

降低频谱编码光码分多址系统干扰的实验研究*

付晓梅 于晋龙 王文睿 李亚男 戴居丰 杨恩泽

(天津大学电子信息工程学院光纤通信实验室,光电信息技术科学教育部重点实验室,天津 300072)

摘要 讨论了频谱编码光码分多址系统的多址干扰和噪声特性. 选用 m 序列为地址码,利用可调谐布喇格光栅阵列实现了频谱编码,实验研究了在基于布喇格光栅编解码的光码分多址系统中可以利用平衡检测接收的方法消除多址干扰,但光源的频谱不平坦性,编解码器的一致性都会降低平衡检测克服多址干扰的效果. 讨论了差拍噪声对系统性能的影响,并提出了采用互补分配波长的新的编码方式,与原有系统相比,用户容量增大一倍,同时可以降低差拍噪声,使系统输出端噪声影响进一步降低.

关键词 光码分多址;频谱编码;多址干扰;可调谐布喇格光栅

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

0 引言

在全光接入网中,光码分多址技术以其灵活的接入方式,用户容量大,协议简单而备受关注. 利用布喇格光栅的频谱编码光码分多址系统具有结构小巧,损耗低及集成性好的优点,成为发展的主流^[1].

在光码分多址系统中存在多个并发用户会造成多址干扰,这成为影响系统性能的重要因素. 克服多址干扰需要采用自相关峰值高,旁瓣低和互相关峰值低的地址码. 因为光的码字都是单极性码,所以在光码分多址中的地址码主要有光正交码,素数码等^[2,3]. 这些码字的自相关和互相关特性满足要求,但是用户容量较小,所以研究大容量的用户地址码和降低多用户地址码间干扰成为研究的重点. D. Zaccain 和 M. Kavehrad 利用准正交码,在接收端增加了一个与编码地址共轭的膜版,通过平衡检测接收克服了多址干扰,但系统集成性差和损耗较大^[4];J. F. Huang 和 D. Z. Hsu 提出在布喇格光栅编解码的系统中,也可以利用平衡检测消除多址干扰^[5],但实际系统存在的其他噪声的影响没有考虑;最新研究有利用 m 序列的两种码型来扩大用户容量,但需在发端和收端采用两个子系统,系统复杂,与两个独立系统成本和性能接近^[6],没有在实质上改变系统性能. 国内也在积极开展光码分多址技术方面的研究^[8]. 以上研究只是从理论上理想化的情况讨论了多址干扰的消除,没有考虑实际系统中邻近波长产生的差拍噪声和其它噪声对系统性能的影响. 本文研究了基于布喇格光栅的频谱编码光码分多址系统的平衡检测接收. 采用 m 序列作地

址码,利用可调谐布喇格光栅阵列实现不同用户的地址码编码,研究结果表明采用平衡检测接收克服多址干扰是可行的,但还需要考虑其他几种因素的影响. 分析了差拍噪声等对系统性能的影响,提出了一种可增大用户容量一倍,并降低差拍噪声的解决方案.

1 多址干扰及平衡检测克服多址干扰原理

设一用户地址码为 $X = (x_0, x_1, \dots, x_{N-1})$, 另一用户地址码为 $Y = (y_0, y_1, \dots, y_{N-1})$, X 是周期为 N 的 $(0,1)m$ 序列, $Y = T^k X$, T^k 表示将 X 循环左移 k 位. 在发送端每个用户数据经过各自地址码的编码后,耦合后进传输光纤,在接收端,采用与用户地址码匹配的解码器进行接收. 接收端输出的自相关值为匹配时的输出最大值,互相关值即是多址干扰. 定义互相关函数为

$$R_{xy}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x_i y_{i+k} \quad (1)$$

当 K 为 0 时,就是自相关函数. 定义 X 的反码为 $\bar{X} = (\bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{N-1})$, 且 $\bar{x}_i = 1 - x_i$, 则 X 的反码与 Y 的互相关函数为

$$R_{\bar{x}y}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \bar{x}_i y_{i+k} \quad (2)$$

传统的相关接收是接收端按照式(1)进行接收,当地址匹配时,输出为最大值自相关值,而其它不匹配用户的信息则是对该用户产生的多址干扰.

由于 m 序列满足式(3)^[4]

$$R_{xy}(k) - R_{\bar{x}y}(k) = \left[\sum_{i=0}^{N-1} x_i y_{i+k} \right] - \left[\sum_{i=0}^{N-1} (1-x_i) y_{i+k} \right] = \begin{cases} (N+1)/2 & (\text{码字匹配}) \\ 2(N+1)/4 - (N+1)/2 = 0 & (\text{码字不匹配}) \end{cases} \quad (3)$$

*国家 863 项目(2001AA31222)资助
Tel:022-81692592 Email:wkxmf@eyou.com
收稿日期:2004-05-31

从式(3)可见,当 k 为零时,就是码字匹配情况,上式达到自相关的最大值. 当 K 不为零时不匹配,输出为 0,表明传统的按照 $R_{xy}(K)$ 的相关接收可以改进为 $R_{xy}(k) - R_{xy}(k)$ 表示的平衡检测接收,这样地址码不匹配用户的干扰就消除了. 采用平衡检测后,多用户光码分多址系统输出端信噪比^[5]

$$SIR = \frac{\left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i x_i\right)^2}{\sum_{k=1}^{K-1} \left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i y_{i+k} - \sum_{i=0}^{N-1} \bar{x}_i y_{i+k}\right)^2} \quad (4)$$

式中:系统有 $K-1$ 个干扰用户, N 为地址码长度. 分母中前半部分代表是 $K-1$ 个用户产生的多址干扰,采用平衡检测后,式(4)中分母为零,达到消除多址干扰的目的.

m 序列、Walsh 码等有准正交性的地址码都可以适用平衡检测接收方案. 利用布喇格光栅实现频谱编码,当所有光栅的间距都相同时,在时间上没有编码信息,而光栅阵列所决定的反射波长实现了频谱编码. 采用平衡检测接收需要产生地址码的反码,这需要在接收端增加一个匹配地址码反码的解码器,系统成本和复杂度会大大增加. 在布喇格光栅编解码的系统中,光纤光栅的反射端实现的是地址码原码编码,透射端恰好可以完成该地址码反码编码功能,因此,只需再增加一个光电探测器即可实

现平衡检测接收.

2 实验装置

平衡检测接收的实验装置如图 1. 光源使用 EDFA 的自发辐射,用户信号由 Anritsu ME522A 误码仪产生,经 LiNbO_3 调制器进行外调制,产生脉冲为半占空的 RZ 码. 环形器的 2 端所接布喇格光栅阵列为编码器,3 端信号即为包含用户地址信息的数据信息. 每个用户信号由相应的编码器编码后经过星型耦合器进入传输光纤. 在某一用户的解码端,环形器的输入为多个用户信号的叠加,实验中采用一个输入用户,两个输出用户. 接收端经过 1×2 耦合器分别连接两个环形器,其中一个环形器的 2 端所接光栅阵列是与发端地址码匹配的光栅阵列,环形器的 2 端输出 $R(\bar{x}, y)$ 和 3 端输出 $R(x, y)$ 光电转换后相减就是匹配情况下的接收;另一个环形器的 2 端所接光栅阵列是与发端地址码不匹配的光栅阵列(利用可调谐布喇格光栅阵列实现),该环形器的 2 端输出 $R(\bar{x}, y)$ 和 3 端输出 $R(x, y)$ 光电转换后相减就是不匹配情况下的接收. 每个环形器的 2 和 3 端输出信号用 HP 83480A 通信分析仪观测. 信号频谱用 Agilent 86142B 光谱仪观测,其最高分辨率为 0.06 nm.

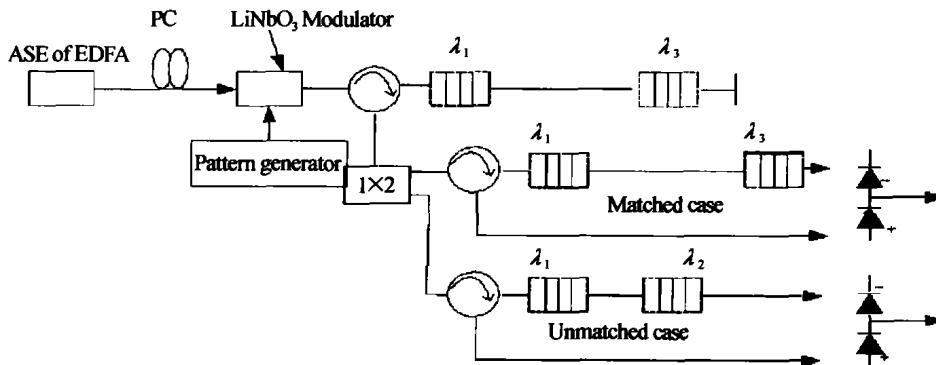


图 1 平衡检测接收的光码分多址实验装置

Fig. 1 Experimental diagram for choosing m sequence as user's address

3 实验结果及分析

实验中采用的编解码器是中心波长分别是 $\lambda_1 = 1548.5 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 1550.5 \text{ nm}$, $\lambda_3 = 1552.5 \text{ nm}$ 的可调谐布喇格光栅级联构成. 光栅之间的距离均为 7 cm. 光栅的长度为 2 cm. 采用码长 N 为 3 的 m 序列作为用户地址码,码序列为 (101),对于匹配情况,编码和解码的码字都是 (101),则编解码器是波长 $\lambda_1 = 1548.5 \text{ nm}$ 和 $\lambda_3 = 1552.5 \text{ nm}$ 的光栅级联. 对于不匹配情况,用户编码地址仍是 (101),解码端地址码是将编码码字循环移位后得 (011),则解码器是波长 $\lambda_1 = 1550.5 \text{ nm}$ 和 $\lambda_2 = 1552.5 \text{ nm}$ 的光栅级联.

图 2(a)是速率 100 Mbit/s 采用平衡检测接收,解码器与编码器匹配时输出端光谱和波形. 上图是环形器 3 端输出光谱和图形. 下图是环形器 2 端输出;两者经过光电转换后相减,基本上仍是 3 端输出信号. 2 端(反码端)输出应该为 0,但从光谱可以看出,还是有一小部分光透射了,这样在 2 端还是有很小的起伏. 这是因为编解码光栅存在一致性差异造成的. 图 2(b)是解码器与编码器不匹配时输出端光谱和波形,解码器地址是 (011),上图是环形器 3 端输出光谱和波形. 下图是环形器 2 端输出;两端输出基本相等,2 端稍大于 3 端输出,是由于布喇格光栅透射率大于反射率造成的,但两者差异不大. 两端输出经光电转换后相减,近似为 0. 这就证明了

平衡检测可以完全消除地址不匹配时的多址干扰。可见布喇格光栅透射率和反射率的差异, 编解码光

栅的不一致, 光源光谱的不平坦都会影响平衡检测抗干扰的效果, 应选择光谱平坦区。

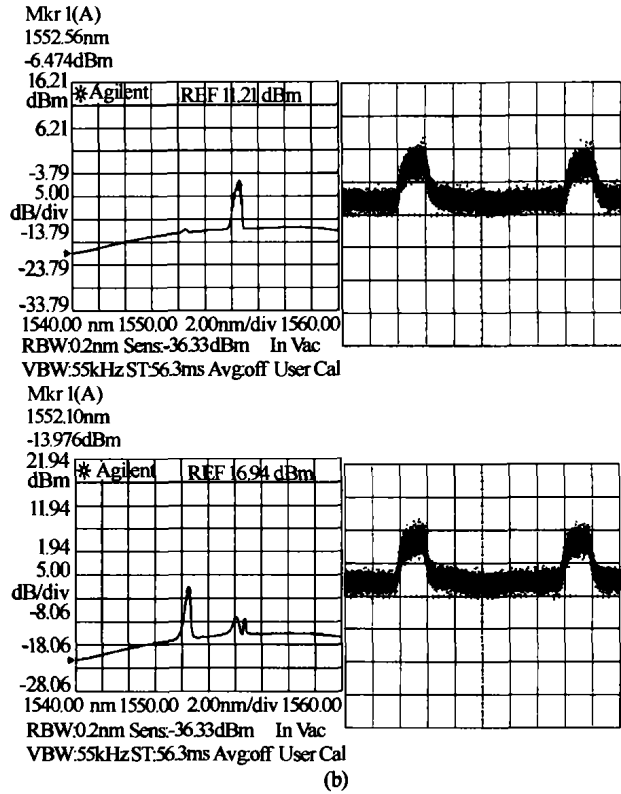
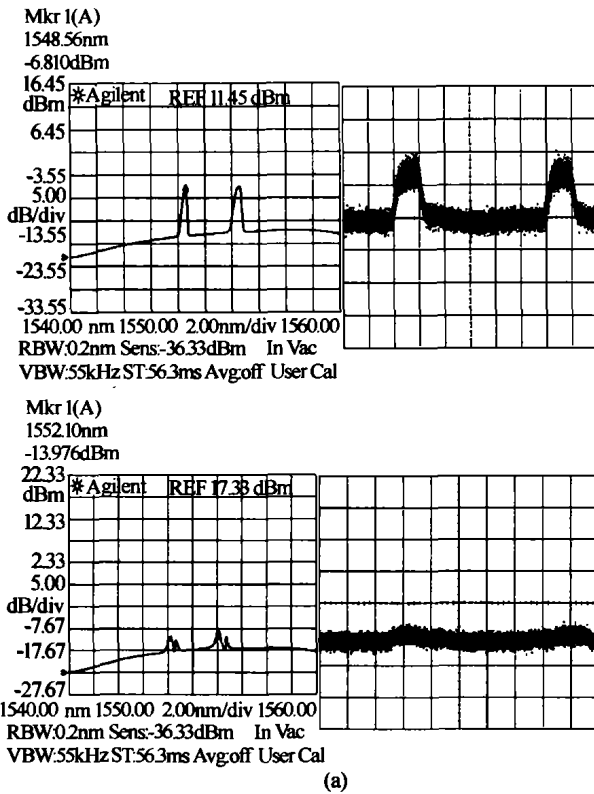


图 2 (a) 匹配反射和透射端输出 (50 μW/div), (b) 不匹配反射和透射端输出 (50 μW/div)

Fig. 2 (a) Optical power for matched case, (b) Optical power for unmatched case

4 差拍噪声的影响及克服办法

在光码分多址系统中, 采用平衡检测后, 可以克服多址干扰, 但其它噪声仍会影响系统性能。当多个用户的信号选用近似的波长时, 接收机会产生差拍噪声。考虑到放大器热噪声、散弹噪声、差拍噪声和暗电流的影响下, 输出信噪比为^[9]

$$SNR = \frac{(RP_s)^2}{(RP_s)^2 \frac{2(K-1)}{3N} + \frac{16}{T} \left[(1+\gamma) \frac{qRKP_s}{4} + 2qI_{dk} + N_{th} \right]} \quad (5)$$

式中: R 为 PIN 的响应度, P_s 为每个码片的峰值功率; K 是并发用户数; N 是每个周期的码片数; T 是比特周期, q 是电量; I_{dk} 是暗电流; N_{th} 是干扰信号为零均值高斯白噪声的双边功率谱密度, σ 是谱宽, γ 是差拍噪声功率与散弹噪声功率之比, γ 为零是没有差拍噪声的情况。文献[9]中讨论的是所有波长都重合的最恶化情况下差拍噪声的影响, 当地址码为 m 序列, 每两个地址码之间的重叠波长数是 $(N+1)/4$, 约为码长的 $1/4$, 则此时差拍噪声功率是最坏情况的 $1/4$, 此时差拍噪声功率与散弹噪声功率之比为

$$\gamma = \frac{(K-1)RP_s}{128q\sigma\sqrt{\pi}} \quad (6)$$

误码率为^[8]

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-(\sqrt{SNR})^2/2} dt \quad (7)$$

图 3 为采用 m 序列的系统有, 无差拍噪声时误码率与并发用户数的关系。所选择参数为码片功率 $P_s = -30$ dBm, $R = 0.8$ AW⁻¹, $I_{dk} = 10$ nA, $N_{th} = 1$ PA² HZ⁻¹, 速率为 80 Mbit/s, $N = 1024$ 。图中粗实线和虚线分别是没有差拍噪声和存在差拍噪声系统误码率, 可见, 差拍噪声的影响是不能忽略的, 应该消除其影响。

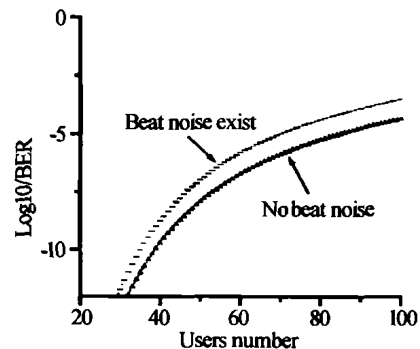


图 3 差拍噪声对系统性能的影响
Fig. 3 The influence of beat noise

在光源谱宽一定时, 采用有效的波长分配方式可在有效提高用户容量同时, 降低差拍噪声影响。

设光栅的反射谱宽为 0.4 nm, 波长间隔 0.4 nm. 可以将用户波长编码分为两组, 同一用户编解码器的相邻光栅的中心波长间隔为 0.8 nm, 如第一组编码波长为 $(\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \lambda_7)$ 第二组编码波长为 $(\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \lambda_8)$, 如光源谱宽为 1545 nm ~ 1550 nm, 则当编码信号为 $N=3$ 的 m 序列是 (101) 时, 对应的编码器光栅的反射波长为 (1545 nm, 0, 1546.6 nm), 另一个用户可以采用相同的编码, 其编码器反射波长为 (1545.4 nm, 0, 1547 nm), 其它用户采用相同的方法编码. 这样相同的编码地址可以分配给两个不同用户, 但波长不同, 用户容量增大一倍, 同时降低了差拍噪声的影响. 接收端解码时需要多加一个环型器, 但此环型器 2 端所连解码器是编码地址码的反码, 两个环型器 3 端输出经光电检测后相减, 既是最终消除多址干扰的解码信号.

5 结论

本文利用可调谐布喇格光栅阵列, 选用 m 序列为地址码, 实验验证了利用平衡检测法可以降低多址干扰. 实验表明布喇格光栅透射率和反射率的差异, 编解码光栅的不一致, 宽带光源光谱的不平坦性都会降低平衡检测消除多址干扰的效果. 差拍噪声对系统性能的影响不能忽略. 采用互补分配波长的新的编码方式, 可以增大用户容量一倍, 同时可以提高系统性能.

参考文献

- 1 Jepsen A G, Johnson A. Spectral phase encoding and decoding using fiber Bragg gratings. OFC/IOOC'99 Tech. Dig. PD33/1-PD33/3, Feb. 21 - 26, 1999
- 2 Ho K. Optical orthogonal code design using genetic algorithms. *Electronics Letter*, 2001, 37(20):1232 ~ 1234
- 3 Thallah H, Rusch L A, LaRochelle S. Passive optical fast frequency-hop CDMA communications system. *J Lightwave Technol*, 1999, 17(3):397 ~ 405
- 4 Zaccarin D, Kavehrad M. An optical CDMA system based on spectrum encoding of LED. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1993, 4(4):479 ~ 482
- 5 Huang J F, Hsu D Z. Fiber-grating based optical CDMA spectral coding with nearly orthogonal M-sequence codes IEEE photon. *Technology Letters*, 2000, 12(9):1252 ~ 1254
- 6 Hsu D Z. Tunable Fiber Bragg Grating-based a pair of M-sequence coding for optical CDMA. Proceeding of the seventh international symposium on computers and communications (ISCC'02)
- 7 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
- 8 李传起, 孙小菡. 基于 2D-OOC 的 OCDMA 系统的地址码结构研究, 2003, 32(1):46 ~ 50
Li C Q, Sun X H. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(1):46 ~ 50
- 9 Demechai T, Sharma A B. Beat noise in a non-coherent optical CDMA system. ICCS 2002:899 ~ 902

Reductions of Multiple Access Interference and Beat Noise in Optical CDMA Communication with Bragg Grating Arrays

Fu Xiaomei, Yu Jinlong, Wang Wenrui, Li Ya'nan, Dai Jufeng, Yang Enze

College of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Key Laboratory of Optical-electronics Information and Technical Science (Tianjin University), Ministry of Education, Tianjin 300072

Received date: 2004-05-31

Abstract The Multiple-Access Interference (MAI) and Beat Noise in OCDMA system were investigated. The Balanced photo-detectors method is proved to reduce MAI effectively by experiments. It is observed that the nonideal Fiber Bragg Grating (FBG) encoder, the difference between reflect ratio and transmit ratio of the FBG will deteriorate MAI by experiments. A new wavelength allocation based on compensation is used in code design. the new code can reduce beat noise and double the simultaneous uses numbers.

Keywords OCDMA; MAI; Beat Noise; Fiber Bragg grating arrays



Fu Xiaomei female, born in 1968, was an associate professor of school of Electronic Information Engineering, Tianjin University. She received her M. S. degree in 2000, and now studied as a Ph. D student. Her main research work focuses on the study of optical access networks, communication system simulation and DWDM system.