

无线光码分多址通信系统编码技术研究^{*}

王亚峰^{**} 万生鹏 胡渝

(电子科技大学应用物理所 成都 610054)

【摘要】 介绍了在光码分多址通信系统中常用的几种编码方式,通过分析、比较各自的优缺点,提出了一种比较适合无线光码分多址通信系统的新编码方案,称为双极性码的单极性实现。

关键词 码分多址; 光正交码; 素数序列码; 差分探测; 大气湍流

中图分类号 TN929.1; TN911

由于码分多址(CDMA)技术的优越性能,它在移动通信、卫星通信等领域有着广泛的应用^[1]。CDMA技术抗干扰性强,系统容量大,无需全网同步,支持异步通信和突发业务,软切换和软容量(用户数的增加只会使误码率平滑增加而无需改进系统,这对系统的升级极为有利)^[2-3]。它唯一的缺点是占用的频带宽,但对有很宽带宽资源的光通信来说不是很重要。因此,在CDMA技术与光通信结合后,形成了一个新的研究领域—光码分多址(OCDMA)。与电CDMA类似,光CDMA也是为每个用户分配一个扩频序列(又称标志序列,签名序列),对信息进行编码/解码,依靠不同的扩频序列来区分不同的用户。国外从80年代中期开始在光纤码分多址(FO-CDMA)领域中进行了研究,在理论上得出了满意的结论。但对于无线光码分多址(WO-CDMA)技术,国际上尚未做任何较深层次的研究。在无线光通信中,可采用的多址方式有波分多址(WDMA)、时分多址(TDMA)和空分多址(SDMA)。其中SDMA一般是与其他多址方式配合使用,以进一步提高复用效率。在深空光通信中,由于传输距离很长,因而时延较大,这对TDMA系统是个难点,因为TDMA系统要求严格的时钟同步;WDMA则要求发射光源的频率在较大范围内连续可调,在目前的情况下,由于其技术要求非常高,连续可调光源的生产存在较大的难度。因此,随着CDMA技术在无线局域网中的成功应用,人们开始了在无线光通信中采用CDMA技术的研究^[4]。

在码分多址系统中,扩频序列的选择及其物理实现是一个重要的核心问题,它直接关系到系统的容量、由误码率等标志的系统整体性能、系统的复杂度、系统的同步等诸多方面。由于光通信系统(这里指非相干光通信系统)常采用IM-DD(强度调制—直接探测),要在光频实现CDMA,所选用的扩频码只能取值(归一化光脉冲强度)于单极性(0,1)域而不能取值于双极性(+1,-1)域,使得在电域中常用的编码方案,在光CDMA中不是最优的。因此选择适合光CDMA的编码方案尤其重要。本文介绍了在光CDMA中应用的扩频编码方案,并提出了一种适合无线光码分多址的新编码方案。

1 传统的扩频编码方案

扩频码的选择和物理实现,对光CDMA具有十分重要的意义。就其实现方法而言,可分为两大类:一类为有源编码,另一类为无源编码。有源编码是直接电域实现扩频编码和解码,然后采用副载波调制。这种方法由于其速度受到限制,没有体现出光信号处理的优势,因而研究者较少。而无源编码一般使用光编码器和光解码器在光域实现编码/解码,研究的较多的无源编码方案有光纤延迟线法、相干光相关法等。

1.1 双极性编码

在CDMA通信系统中,扩频序列选择的原则具有如下特性:1)有尖锐的自相关特性;2)尽可能小的互相关特性;3)有足够多的码序列;4)尽可能大的复杂度。 m 序列、 M 序列、Gold序列、正交

1999年5月24日收稿

*国家自然科学基金资助项目,基金号:69782009

**男 25岁 硕士生

Walsh 码等由于具有上述特点而在无线电 CDMA 中广泛采用。它们良好的相关特性是在序列取值于双极性域(+1, -1)时获得的,属于双极性码。双极性码的优点是很明显的,主要有变址容易(可随意选址)、系统容量大、码间干扰小和技术成熟等。但由于非相干光通信系统常采用 IM-DD(强度调制-直接探测),所以要在光频实现 CDMA,只能采用由(0, 1)组成的单极性码。因此,光 CDMA 中的双极性编码是采用副载波调制,在电域实现扩频编码和解码。但严格地说,这种方式不是光 CDMA,受电子器件响应速率极限的限制,它只适用于低速率系统。

1.2 单极性编码

由于光 CDMA(指非相干系统)的扩频码从本质上应是单极性的,所以在对光 CDMA 的研究中,人们提出了许多具有准正交特性(指互相关不为零)的单极性码,目前研究较多的有两类:

1) 素数序列码(Prime Sequence Codes)^[5]

素数序列码是码长 $N=p^2$ 的码序列,其中 p 是一个素数。其构成程序为:先构成一个有限域 $GF(p)=\{0, 1, \dots, j, \dots, p-1\}$,然后取 $GF(p)$ 中的每一个元素 j 乘以 $GF(p)$ 中的任一元素 i , i 和 j 的模为 p ,可得一个序列 $S_i=\{S_{i0}, S_{i1}, \dots, S_{i(p-1)}\}$,再按以下的映射规律,映射为一个码长为 p^2 的二元码序列 $C_i=\{C_{i0}, C_{i1}, \dots, C_{i(p^2-1)}\}$

$$C_{ij}=\begin{cases} 1 & j=S_{ij}+jP \quad j=0, 1, \dots, P-1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

按这种方法,给定一个素数 p ,可得到 p 个码长为 p^2 的码序列,每个码字的码重(序列中“1”码元的个数)为 p 。

素数序列码的优点是构造简单,但国内有研究表明,素数序列的自相关函数旁瓣太大,在实际应用中,稍受干扰即会使系统对自相关峰的检测误判,使系统误码性能恶化,因此不适合用做光 CDMA 系统的扩频序列^[2]。事实上,提出用素数序列码的系统,其前提一般都是系统严格同步,这在目前来说很难做到。此外,素数序列码当网络中同时通信的用户数增加时,码间干扰严重,也会使系统性能急剧恶化。

2) 光正交码(Optical Orthogonal Codes)^[6]

一般地,一个光正交码 $C(n, \omega, \lambda_a, \lambda_c)$ 是一组长度为 n ,码重为 ω 的(0, 1)序列组成的集合。 C 中每个码字 $(x_0, x_1, \dots, x_{n-1})$ 的循环自相关函数和任意两个相异码字 $(x_0, x_1, \dots, x_{n-1})$ 和 $(y_0, y_1, \dots, y_{n-1})$ 之间的循环互相关函数分别满足

$$\sum_{i=0}^{n-1} x_i \circ x_{i \oplus \tau} = \begin{cases} \omega & \tau = 0 \\ \leq \lambda_a & \tau = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases}$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} x_i \circ y_{i \oplus \tau} \leq \lambda_c \quad \tau = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

式中“ \oplus ”是模 n 加。 λ_a, λ_c 是自相关和互相关约束,可取任意正整数。

和素数序列相比, OOC 的自相关和互相关性都比较好,是一类在光 CDMA 应用中有前途的编码方案。其实现多用光纤延迟线,采用梯形网络结构,比较适合于光纤 CDMA 应用。但 OOC 存在功率利用率低、损耗大以及变址困难、价格昂贵等问题,由于无线光通信系统是功率受限系统,这些缺点使其在无线光通信中的应用受到很大的限制。

2 一种新的编码方案

鉴于上述两种编码方案各有利弊,又各有特点,本文讨论了一种在克服以上两种编码方案弊端的同时,又保留其优点的编码方案,称为双极性码的单极性实现,这种编码方案是光谱幅度编码(Spectral Amplitude Coding)^[7]。其基本思路为:1) 根据系统所需的容量、通信速率、同时通信的用

户数目等选择一种适合的双极性码 X (包括适当选择码长度 N 、码重 ω 等); 2) 采用如下的映射关系, 将双极性码映射为相应的单极性码 U , 即 1 不变, -1 变为 0; 3) 在 U 后添上 \bar{U} (即把 U 中的 0 变为 1, 1 变为 0), 使码变为长度是 $2N$ 的单极性码 J , 这样的单极性码保留了原来双极性码的相关特性。整个映射过程如图 1 所示。

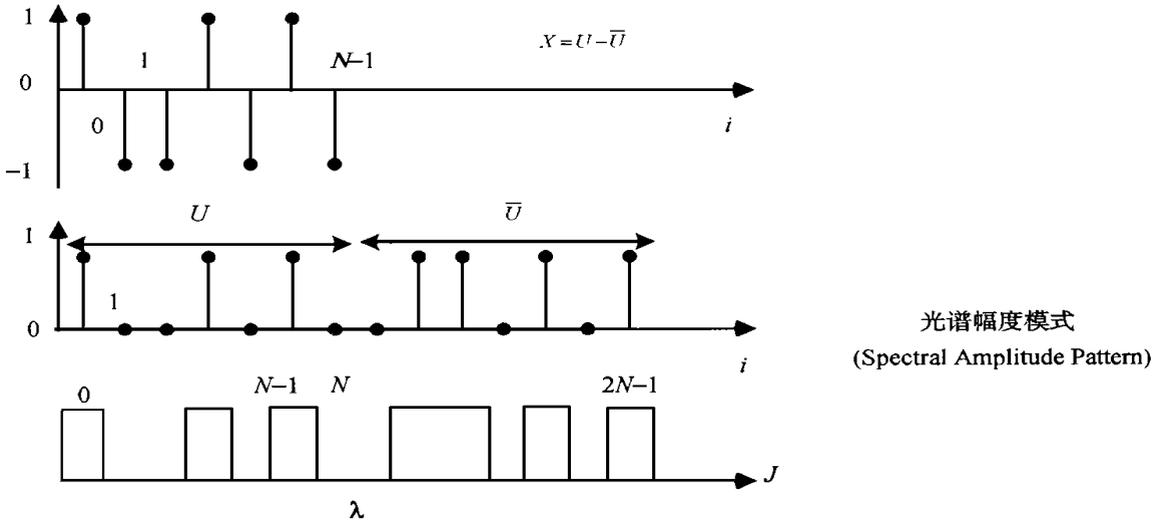


图 1 对应于双极性码 X 的光谱幅度模式的形成

与之相对应, 其信号检测方式为差分探测, 即光接收到以后, 使用分束片将入射光分为两路, 分别进行相关运算后照在两个光电探测器上, 再通过一个相加器, 对两路的输出电流进行相减, 就得到了原来双极性码的相关特性⁸。在探测过程中, 关键的因素在于消除由于两个光电探测器的响应率不可能严格相同而带来的误差, 这可以在不发射信号的情况下, 调节两个探测器, 使其输出相等。我们采用差分探测, 除了分别进行相关运算, 保留了原来双极性码的相关特性外, 还可以有效的消除大气湍流、背景噪声等的影响, 因为两路信号都经历了相同的干扰, 所以其相差可以较为准确地反映信号的相关。和光纤延迟线编码相比, 该系统性能稳定, 无须短光脉冲和高速光探测器, 对光源波长变化不敏感。此外, 由于采用光谱幅度编码, 所选光源有一定带宽, 因而降低了系统的成本。本文所采用的系统如图 2 所示。

该编码方案除了具有上述特点外, 还有一个不同于无线电 CDMA 之处, 就是在无线电中的编码是在时域、频域进行, 而光 CDMA 中则更多的是在空域编码, 这是对电 CDMA 编码概念的扩展。

3 结论

经过上述分析, 我们发现光 CDMA 的编码方法比电 CDMA 灵活的多, 既可以在时域、频域进行, 也可以在空域进行, 采用光谱幅度编码。

从文中的分析看出, 素数序列码的自相关函数旁瓣太大, 在实际应用中, 稍受干扰即会使系统对自相关峰的检测误判, 使系统误码性能恶化, 因此不适合用做光 CDMA 系统的扩频序列。而光正交码(OOC)和素数序列码相比, OOC 的自相关和互相关性都比较好, 是一类在光纤 CDMA 应用中有前途的编码方案。但 OOC 存在功率利用率低、损耗大等问题, 由于无线光通信系统是功率受限系统, 这些缺点使其在无线光通信中的应用受到很大的限制。本文提出了一种比较适合无线光 CDMA 的新的编码方案, 这种编码方案和差分探测相结合, 从理论上可以有效的消除大气湍流, 背景噪声等的影响。本编码方案系统性能稳定, 无须短光脉冲和高速光探测器, 对光源波长变化不敏感。且由于所选光源有一定带宽, 降低了系统的成本。

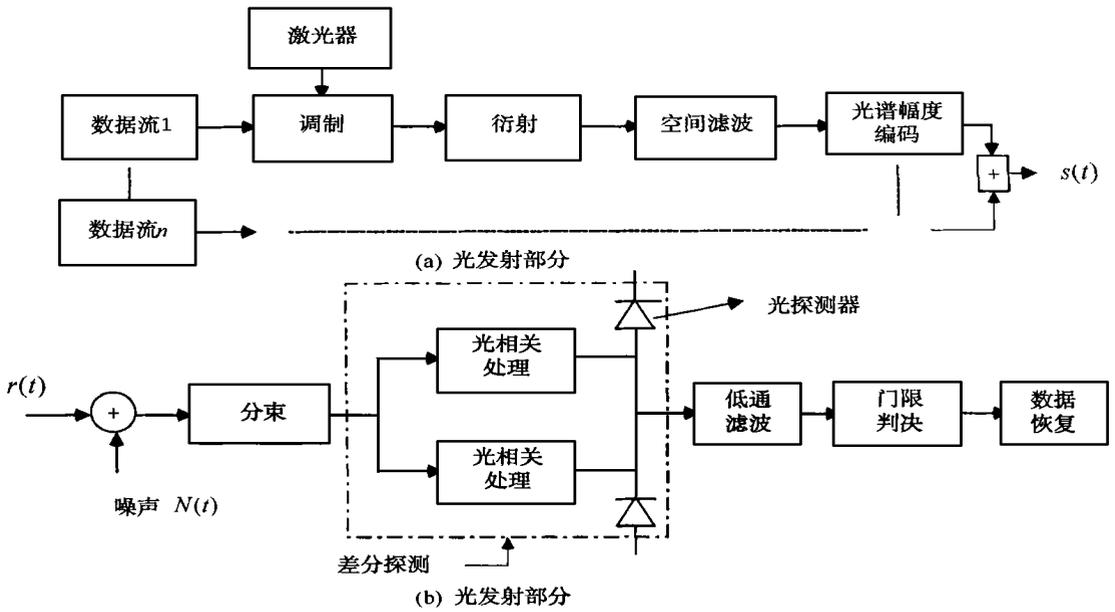


图 2 采用光谱幅度编码的无线光 CDMA 系统模型

参 考 文 献

- 1 朱近康. 扩展频谱通信及其应用. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993
- 2 朱 勇, 张宝富, 程世盛, 等. 光纤 CDMA 通信技术. 通信工程学院学报, 1997, 11(2): 13~18
- 3 殷洪玺, 张光照, 杨淑雯. 适用于光码分复用通信的可调光正交码编/解码器的研究. 通信学报, 1998, 19(3): 85~90
- 4 万生鹏, 王亚峰, 胡 渝, 等. 空间无线光 CDMA 网络的探讨. 电子科技大学学报, 1998, 27(5): 526~531
- 5 李玉权, 张宝富. 光 CDMA 通信技术. 通信工程学院学报, 1998, 12(2): 44~52
- 6 Chung Fan R K, Salehi J A, Wei V K. Optical orthogonal codes: design, analysis and applications. IEEE Trans On Information Theory, 1989, (5): 595~604
- 7 Lim Nguyen, Tasshi Dennis Behnaam Aazhang. Experiment demonstration of bipolar codes for optical spectral amplitude CDMA communication. Journal of Lightwave Technology, 1997, 15(9): 1 647~1 653
- 8 Nguyen L, Aazhang B, Young J F. All-optical CDMA with bipolar codes. Electronics Letters, 1995, 31: 469~473

Research of Coding Scheme for Wireless Optical Code Division Multiple Access Communication System

Wang Yafeng Wan Shengpeng Hu Yu

(Institute of Applied Physics, UEST of China, Chengdu 610054)

Abstract In this paper, several kinds of coding scheme for optical code division multiple access are introduced, and then their advantages/shortcoming are analyzed and compared. A new coding scheme based on the transmission and detection of bipolar sequences in a unipolar system is presented, which is thought to be suitable for wireless optical code division multiple access communication system.

Key words code division multiple access; optical orthogonal codes; prime sequence codes; differentiating detection; scintillation