

频域相位光码分多址系统性能的研究*

张崇富**¹ 邱 昆¹ 安晓强¹ 陈华容²

(1. 电子科技大学 宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054; 2. 西南科技大学 绵阳 621000)

【摘要】研究了频域相位编解码光码分多址系统的性能。推导了在码位误差时系统误码率的数学公式。分析了在光功率, 码位误差, 码长, 单极码和双极码情况下对OCDMA系统性能的影响。仿真结果表明: 比较高的光功率、较长码字有利于改善系统性能, 系统随码位误差增大而对系统影响愈大, 双极性系统性能明显优于单极性OCDMA系统。

关键词 光码分多址; 频域编解码; 双极码; 相位掩模板; 码位误差

中图分类号 TN929.11 文献标识码 A

Investigation on Performance of OCDMA System with Spectrum-Phase En/Decoder

Zhang Chongfu¹ Qiu Kun¹ An Xiaoqiang¹ Chen Huarong²

(1. State Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054;

2. Southwest University of Science and Technology Mianyang 621000)

Abstract The paper has studied the performance of OCDMA system with spectrum-phase en/decoder. The analysis of impact on error of code position for OCDMA system, Gained the formula of BER of system under the case. The numerical result demonstrates the control of luminous power, structure of en/decoder and choice of code sequence, which are key to OCDMA system.

Key words OCDMA; spectrum en/decoding; bipolar code; LCM; error of code position

光码分多址(optical code-division multiple access, OCDMA)技术的成功应用,很大程度上受其码容量(即用户数)的限制。目前如何提高用户数成为一个研究热点,国内外许多学者针对强度调制/直接检测(IM/DD)技术的光纤通信系统提出了单极性($\{0, +1\}$ 序列)素数跳频序列,二维光正交码,三维光正交码等来增加用户数,基于IM/DD系统非相干特性决定了比相干双极性光码分多址(bipolar optical code-division multiple access, B-OCDMA)的用户数要少,因此双极性码(良好自、互相关性的 $\{-1, +1\}$ 序列)在OCDMA系统中的应用研究,引起了国内外广泛关注,可以肯定双极性光码分多址技术在容量用户数方面应是最终解决方案之一。由于IM/DD存在不能充分挖掘光纤带宽资源,频带利用率很低,接收灵敏度不高和传输距离较短等限制,为了突破上述限制,提高OCDMA系统的性能,也有学者提出了在OCDMA系统中采用相干通信方式。如日本学者Naoya Wada等对8码位光双极性扩频码所构成的单路速率10 Gb/s的(binary phase shift key, BPSK)相干OCDMA系统成功地进行了实验^[1]; 1998年在美国Supercom'98 Trade上,美国商业技术公司所展示了光相位双极性编解码的OCDMA系统样机,该样机的传输总速率达120 Gb/s。采用相干光纤通信的B-OCDMA系统具有如下优势:可以接入大量的用户;支持可变比特率的用户数据;适合广播业务和易于实现不对称业务。相干光纤通信的B-OCDMA技术正成为一个研究热点,在未来OCDMA通信中具有很强的技术优势和

2002年11月26日收稿

* 国家863计划项目, 编号: 2001AA122071

** 男 26岁 硕士生 主要从事光纤通信、光码分多址技术方面的研究

应用前景。

1 频域相位编解码系统

1.1 频域相位编解码OCDMA系统

基于频域相位编解码OCDMA通信系统如图1所示^[3]。频域相位编解码OCDMA通信系统,无论是在实验还是理论方面,相对其他的几种OCDMA通信系统来讲,研究都不够深入。由于相干系统本身实现难度较高,现在基本处于实验室研究阶段,在美国,日本等国家也有一些突破性的进展^[1-4]。超荧光光纤光源(SFS)通过分色镜(DM)、EDFA、滤波器和隔离器,再经过偏振光束分光器(PBS)分为两路相同光束,分别进入编码器 $E(x)$ 和 $E^*(x)$ (属互补编码器)。为了使解码器能准确恢复出期望用户信息,系统采用伪随机相位码(PN)对传输数据进行编码,形成编码后的光脉冲序列,光脉冲序列经光束分光器在反射镜(RM)再耦合到光传输网络中,在接收端对光脉冲进行相反处理,从而实现光脉冲解码。经过EDFA、滤波器、均衡探测器和阈值判决器,最后得到期望用户信息。为了改善系统性能可设置由色散位移光纤和长波长带通滤波器构成的强度鉴别器;由于相干光通信中,要求光脉冲持续时间很短,所以色散和非线性效应会对系统的性能造成较大的影响,在系统中可采用色散补偿、光功率控制等技术。

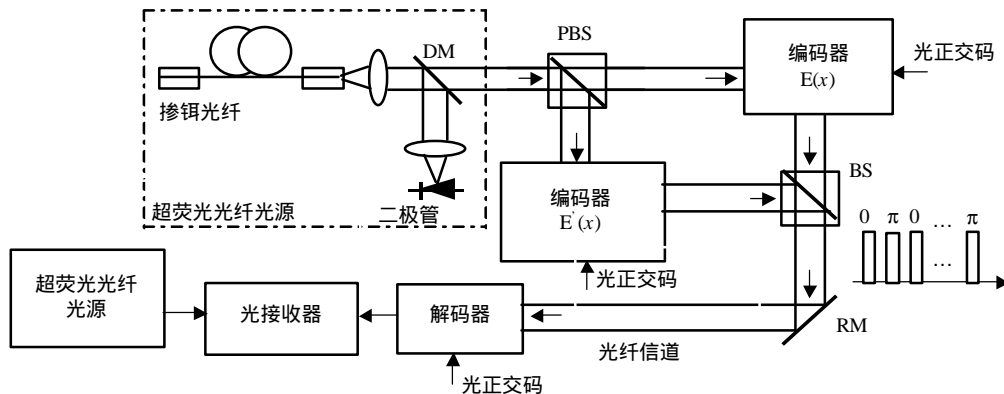


图1 频域相位编解码OCDMA系统框图

1.2 编解码器结构和原理

编解码器是实现B-OCDMA系统技术和相干探测的关键器件,图1所示系统的编码器由色散光栅(DG)、共焦透镜(FL)和液晶调制器(LCM)构成,结构如图2所示。当光脉冲经过色散光栅和透镜1后,信号光脉冲频谱分布在LCM(LCM为复共扼模板,也称相位掩模板)上,通过LCM上电极的电压来灵活控制相位码,给不同频率的光脉冲映射一个伪随机的相位码($\{0, \pi\}$ 序列),即完成从时间域到频域的傅里叶变换,通过LCM提取信号的一级谱,对其进行频域编码。通过透镜2和色散光栅将频域编码后的光脉冲重新组合后耦合到光网络,完成光脉冲的编码。解码器与编码器的原理和结构相同。

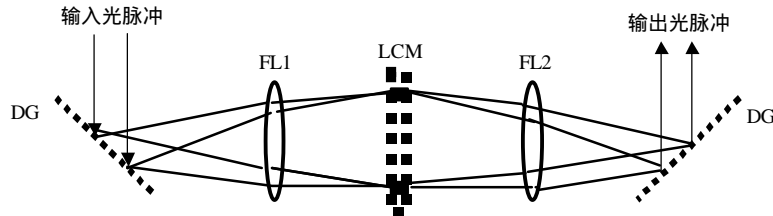


图2 基于光栅和LCM的编码器示意图

2 频域相位编解码系统分析

系统中输入的光脉冲时间周期与光栅频谱分辨率和码长度关系式为^[5]

$$T_{in} = a \frac{2w \sin q_d}{Fc} \quad (1)$$

式中 a 为常数, $a=0.442$; w 为光束模场半径; q_d 为光栅衍射角; F 为码长; c 为真空中的光速。如假定 $w=10$ mm, q_d 为 $\pi/2$, 码长度分别为 31、127 和 512, 则输入光脉冲时间周期须不大于 1 ps、0.24 ps、0.06 ps。根据文献[6], 在光栅相位掩模板的频域相位编解码系统中, 当同时激活用户数 N 受到光源带宽和空间分辨率的限制时, 其用户数为

$$N = h \frac{f_{in} w}{I T_g \cos q_d} \quad (2)$$

式中 f_{in} 为输入光脉冲带宽; I 为光脉冲中心波长; T_g 为光栅周期; h 为修正系数。

采用相位编解码, 不论输入“1”或“0”都有光信号输出, 假定发送“1”或“0”的概率相同, 则接受平均光功率为

$$P_r = E_c (1 - d) \quad (3)$$

式中 E_c 为每个 chip 光脉冲能量; d 为系统能量误差。

根据文献[7], 得到考虑码位误差时, 假定对系统信噪比的影响上表现在噪声的增加, 码位误差引起的系统当量噪声为

$$I_m^2 = \frac{1}{2} q d N E_c d f_r \quad (4)$$

光脉冲在探测器引起的散粒噪声和系统热噪声(服从高斯分布), 由于散粒噪声和热噪声是相互独立的^[8], 所以总噪声为

$$I_{sh}^2 + I_{th}^2 = q d N P_r f_r + 8\pi k T f_r^2 C \quad (5)$$

考虑散粒噪声和热噪声时系统信噪比为

$$\frac{E_s}{E_o} = \frac{I_s^2 W}{I_{sh}^2 + I_{th}^2} \quad (6)$$

考虑码位误差时系统信噪比为

$$SNR = \frac{I_s^2 W}{I_{sh}^2 + I_{th}^2 + I_m^2} \quad (7)$$

式中 响应电流 $I_s^2 = d^2 P_r^2$; d 为检测器响应系数; W 为地址码码重; q 为量子系数; N 为用户数; f_r 为接受带宽, $f_r = 1/T_c$; k 为波儿兹曼常数; T 为绝对温度; C 为负载电容。得到频域相位编解码系统的误码率为

$$P_e = \frac{1}{2} \left\{ Q \left[\sqrt{2SNR} (1 + q_c) \right] + Q \left[\sqrt{2SNR} (1 - q_c) \right] \right\} \quad (8)$$

式中 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-x} e^{-(w^2/2)} dw$; q_c 为码间互相关值, 其数学表达为^[3]

$$q_c = \sum_{i=0}^{2N-1} J(i)K(i) - \sum_{i=0}^{2N-1} J(i)K^*(i) \quad (9)$$

式中 $J(i)$ 、 $K(i)$ 和 $K^*(i)$ ($K^*(i)$ 为 $K(i)$ 的补码) 是由码长为 N 的双极性码转换后, 形成码长为 $2N$ 单极性码。

3 仿真结果与讨论

根据频域相位编解码系统分析结果进行仿真。仿真过程中假定采用双极性 Walsh 码, 码长 31、127 和 512, 系统工作中心波长 1 550 nm, 得到图 3 ~ 6 所示结果。

图 3 绘出了在不同接受光功率条件下的不同激活用户数与误码率的关系曲线。系统中假定每个用户传输速率为 622 Mb/s, 接受光功率分别为 5、10、15 和 20 μ W。从图 3 可得: 误码率在相同激活用户数况且下, 当光功率增加, 系统的误码率值也得到降低, 如激活用户数为 60, 接受光功率分别为 5、10、15 和 20 μ W 时, 其误码率约为 10^{-7} 、 10^{-11} 、 10^{-15} 和 10^{-20} , 采用适当的光功率有利提高系统的性能。图 4 不同码位误差对系统的性能影响。当码位误差为 0.01, 码位误差对系统的性能影响很小, 此时误码率趋近码位误差为 0 的情况。

当码位误差为0.2,则码位误差对系统的性能影响则比较大,如信噪比为15 dB,误码率恶化了近一个数量级,由此可见在设计LCM时需考虑码位误差,对提高系统的性能是很重要的。

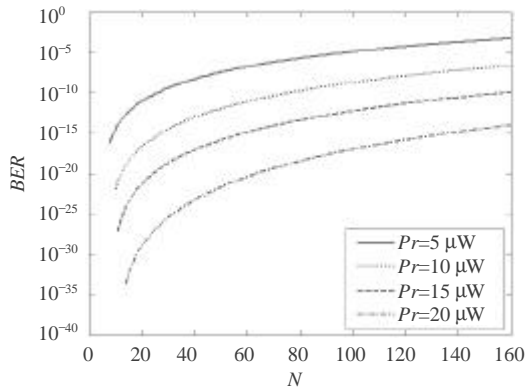


图3 不同接受光功率的误码率与用户数的关系曲线

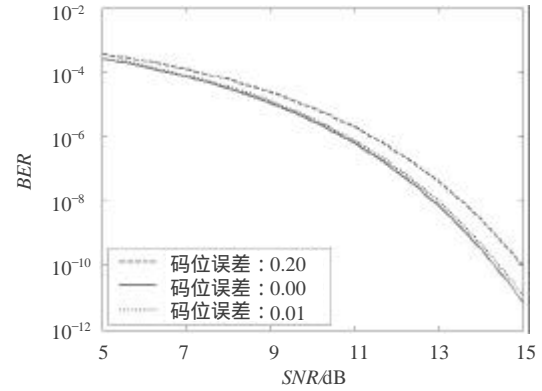


图4 不同码位误差的误码率与信噪比的关系曲线

当码长分别为31、127和512,相位误差0.2,采用BPSK调制时,误码率与信噪比的关系曲线如图5所示。从图5可得到:在相同相位误差的况且下,当码长比较大时,系统的性能得到了提高,如信噪比15 dB,相位码长分别为31、127和512时,误码率分别 10^{-7} 、 10^{-10} 和 10^{-13} 。码长比较小时,误码率随信噪比的变化曲线表现出比较平缓,反之变化曲线的斜率则比较大,表明误码率受码位误差的影响较码字短时大,所有在考虑系统的性能时需采用折衷思想进行码的选择与LCM的设计。图6给出了单、双极码对系统性能的影响。实线和点线对应双极码在理想和非理想况且误码率与信噪比的关系曲线,由式(9)可得对于双极码(如Walsh)的互相关很小,如图6所示。单极码对应误码率与信噪比如长划线所示,由于单极码相关性较双极码差,在图中表现出在相同条件下误码率有很大的恶化,如信噪比15 dB,误码率恶化了近4个数量级。

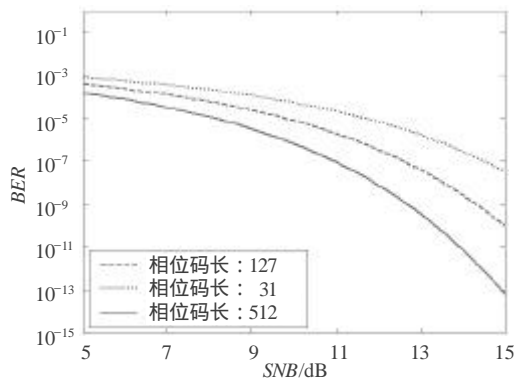


图5 不同相位码长的误码率与信噪比的关系曲线

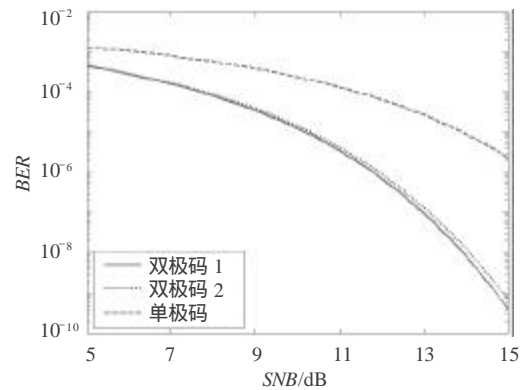


图6 单双极码的误码率与信噪比的关系曲线

4 结 论

频域相位编解码OCDMA系统模型为基础,得到了码位误差对B-OCDMA系统影响的数学表达式。通过仿真讨论了光功率、码位误差和码字对系统的影响。结果表明,当光功率在规定界限内时,较大的光功率对系统性能有很大的改善;码位误差约0.20时,系统性能恶化比较明显;码字比较大时有利于提高系统的性能;系统中当码位误差一定时选择双极码对系统性能明显优于单极码。本文研究结果在理论和实践上都有一定的参考价值。

参 考 文 献

- [1] Nayo W, Ken-Ichi K. A 10 Gb/s optical code division multiplexing using 8-chip optical bipolar code and coherent detection[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology,1999,17(10):1 758-1 765
- [2] Kavehrad M, Zaccarin D. Optical code division multiplexed systems based on spectral encoding of noncoherent sources[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology,1995,13(3):534-545
- [3] Dennis T, Young Y F. Measurements of BER performance for bipolar encoding of an SFS.[J]IEEE Journal of Lightwave Techno.,1999,17(9):1 542-1 546
- [4] Nguyen L, Dennis T, Aazhang B, *et al.* Experimental demonstration of bipolar codes for optical spectral amplitude CDMA communication. [J]IEEE Journal of Lightwave Technology,1997,15(9):1 647-1 653
- [5] Yao S X, Jack F, Logan R, *et al.* Limitations on pulse power,pulse width,and coding mask misalignment in a fiber OCDMA system[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology,1993,11(6):837-846
- [6] Marc M,Wefers,Keith A.Programmable phase and femtosecond pulse shaping[J]. Optical Lett.,1993,18(23):2 032-2 034
- [7] 刘国骊,刘文东,周浩强,等. 光CDMA编解码器的误差分析.[J]光通信研究, 2001, 103(1): 38-40

编辑 孙晓丹

(上接第303页)

参 考 文 献

- [1] Sanders G A, Liu R Y, Laskoskie C, *et al.* Fiber optic gyros for space ,marine and aviation applications. SPIE, 1996, 2837: 61-71.
- [2] Malvern A R. Progress towards fiber optic Gyro Production Proc. SPIE, 1991,1585: 42-47
- [3] Liu R Y, wailly T E, Olson M, *et al.* A miniaturized, low-cost IFOG for tactical weapon application[C]. SPIE, 1996
- [4] Kazuo H .Passive and active resonator fiber optic gyros[C]. SPIE, 1997
- [5] Yu A, Siddiqui A S. Theory of a novel high sensitivity optical fiber gyroscope[J]. IEEE. Proc. J. Optoelectronics, 1993, 140(2): 150-156
- [6] Hu Zhaoyang , Zhang Yanshen, Tang guoan. Re-entrant fiber optic rotation sensor with active ring resonator using semiconductor optical amplifier[J]. Electronics Letters. 1999, 35(25): 226-227
- [7] Farhadiroshan M. Optical fiber resonator rotation sensor using a low coherence source[C]. SPIE,1986
- [8] Jin W, Culshaw B. Multiplexing of fiber optic gyroscopes[C]. SPIE, 1996
- [9] 胡宗福,钱景仁,沈会明. 光源的特性对光纤环形腔有效精细度的影响[J]. 光学学报, 1997, 17(5): 609-613

编辑 刘文珍