

文章编号: 1002-2082(2005)06-0019-04

光谱幅度编码 OCDMA 系统研究

周秀丽, 胡 渝, 谭庆贵, 万生鹏

(电子科技大学 物理电子学院, 四川 成都 610054)

摘要: 针对单极性码在光码分多址系统应用中存在正交性和用户容纳能力较差的缺点, 对采用双极性地址码的光谱幅度编码系统中接收端采用差分检测的方案进行了研究。讨论了用于差分频谱幅度编码方案中的地址码应满足的条件, 对 OOK 和双极性编码系统方案, 在考虑散弹噪声和热噪声的条件下, 分析了误码率性能。通过数值计算, 比较了“1”和“0”都发信号的系统和只有“1”发信号的系统性能。比较结果表明, 双极性地址码方案可提高系统性能; 另外, 提高光功率还可改善系统性能。

关键词: 频谱编码; 双极性码; 光码分多址; 误码率

中图分类号: O433; TN914.53-34

文献标识码: A

Performance research of spectrum encoding OCDMA system

ZHOU Xiu-li, HU Yu, TAN Qing-gui, WAN Sheng-peng

(College of Physical Electronics, University of Electronic Science & Technology, Chengdu 610054, China)

Abstract: In order to improve the relatively poor orthogonality and capacity for more users in OCDMA system, which uses the single polarity code, the differential check scheme on the receiver side of the spectrum encoding OCDMA system with the bipolarity codes is studied. The condition, which should be met by the address code used for the differential spectrum amplitude encoding scheme, is discussed. The bit error rate of the OOK and the bipolarity encoding scheme is analyzed with chirp and Johnson-Nyquist noise taken into account. Through the numerical calculation, the performance comparison between one system (that both “one” and “zero” represent the signals) and another system (that only “one” represents the signals) was made. The results show that the scheme of the bipolarity address code and the higher laser power can improve the system performance.

Key words: spectrum encoding; bipolarity code; optical CDMA; bit error rate

引言

传统的光通信系统使用强度调制(IM)和直接检测(DD), 所以光地址码一般取单极性码(0, 1), 而不是双极性码(-1, +1)。尽管单极性码在光码分多址(optical code division multiple access, OCDMA)系统应用中有自己的优势, 但是它们的正交性和容纳用户的能力较差, 而这正是OCDMA系统中选择地址码的主要考虑因素, 也限制了OCDMA的实际应用。将双极性码应用于OCDMA系统, 可利用电域里成熟的双极性地址码方案, 但需要解决光信道只能传输单极性信号的问题。目

前, 一种全光双极性码OCDMA的实现途径是采用频谱编码技术^[1-6]。与传统的时域OCDMA实现方法不同, 频谱编码OCDMA是在携带数据信息的光脉冲的频谱上传输相应的地址码信息, 它的具体实现可以有多种不同方案。本文提出采用差分频谱幅度编码方案, 对双极性码进行变换, 接收端采用差分检测, 实现双极性编码。

1 频谱编码及其在OCDMA系统中的应用

谱域OCDMA系统的编码是对光谱进行的,

收稿日期: 2004-04-06; 修回日期: 2004-06-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60272006)

作者简介: 周秀丽(1971-), 女, 四川资中人, 电子科技大学讲师, 博士研究生, 主要从事光通信技术方面的研究。

这种系统的地址码可以采用 M 序列,如双极性码及哈达玛码等;采用宽光谱光源,如 SLD(超辐射激光管)、SFS(超辐射光纤光源)等^[3-6]。谱域编码系统的优点是系统工作在比特速率上,保密性能比时域系统好;采用非相干检测,对传输介质要求不严,系统不需要采取措施来保证光的相干性,从而降低了系统的复杂度。

频谱编码原理如图 1 所示。经过数据调制以后的光脉冲在时域上被扩展,再经过一对衍射光栅和一对透镜后又被压缩至一尖锐的窄脉冲,引入透镜对可以抵消光栅对光信号产生的色散作用。谱域 OCDMA 系统有两种实现方式:一种是光谱相位编码,属相干系统;另一种是光谱幅度编码,属非相干系统。典型的结构都如图 1 所示。两者之间的差别只在于掩膜板不一样:前者是相位罩,使波长按照地址码的规律改变各自的相位;后者是幅度罩,使波长按照地址码的规律通过或不通过。



图 1 谱域 OCDMA 编/解码器

Fig. 1 The encoder/decoder of spectral domain OCDMA

由于地址码的关系,光谱幅度编码系统一般都在探测器后采用差分探测,其结构如图 2 所示。



图 2 差分光谱幅度编码系统接收端机结构

Fig. 2 The receiver structure of differential spectral encoding system

2 频谱幅度编码 OCDMA 系统的地址码

M 序列,哈达玛码及经过处理后的双极性码均可用于光谱幅度编码系统。用于差分接收光谱幅度编码系统中的地址码应满足的条件是:假设 X 和 Y 属于同一类地址码,设

$$(X) = (x_0, x_1, \dots, x_{N-1})$$

$$(Y) = (y_0, y_1, \dots, y_{N-1})$$

$$(\bar{X}) = (1-x_0, 1-x_1, \dots, 1-x_{N-1})$$

因此,自相关 $\theta_{XX}(0) = 0$,若互相关满足 $\theta_{XY}(k) - \theta_{\bar{X}Y}(k) = 0$,则该地址码可用于差分光谱幅度编码系统中。其差分检测的接收端机结构如图 2 所示。双极性码经过变换以后满足相关性要求,可用于此系统中:

双极性码

$$(X^b) = (x_0^b, x_1^b, \dots, x_{N-1}^b)$$

$$(Y^b) = (y_0^b, y_1^b, \dots, y_{N-1}^b)$$

及单极性码

$$(Y^u) = (y_0^u, y_1^u, \dots, y_{2N-1}^u)$$

若互相关满足:

$$\theta_{X^b Y^b}(k) = 0 \tag{1}$$

则经过(2)式的转换后,可应用于差分光谱幅度编码系统中。

$$y_i^u = \frac{y_i^b + 1}{2}, y_{N+i}^u = \frac{1 - y_i^b}{2} \tag{2}$$

3 光谱幅度编码 OCDMA 系统及其性能分析

3.1 光谱幅度编码系统方案

光谱幅度编码 OCDMA 系统有两种方案:一种是采用 OOK(on off keying)调制方式,即 1 发送光脉冲,0 不发送光脉冲;另一种是 1 和 0 都发送脉冲,但 1 和 0 发送时采用的地址码不一样,发 1 时用



图 3 编码端与解码端结构图

Fig. 3 Block diagram of encoder and decoder

(Y),发 0 时用 (\bar{Y}) ,其中

$$(Y) = (y_0, y_1, \dots, y_{N-1})$$

$$(\bar{Y}) = (1-y_0, 1-y_1, \dots, 1-y_{N-1})$$

该方案的发送端结构如图3(a)所示,两种方案的接收端均采用图3(b)所示的差分探测, α 的值必须根据地址码来取值,即

$$\sum_{i=1}^L Y_k(i)Y_{\bar{k}}(i) = \alpha \cdot \sum_{i=1}^L \bar{Y}_k(i) \bar{Y}_{\bar{k}}(i)$$

式中, L 为码长。

3.2 光谱幅度编码OCDMA系统误码率性能分析

对接收机只考虑散弹噪声和热噪声时,系统主要受探测器的散弹噪声和多用户干扰限制,在码片检测下,有

$$Y_{x_1} = b_{x_1}(m)P_s\theta_{x_1x_1} + \sum_{i=2}^K \theta_{x_1x_i}b_{x_i}P_s + P_b\theta_{x_1x_1} \quad (3)$$

$$Y_{\bar{x}_1} = \sum_{i=2}^K \theta_{\bar{x}_1x_i}b_{x_i}P_s + P_b\theta_{\bar{x}_1\bar{x}_1} \quad (4)$$

式中, K 为在线用户数, $b^k(m) \in (0,1)$; P_s 和 P_b 分别为光源和背景光在单位波长间隔(即地址码中单个1或0所占用的波长间隔)上的光功率。经探测器后,两路的均值分别为

$$\mu_{x_1} = \bar{g}e\theta_{x_1x_1}k_s b_{x_1} + \bar{g}e(k_b\theta_{x_1x_1} + k_s \sum_{i=2}^K \theta_{x_1x_i}b_{x_i}) \quad (5)$$

$$\mu_{\bar{x}_1} = \bar{g}e(k_b\theta_{\bar{x}_1\bar{x}_1} + k_s \sum_{i=2}^K \theta_{\bar{x}_1x_i}b_{x_i}) \quad (6)$$

$$P_e = \frac{1}{2} \{ P_e(Y < Th | b_{x_1} = 1) + P_e(Y > Th | b_{x_1} = 0) \} = \frac{1}{2} \left\{ \int_{-\infty}^{Th} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}(b_{x_1} = 1)} \exp[-(Y - \mu(b_{x_1} = 1))^2 / 2\sigma^2(b_{x_1} = 1)] dY + \int_{Th}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}(b_{x_1} = 0)} \exp[-(Y - \mu(b_{x_1} = 0))^2 / 2\sigma^2(b_{x_1} = 0)] dY \right\} \quad (10)$$

如果发1时用 x ,发0时用 \bar{x} ,且判决门限可设为0,下面对这种系统的性能进行分析:用户1发送1和发送0时的均值分别为

$$\mu(b_{x_1} = 1) = -\bar{g}ek_s \frac{L}{2} \quad (11a)$$

系统误码率可表示为

$$P_e = \frac{1}{2} \{ P_e(Y < Th | b_{x_1} = 1) + P_e(Y > Th | b_{x_1} = 0) \} = \frac{1}{2} \left\{ \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp[-(Y - \mu(b_{x_1} = 1))^2 / 2\sigma^2] dY + \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp[-(Y - \mu(b_{x_1} = 0))^2 / 2\sigma^2] dY \right\} \quad (13)$$

以上都假设系统发1和发0的先验概率相等。

图4是在比特速率取1 Gbit/s、光源功率取-30 dBm、码长 L 取30、光源谱宽取30 nm所得出的。从图中可见,采用1和0都发送信号的系统比只

式中, $k_s = \alpha P_s T_c$; $k_b = \alpha P_b T_c$; $\alpha = \eta/hf$; \bar{g} 是APD的平均增益。如果采用如下规则转变而来的单极性码:设有双极性码 $(Y^b) = (y_0^b, y_1^b, \dots, y_{N-1}^b)$ 与单极性码 $(Y) = (y_0, y_1, \dots, y_M)$,其转换规则为

$$\begin{cases} y_{2i} = \frac{y_i^b + 1}{2} \\ y_{2i+1} = \frac{1 - y_i^b}{2} \end{cases} \quad (7a)$$

$$\begin{cases} y_i = \frac{y_i^b + 1}{2} \\ y_{N+i} = \frac{1 - y_i^b}{2} \end{cases} \quad (7b)$$

对于任意 $i \neq 1$,有 $\theta_{x_1x_i} = \theta_{\bar{x}_1x_i} = L/4$, $\theta_{x_1\bar{x}_1} = \theta_{\bar{x}_1x_1} = L/4$, L 为码长。经差分后

$$\mu = \bar{g}ek_s \frac{L}{2} b_{x_1} \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \bar{g}^2 e^2 F \left\{ \frac{L}{2} k_s b_{x_1} + Lk_b + \frac{K-1}{2} \cdot \frac{L}{2} k_s \right\} + \sigma_n^2 \quad (9)$$

在方差项中,假设 b_{x_i} 是1和0的概率相等,那

么 $\sum_{i=2}^K b_{x_i} = \frac{K-1}{2}$ 。 $\sigma_n^2 = N_{oc} T_c = 2\kappa T^0 T_c / R_L$ 为热噪声方差,误码率可写为

$$\mu(b_{x_1} = 0) = -\bar{g}ek_s \frac{L}{2} \quad (11b)$$

方差为

$$\sigma^2 = -\bar{g}^2 e^2 F \left\{ \frac{L}{2} k_s + Lk_b + (K-1) \cdot \frac{L}{2} k_s \right\} + 2\sigma_n^2 \quad (12)$$

有1发送而0不发送信号的系统的误码率性能有较大改善。

图5是在比特速率取1 Gbit/s、无背景光、码长 L 取30、光源谱宽取30 nm、光源功率提高到-27

dBm,而其他条件与图4相同时的误码率曲线。

对比图4和图5,我们可以发现,在保证一定误码率(如 $1.00E-09$)的条件下,图5中在线用户数显著增加,即提高光源的功率,在不考虑光混频噪声时,系统误码率性能显著改善。可见在系统性能受限于散弹噪声和热噪声时,提高光功率可以显著改善系统性能。



图4 误码率和在线用户数关系曲线1

Fig.4 The bit error rate versus the number of on-line users



图5 误码率和在线用户数关系曲线2

Fig.5 The bit error rate versus the number of on-line users

此处没有考虑光混频噪声的影响,下一步还可以考虑混频噪声对系统性能的影响。

4 结论

提出在光谱幅度编码系统中采用双极性地址

码的基础上,对地址码进行变换,接收端采用差分检测。对光谱幅度编码 OCDMA 系统的两种系统方案(OOK 方式;“1”和“0”都发信号方式),在考虑散弹噪声和热噪声的条件下,进行了误码率性能分析。分析表明,采用“1”和“0”都发信号的系统比只有“1”发信号而“0”不发信号的系统的误码率性能有较大改善;另外,提高光源的光功率也可显著改善系统性能。

参考文献:

- [1] M Kavehrad, D Zaccarin. Optical code-division-multiplexed systems based on spectral encoding of noncoherent sources [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1995, 13(3): 534-545.
- [2] Zhang Hai-bin, Huang Pei-zhong, Song Wen-tao, *et al.* Bit error rate of spectral phase encoding OCDMA systems [J]. *Journal of Acta Electronica Sinica*, 2003, 31(7): 1012-1014.
- [3] Smith E D J, Blaikie R J, Taylor D P. Performance enhancement of spectral-amplitude-coding optical CDMA using pulse-position modulation [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1998, 46(9): 1176-1185.
- [4] H Tsuda. Spectral encoding and decoding of 10 Gb/s femtosecond pulses using high resolution arrayed-waveguide grating [J]. *Elect Letters*, 1999, 35(14): 1186-1188.
- [5] Salehi J A. Coherent ultrashort light pulse code division multiple access communications systems [J]. *IEEE J Lightwave Tech*, 1990, 8(3): 478-491.
- [6] DeCousatis C M. Spread-spectrum techniques in optical communications using transform domain processing [J]. *IEEE J Select Area Commun*, 1990, 8(8): 1608-1616.