应用于 OCDMA 系统中时还是存在一定程度的 MAI,影响了 OCDMA 系统通信质量的进一步提高。为进一步降低 OCDMA 系统中的 MAI,本文给出了将双极性完全互补序列应用于 OCDMA 系统的编解码方案和系统设计。通过理论分析和系统仿真发现,基于本方案的 OCDMA 系统的性能优于采用单极性码和双极性码的 OCDMA 系统。

1 完全互补序列的定义及其构造^[5]

定义 n 个序列集 $S = \{S_0, S_1, \dots, S_p, \dots, S_{n-1}\}$, 每个序列集中包含 n 个序列 $S_r = \{S_p^0, S_p^1, \dots, S_p^q, \dots, S_p^{n-1}\}$, 每个序列长度为 N^2 , 如果全部序列的相关特性满足下列条件:

$$R(\tau) = \sum_{l=0}^{n-1} R_{S_{p1}^l, S_{p2}^l} = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{N^2-1} S_{p1}^l(k) \cdot \overline{S_{p2}^l(k + \tau \bmod N^2)} = \begin{cases} 0 & (\forall \tau, p1 \neq p2) \\ nN^2 & (\tau=0, p1=p2), \\ 0 & (\tau \neq 0, p1=p2) \end{cases} \quad (1)$$

则称这些序列集构成一个完全互补序列集。式中, τ 为时延。

完全互补序列可以通过正交矩阵构成,依据文献[5],可以构造一个 N 阶完全互补序列集 $C_1 =$

$\{C_1^1, C_1^2, \dots, C_1^N\}, C_2 = \{C_2^1, C_2^2, \dots, C_2^N\}, \dots, C_k = \{C_k^1, C_k^2, \dots, C_k^N\}, \dots, C_N = \{C_N^1, C_N^2, \dots, C_N^N\}$, 其中各序列的长度为 $N^2, C_k = \{C_k^1, C_k^2, \dots, C_k^N\}$ 为一个自互补序列。

2 双极性完全互补序列 OCDMA 系统的编解码方案与系统设计

光通信系统通常采用强度调制/直接探测(IM/DD)技术。单极性 IM/DD 信道不能传输负脉冲,因此在单极性信道中传输双极性码时,需要进行双极性码与单极性码的转换。如图 1、图 2 所示,在发射端,输入的电双极性信号先转换为光单极性信号,再进行传输;接收端,信号做反处理,实现单极性信道中传输双极性信号。

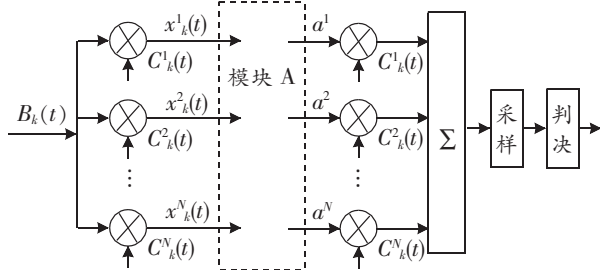


图 1 完全互补 OCDMA 通信系统框图

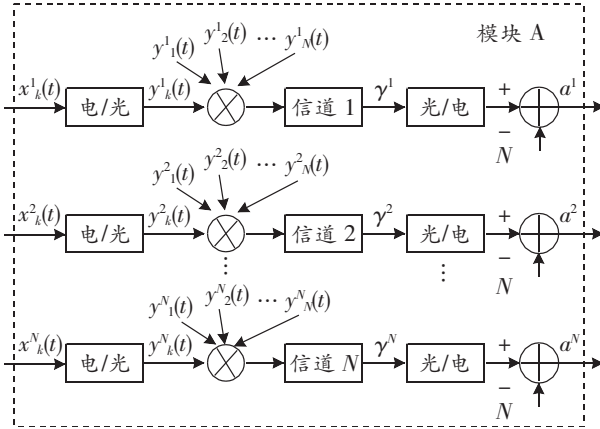


图 2 单极性信道中传输双极性完全互补序列的原理图

设 N 个用户同时接入网络,第 k 个用户的电双极性数据信息为

$$B_k(t) = \sum_{i=0}^{\infty} b_{k,i} p_b(t - iT - \tau_k), \quad (2)$$

式中, $b_{k,i}$ 是第 k 个用户的第 i 个码元符号; T 为数据比特周期; τ_k 为第 k 个用户的数据信号相对于参考信号的延时; $p_b(\cdot)$ 是一个连续 T 秒的单位方波。

每个用户使用它所分配到的一个自补码中的 N 个序列,分别对它的每一个数据比特进行扩频,形成 N 路信号,则用户 k 的第 m 路扩频序列可表示为

$$C_k^m(t) = \sum_{j=0}^{L-1} C_k^m(j) p_c(t - jT_c), \quad (3)$$

式中, $C_k^m(j)$ 为分配给第 k 个用户的自补码中的第

m 个序列的第 j 个码元符号; $p_c(\cdot)$ 是一个连续 T_c 秒的单位方波。

第 k 个用户的第 m 路经过扩频后的数据可表示为

$$x_k^m(t) = B_k(t) C_k^m(t) = \sum_{i=0}^{\infty} b_{k,i} \sum_{j=0}^{L-1} C_k^m(j) \times p_c(t - iT - jT_c - \tau_k). \quad (4)$$

单/双极性转换公式为

$$y_k^m(t) = \frac{1}{2} [1 + x_k^m(t)] = \frac{1}{2} \left[1 + \sum_{i=0}^{\infty} b_{k,i} \sum_{j=0}^{L-1} C_k^m(j) p_c(t - iT - jT_c - \tau_k) \right], \quad (5)$$

$m \in \{1, 2, \dots, N\}$, 扩频后的双极性码被转换为可在光纤中传输的单极性码。已转换为单极性码的第 k 个用户的 N 路数据采用光波分复用(OWDM)技术,将不同的波长($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$)耦合到同一根光纤中传输。

经过光纤信道传输后,在接收端,转换前的第 m 路单极性信号可表示为

$$y^m(t) = A_1^m \lambda_1 y_1^m(t) + \sum_{k=2}^N A_k^m \lambda_k y_k^m(t) + \lambda_n, \quad (6)$$

式中, A_k^m 为第 k 个用户的第 m 路信号的衰减。在接收端先进行单/双极性转换,即

$$a^m(t) = 2\gamma^m(t) - N = A_1^m \lambda_1 [1 + x_1^m(t)] + \sum_{k=2}^N A_k^m \lambda_k [1 + x_k^m(t)] + 2\lambda_n - N, \quad (7)$$

根据式(4)可得

$$a^m(t) = \lambda_1 A_1^m B_1(t) C_1^m(t) + \sum_{k=2}^N \lambda_k A_k^m B_k(t - \tau_k) \times C_k^m(t - \tau_k) + \sum_{k=1}^N \lambda_k A_k^m + 2\lambda_n - N, \quad (8)$$

令每个用户每一路信号的光功率均为 λ_s , 衰减均为 A_s , 则式(8)可改写为

$$a^m(t) = \lambda_s A_s B_1(t) C_1^m(t) + \sum_{k=2}^N \lambda_s A_s B_k(t - \tau_k) \times C_k^m(t - \tau_k) + \lambda_n'. \quad (9)$$

3 系统接收性能分析

在本系统中,由于用户 1 为目标用户,此时先对用户 1 的 N 路信号进行解扩,即使用分配给用户 1 的 N 个匹配滤波器分别对接收机接收到的 N 路信号进行相关运算。假设各用户信号保持同步,在 $t = iT$ 时取样,对于目标用户 1,第 m 个匹配滤波器的输

出为

$$r_1^m(iT) = \lambda_s A_s b_{1,i} R_{1,1}^m(0) + \sum_{k=2}^N \lambda_s A_s [b_{k,i} R_{k,1}^m(0)] + \lambda_n' \sum_{j=0}^{L-1} C_1^m(j), \tag{10}$$

式中, $R_{1,1}^m(0)$ 为第 1 个用户的自相关峰值; $R_{k,1}^m(0)$ 为在出现第 1 个用户的自相关峰值的时刻, 第 k 个用户和第 1 个用户的互相关值。对第 1 个用户的 N 个匹配滤波器的输出信号求和, 接收机的总输出为

$$r_1(iT) = N \lambda_s A_s b_{1,i} [N \cdot N^2] + \lambda_s A_s \cdot 0 + \lambda_n' \sum_{m=1}^N \left[\sum_{j=0}^{L-1} C_1^m(j) \right]. \tag{11}$$

可见, 第一项为期望的用户 1 的信息; 第二项为多用户干扰项, 由于完全互补序列的理想互相关特性完全消除; 第三项为背景光干扰项。在 OCDMA 通信中, 第三项值较小, 接收机中的主要干扰来自于其他用户的 MAI。在本系统中完全消除了来自于其他用户的 MAI, 提高了通信质量。

4 系统仿真及结果讨论

4.1 系统仿真与分析

在本系统中, 随机选取同一序列族内的两个码长为 31 的 Gold 序列 G1 和 G2, 并随机选取同一完全互补序列族内长度为 16 的两个自互补码序列 $C_1 = \{C_1^1, C_1^2, C_1^3, C_1^4\}$, $C_2 = \{C_2^1, C_2^2, C_2^3, C_2^4\}$ 。在系统中经过上述序列仿真得到自相关和互相关特性曲线分别如图 3、4 所示。图中时延单位为序列的一个码元周期。

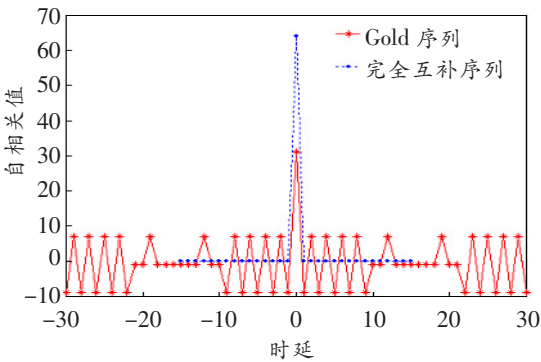


图 3 Gold 序列 G1 与完全互补序列的自相关特性曲线

从图 3 中可以看出, 在 OCDMA 系统中, 完全互补序列的自相关接收性能是理想的, 旁瓣值为 0。而 Gold 序列的自相关旁瓣取 3 个值, 取值分别为 7、-1 和 -9。

从图 4 可以看出, 同一序列族中的完全互补序

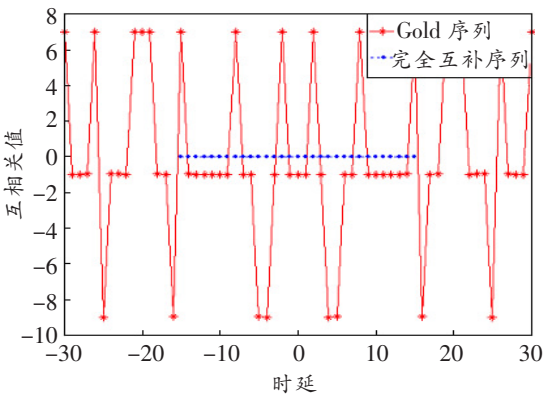


图 4 Gold 序列与完全互补序列的互相关特性曲线

列间的互相关接收性能也是理想的, 互相关运算得到的值均为 0。而 Gold 序列的互相关特性较差, 互相关函数亦为 3 值函数, 取值分别为 7、-1 和 -9。

通过比较基于 Gold 序列和完全互补序列的 OCDMA 系统的扩频增益发现, 对于我们选取的长度为 31 的 Gold 序列, 其扩频增益为 31。而我们选取的长度仅为 16 的完全互补序列, 其应用于系统中的扩频增益达到了 $4 \times 16 = 64$, 远高于基于 Gold 序列的 OCDMA 系统。

因而, 通过比较基于完全互补序列和基于 Gold 序列的 OCDMA 系统的自相关特性和互相关特性, 以及扩频增益的差距, 可以得出采用完全互补序列作为地址码的 OCDMA 系统性能要优于采用 Gold 序列的 OCDMA 系统的结论。

4.2 可用地址码数量的分析与比较

在 OCDMA 系统中, 可容纳用户的数量与所采用的扩频序列的可用地址码数量是密切相关的。对于基于 m 序列和 Gold 序列的单码 OCDMA 系统, 用户可用地址码数量较少。例如, 9 级移位寄存器产生的 m 序列有 48 个。取出一个序列, 只能找到 12 个 m 序列与其相关的互相关值最大值等于 33。但找不到多于 3 个序列的组, 其中任意两序列之间的互相关最大值等于 33。尽管采用 Gold 序列作为地址码, 地址数可大大超过用 m 序列作地址码时的数量, 但通过仿真比较发现, Gold 序列的自相关和互相关特性并不十分理想, 影响了双极性 OCDMA 系统通信质量的进一步提高。

而完全互补序列具有理想的自相关和互相关特性, 并且通过增加自互补序列的数量和长度, 可用地址码的数量可以任意增加, 为 OCDMA 通信系统用户数量的扩大以及通信质量的提高提供了广阔前景。

5 结束语

本文提出了基于双极性完全互补序列的 OCDMA 系统编解码方案及其系统设计,使具有理想相关特性的双极性完全互补序列可以在传统单极性 OCDMA 系统中得到应用。通过理论分析以及基于 Gold 序列的 OCDMA 系统性能的仿真比较,得出了完全互补序列可以进一步提高 OCDMA 系统的通信质量的结论。

参考文献:

- [1] Chung F R K, Salehi J A, Wei V K. Optical orthogonal codes: design, analysis and applications [J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1989, IT-35(3):595-604.
- [2] Nguyen L, Dennis T, Aazhang B, *et al.* Experimental

demonstration of bipolar codes for optical spectral amplitude CDMA communication [J]. J. Lightwave Technol., 1997,15(9):1 647-1 653.

- [3] Li Xiaobin, Sun Yuyong, Song Jianzhong. Tunable serial encoder/decoder for optical code division multiple access communication system [J]. Chinese J. Lasers, 2003,30(4):353-356.
- [4] 董海峰,杨淑雯. 双极性光码分复用系统的研究 [J]. 光通信研究,2003,(1):23-27.
- [5] Torri Hideyuki, Nakamura M, Suehiro Naoki. Generalized method for constructing modulatable periodic complete complementary codes [A]. Third IEEE signal processing workshop on signal processing advances in wireless communications [C]. Taoyuan, Taiwan: IEEE, 2001. 259-262.

(上接第 6 页)

具有以下网络特点:

(1) 高生存性。拓扑的每一层网络结构都具有高生存性,包括逻辑节点和逻辑环。逻辑节点的任何一个桥接端口出现问题都不会影响整个网络的稳定性;逻辑环继承了标准 RPR 的倒换机制,任何一个逻辑节点出现问题都可以将数据进行重选环传输,保证了逻辑环的高生存性。

(2) 高带宽利用率。标准 RPR 可以利用空分复用技术提高带宽利用率,逻辑环同样可利用该复用机制提高网络的整体利用率。同时,每一层的逻辑节点、逻辑环工作时都是相互独立互不干扰的,因此,可以很好地提高带宽利用率。

(3) 简易性。利用桥接方式构建高生存性网络结构,完全保持了标准 RPR 的协议机制,未对标准 RPR 节点作任何的改动,网络实现简单易行。

(4) 网络垂直性。本文提出的网络结构是一种垂直型的网络结构,网络由底层依次拓扑下去,每一层的数据传输只需根据本层网络 ID 进行寻址判断,避免了网络地址洪泛。

4 结束语

本文吸取了 RPR 传统高生存性和桥接模式的

平面拓扑网络结构的优点,提出了一种新的高生存性垂直网络拓扑结构,避免了前两种网络结构的缺陷。同时,新的网络结构继承了标准 RPR 单环协议机制的优点。因此,本文提出的新的高生存性垂直网络拓扑结构将是一种很好的 RPR 网络拓扑方案。

参考文献:

- [1] 张治中,曾庆济,雒江涛,等. 弹性分组多环互连网络的跨环传输研究 [J]. 电子科技大学学报,2006,35(5): 729-732.
- [2] 叶振,袁道华,王放,等. 弹性分组环互联技术 [J]. 计算机时代,2006,(2):9-11.
- [3] 欧阳芹峰,敖发良. 高生存性 RPR 网络数据传输实现 [J]. 光通信技术,2006,(5):13-15.
- [4] IEEE Std 802.17 TM-2004, Resilient Packet Ring (RPR) Access Method and Physical Layer Specifications [S].
- [5] 陶智勇,张继军,包立明,等. 弹性分组环 [M]. 北京:北京邮电大学出版社,2003.