

OCDMA 编/解码的光扫描实现方案

高泽华, 钱宗珏, 徐大雄
(北京邮电大学192信箱, 北京 100876)

摘 要: 本文提出一种利用光扫描来实现光码分多址 OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) 编/解码的全新方案, 可实现全光 OCDMA 扩频编/解码, 文中给出光扫描编/解码的基本原理, 并设计出了光扫描编/解码器结构, 通过分析表明, 所提出的光扫描编/解码方案可以在全光水平上实现扩频 OCDMA 编/解码, 为摆脱光电转换的瓶颈提供一种解决方案. 本方案容易实现 OCDMA 编/解码器的集成化并且变址灵活易控制. 这种扩频方案的系统速率可远高于一般扩频方案的系统速率.

关键词: 光纤通信; 光码分多址 (OCDMA); 光扫描

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 06 0800-04

A Scheme of OCDMA En/De-Code Using Optical Scanning

GAO Ze hua, QIAN Zong jue, XU Da xiong
(Beijing University of Posts and Telecommunications, P. O. Box 192, Beijing 100876, China)

Abstract: A new en/de code scheme of OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) using optical scanning is proposed in this paper. The principle of optical scanning en/de coder is given. The structure of optical scanning en/de coder is devised. It can also be seen that all optical spread spectrum OCDMA en/de code can be realized by the proposed scheme of optical scanning en/de coder. At the same time, it can provide a scheme to remove the "bottleneck" when optical and electrical exchanges with each other occur. It can also make the OCDMA en/de coder integrated easily as well as the access is changed. The speed of the proposed spread spectrum OCDMA scheme is much higher than the speed of the time spread OCDMA scheme.

Key words: optical fiber communication; OCDMA; optical scanning

1 引言

在光纤通信网络中, 可采用的多址方式有传统频分多址 FDMA (Frequency Division Multiple Access)、时分多址 TDMA (Time Division Multiple Access)、光波分多址 OWDMA (Optical wavelength Division Multiple Access)/光频分多址 OFDMA (Optical Frequency Division Multiple Access)、光时分多址 OTDMA (Optical Time Division Multiple Access)、OCDMA. 其中 OCDMA 因不需全网同步, 具有良好的保密性和抗干扰能力, 为网络的发展提供了一条新途径. 它可提高光纤设备利用率, 简化网管, 无需严格时间同步, 允许许多用户随机接入信道, 为突发性业务动态分配带宽等优点使得 OCDMA 倍受人们重视.

关于 OCDMA 编/解码器已有一些实现方案的报导, 如光纤延迟线编/解码器^[1], 它是由几束并行光纤和两个 $1 \times P$ 星型耦合器构成. 根据所设计的光正交码确定各光纤延迟线的长度, 其延迟线分支数目等于地址码的码片数目, 这是一种扩时编/解码方法. 在接收端解码器结构与编码器结构一样, 它完成接收信号与解码器包含的标志序列的相关运算, 通过阈值判断进行识别, 获取所需数据. 这种方法由于光纤延迟线编

/解码器体积大, 且只能通过改变硬件实现变址, 这就给变址和系统升级带来困难.

本文提出一种用光扫描的方法进行编/解码的方案, 这是一种扩频 OCDMA 编/解码方案, 本文分析了编/解码器的原理, 并设计出了光扫描编/解码器结构, 研究了其性能.

2 光扫描原理

我们采用 LiNbO_3 晶体来实现光扫描. LiNbO_3 晶体是六角系单轴负晶体, 其折射率椭球是一旋转椭球. 选取坐标系与主轴一致, 则其折射率椭球方程为^[2,3]:

$$x^2/n_o^2 + y^2/n_o^2 + z^2/n_e^2 = 1 \quad (1)$$

在 LiNbO_3 晶体上加外电场时, 其折射率椭球会发生改变, 若外加电场只有 E_z 分量, 并令

$$\Delta n_o = -\frac{1}{2}n_o^2\gamma_{13}E_z, \Delta n_e = -\frac{1}{2}n_e^2\gamma_{33}E_z \quad (2)$$

其中 γ_{13}, γ_{33} 为电光系数, 则其折射率椭球方程可写成:

$$\frac{x^2}{(n_o + \Delta n_o)^2} + \frac{y^2}{(n_o + \Delta n_o)^2} + \frac{z^2}{(n_e + \Delta n_e)^2} = 1 \quad (3)$$

上式表明, 当外加电场仅有 E_z 分量时, LiNbO_3 三主轴方向不变, 而主轴方向上折射率大小发生变化, 变化量正比于外加电场, 呈线性电光效应。

这里利用 LiNbO_3 晶体来完成光扫描功能, LiNbO_3 晶体设计成长方体(平行六面体), 主光轴 z 平行于它的 4 个棱, 垂直于两个面, 电压 V 加到这两个面上, 因此外加电场只有 E_z 分量, 也垂直于这两个面, 两电极距离为 d , 则 $E_z = V/d$ 。入射光与光轴垂直并入射到一个侧面, 它是平面偏振光, 偏振光偏振方向与上述两个面垂直, 即与主光轴 z 轴平行, 这时只有 e 光, 入射角为 α 。

设 n 为加电场后的 e 光折射率, 则 n 与在与这两个面平行的入射面内的入射光方向无关, 并满足折射定律, 这时 n 只与 E_z 有关, 即

$$n = n_e + \Delta n_e = n_e - \frac{1}{2} n_e^3 \chi_{33} E_z = n_e - \frac{1}{2} n_e^3 \chi_{33} \cdot \frac{V}{d} \quad (4)$$

当所加电压 V 变化时, 折射率 n 随之变化。设入射光所在的介质折射率为 n_0 , 折射角为 β , 当入射角 α 不变时, 据折射定律有 $n_0 \sin \alpha = n \sin \beta = C$ (C 为常量), 因此, 折射角 β 随 n 的变化而改变, 出射光位置随 β 变化而改变, 这样就可通过改变电压来改变出射光位置, 实现光扫描。

3 编/解码器

利用本编/解码器可将一个输入光脉冲根据所采用的光正交码进行扩频编码与解码。通过光扫描, 编码器可将一光脉冲扩频编码成一系列高比特率小脉冲序列, 实现扩频编码。在接收端的解码器结构与编码器结构完全一样, 在同步的情况下, 可把接收信号与解码器包含的标志序列作相关运算, 通过阈值判断进行相关识别, 获取所需数据。

3.1 编码器

其结构如图 1 所示。图中 CI(coupling Interface)为耦合接口, OS(optical scanner)为光扫描器, SF(selfoc fiber)为自聚焦光纤, ORS(optical reverse scanner)为光逆扫描器, C/D-P(code/de-code plate)为编/解码板。

为降低插入损耗, CI 与两端光纤纤芯折射率一致, 为 n_0 , OS 实现光扫描功能, 两电极板平行纸面, LiNbO_3 晶体夹在两电极之间, 其设计如前所述, 主光轴垂直纸面, 传输的是 e 光。SF1, 2 构成光放大系统, 使得扫描幅度增大, 适应 C/D-P 尺寸的需求。C/D-P 根据所采用的正交码设计, SF3, 4 构成与 SF1, 2 对称的结构, 为缩小系统。ORS 实现把扫描光束恢复到一直线上传播。

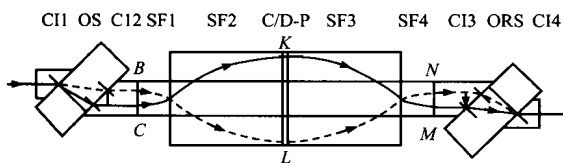


图 1 光扫描编码器

入射光首先通过 OS, 在电压的控制下, 光由 C 点扫到 B 点, 经过光放大系统到达编码调制板, 实现光从编码调制板的 K 点扫描到 L 点, 通过 K 点的光最先出来, 依次到 L 点的光

最后出来, 这样在时间上的光编码序列就可通过光扫描空间上的相应的编码调制板获得。编码调制板由所采用的光正交码设计, 通过编码调制板后的输出光序列就是所设计的光正交码。通过对称的缩小系统, 光序列再通过同步的 ORS 恢复到同一直线上再耦合进光纤中传输。

其中 OS 如图 2, 其电极及 LiNbO_3 晶体设计如前所述, 要求入射光为 TE 模的光, 即光偏振方向与纸面垂直, 这可通过加一保偏光纤来实现。

设扫描周期为 T , 令所加电压为

$$V(t + NT) = \frac{2d}{n_e^3 \chi_{33}} \left[n_e - \sqrt{\frac{1}{\frac{C_0 t}{hn_0 \sin \alpha \cos \alpha} + \frac{1}{\sqrt{n_e^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}}} + n_0^2 \sin^2 \alpha} \right], \quad 0 \leq t < T \quad (5)$$

其中 $C_0 = BC/T$, N 为整数。其波形如图 3(a) 所示, 周期为 T , 最大电压为

$$V_0 = \frac{2d}{n_e^3 \chi_{33}} \left[n_e - \sqrt{\frac{1}{\frac{C_0 T}{hn_0 \sin \alpha \cos \alpha} + \frac{1}{\sqrt{n_e^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}}} + n_0^2 \sin^2 \alpha} \right] \quad (6)$$

据式(4), 电压引起的折射率为:

$$n(t + NT) = \sqrt{\frac{1}{\frac{C_0 t}{hn_0 \sin \alpha \cos \alpha} + \frac{1}{\sqrt{n_e^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}}} + n_0^2 \sin^2 \alpha}, \quad 0 \leq t < T \quad (7)$$

如图 3(b) 所示。则

$$\begin{aligned} G(t + NT) &= GH - CH = h \cos \alpha \left(\frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} - \frac{\sin \beta_2}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta_2}} \right) \\ &= hn_0 \sin \alpha \cos \alpha \left(\frac{1}{\sqrt{n_e^2 - \frac{1}{2} n_e^3 \chi_{33} \frac{V(t + NT)}{d}} - n_0^2 \sin^2 \alpha} - \frac{1}{\sqrt{n_e^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}} \right) \\ &= C_0 t, \quad 0 \leq t < T \end{aligned} \quad (8)$$

其波形如图 3

(c)。则在一个周期内(以下都基于这个设定)光随时间从 C 点扫描到 B 点, 经放大系统(设放大系数为 m_1)则光随时间在编码调制板上从 K 点扫描到 L 点。

编码调制板根据所采用的光正交码设计, 这里我们采用光正交码^[4], 它是一族长为 M , 码重(序列中所含

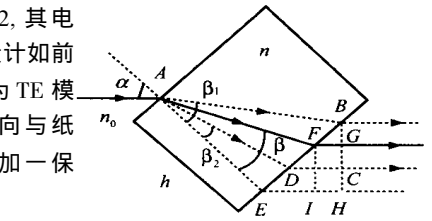


图 2 光扫描器

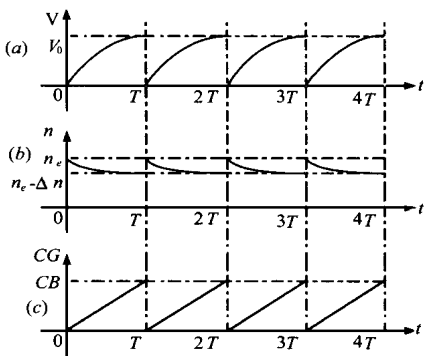


图 3 扫描电压(a), 折射率(b), CB(c)与时间的关系

“1”码元的个数)为 Ω 的(0,1)序列,光正交码中(0,1)序列称为它的码字,在光正交码中记 Ω 个“1”码元在序列中所处的坐标位置来表示该码字,即 $\{i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_\Omega\} (1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k < \dots < i_\Omega \leq M)$ 表示该光正交码码长为 M ,在 M 个码元中只有第 $i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_\Omega$ 个码元处是“1”码元,其余为“0”码元,在该序列中只有 Ω 个光脉冲。

编码调制板设计成强度吸收型,即序列中码元为1对应编码调制板上对应部分透射率为1,序列中0码元在编码调制板上对应部分透射率为0。由图1可见, $KL = m_1 BC$,让 $KL = M * L$, L 为单个码元对应编码调制板上单片长度。该编码调制板共有 M 片,码字为1的码片透射率为1,其它码片透射率为0,在 $0 \sim T$ 内,光扫描器的控制电压随时间变化见式(5),由0到 V_0 ,折射率由 n_e 变到 $n_e - \Delta n$,则出射光的位置从 C 变到 B ,通过放大系统,光由 K 点扫描到 L 点,即从 $0 \sim T_c$,光扫过第1片,从 $(j-1)T_c \sim jT_c$ 扫过第 j 片,从 $(M-1)T_c \sim MT_c$ 扫过第 M 片,完成一个周期的扫描,通过编码调制板后即为一在空间分离的光正交序列。

编码调制板即为该编码器的身份板,如需变址,只需更换身份板即可。对于经常需变址的编码器,身份板可设计成光开关型(如电控液晶开关、MEMS等),为1的码片对应的开关为开,为0的码片对应为关,如需变址,只需启动开关,调成所需身份板即可。

编码器的后半部分采用与前半部分对称的结构,经缩小系统,光从 M 点扫到 N 点,该缩小系统放大倍数为: $m_2 = 1/m_1$ 。

ORS设计参见OS设计,它的出射角同OS的入射角为 α ,它把随时间在空间扫描的光重新恢复成在同一条直线上传输的光,它所加的控制电压为

$$V(t + NT) = \frac{2d}{n_e^3 Y_{33}} \cdot \left[n_e - \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{n_1^2 - n_e^2 \sin^2 \alpha} - \frac{C_0 t}{lm(\sin \alpha \cos \alpha)}}} \right]^2 + n_e^2 \sin^2 \alpha, 0 \leq t < T \quad (9)$$

其中 $n_1 = n_e - \frac{1}{2} n_e^3 Y_{33} \cdot \frac{V_0}{d}$,其控制电压周期与OS控制电压周期一致,且同步。这时它把前面透过编码调制板和缩小系统后的空间分离的光正交序列合成一直线上传输的光正交序

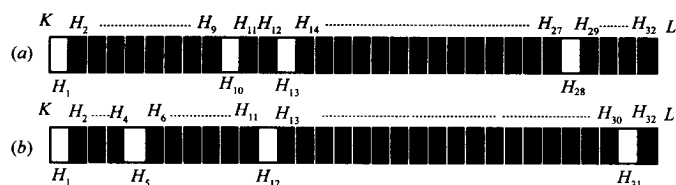


图4 (a)表示{1, 10, 13, 28}对应的编码调制板, (b)表示{1, 5, 12, 31}对应的编码调制板

我们还模拟了信道中存在高斯噪声的情况下的自相关,一般情况下在整个信道中的信噪比(SNR)要大于12,若取更差的信道,其 $SNR = 10$,这时其自相关如图7,从图中可见,在比一般信道还差的信噪比的情况下,噪声影响非常小,通过阈值判断可非常容易地恢复原始数据。

列,完成编码。

3.2 解码器

解码器功能是对经光正交码调制的信息进行相关解调,恢复出原始信息。解码器结构与编码器结构完全一样,解码调制板的设计与相应编码调制板设计一致,所加电压也一样。同时要求同步于编码器工作。当输入光脉冲序列通过光扫描器后可实现在解码板上扫描,当所加电压与编码器所加电压同步时,可实现光正交码的自相关运算,解码器输出自相关值,当解码调制板与编码调制板不一致时,可实现互相关运算,解码器输出互相关值。互相关值低于自相关值,因此用光探测器直接探测,通过阈值判断可把与接收本地码相匹配的信息接收下来,从而可从混着其它用户信息的信号中恢复传给自己的数据。

对光纤延迟线编解码器,采用的码字适于选用低重量码,如光正交码。而对本编解码器所采用的码字要求降低,可采用高重量正交码,如 m 序列、 M 序列等。

4 性能分析

4.1 计算机模拟结果

文中对所提出的编/解码器进行了计算机模拟,在计算机模拟中采用光正交码作为扩频序列,所选用的光正交码为 $(32, 4, 1)^{[4]}$,它表示码长为32,码字重量为4的光正交码。假设编码器1、2产生的本地扩频序列分别为{1, 10, 13, 28}/、{1, 5, 12, 31},则编码器1、2的编码调制板设计分别如图4所示。

假设在同步的情况下,在输入光信号为1时,如图5(a)所示,经编码器1、2编码后的扩频光序列如图5(b)、(c)所示。设解码器的本地扩频身份序列为{1, 10, 13, 28},则其解码调制板与编码器1的编码调制板设计完全一样,如图4(a)。在同步的情况下,一个光脉冲通过编码器1输出的光序列到达解码器,通过解码器完成自相关运算,用计算机模拟了编解码过程,经计算机模拟,得到的自相关曲线如图6所示。从图6可以看出,自相关曲线在一个周期内延时为0时,有极大值4,在其他延时的情况下,自相关小于或等于1。同时模拟了编码器2发送来的序列与解码器标志序列的互相关运算,互相关值总是小于或等于1。计算机模拟结果表明,利用这种正交特性,通过阈值判断可实现相关接收,恢复原始数据。

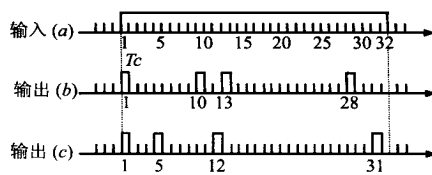


图5 输入光脉冲与输出码序列

4.2 扩频增益

设信息数据带宽(扩频前)为 B_1 ,经过扩频调制后带宽为 B_2 ,则扩频增益为:

$$G = B_2 / B_1 = M \quad (10)$$

通过相关解扩,把接收信号与本地身份序列进行相关运

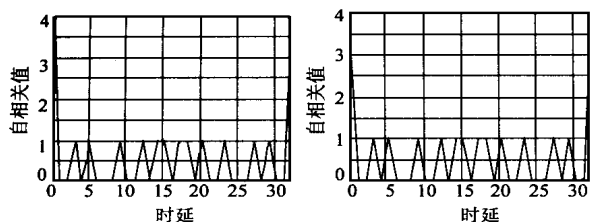


图 6 无噪声时的自相关曲线 图 7 SNR= 10 时自相关曲线

算,当序列匹配时,被扩频编码的基带信号可以被恢复,而噪声和多用户干扰信号则被扩频,信号功率分布到 B_2 中,经过基带滤波器的作用,被正确解码的信号功率全部通过,其他干扰只有在 B_1 内的部分通过,噪声等干扰的功率仅为原来的 B_1/B_2 ,即 $1/G$,实现了对干扰的抑制。

5 结论

本文对光扫描编解码器的编码解码原理进行了分析,并进行了计算机模拟,得到了光扫描编解码器的光正交码输出结果和该光解码器对光正交码的相关解码输出结果。结果表明,光扫描编/解码器完全可实现全光的光正交码扩频编码、解码,同时,用光扫描编/解码器,容易实现 OCDMA 编/解码器的集成化,通过电控改变光扫描编/解码调制板每个码片的透射率,可使得变址灵活可控制。这种扩频方案的系统速率可远高于采用光纤延迟线编/解码器的扩频编解码方案的系统速率。

参考文献:

- [1] Jackson K P, Newton, et al. Optical fiber delay line signal processing [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Technology, 1985, 33(3): 193-210.

- [2] 叶培大, 吴彝尊. 光波导技术基本理论 [M]. 第一版. 北京: 人民邮电出版社, 1981. 444- 462.
- [3] 范崇澄, 彭吉虎. 波导光学 [M]. 第一版. 北京: 北京理工大学出版社, 1988: 78- 83.
- [4] Salehi J A. Code division multiple access techniques in optical fiber networks part I : Fundamental principles [J]. IEEE Transaction on communications, 1989, 37(8): 824- 833.

作者简介:



高泽华 男. 1971 年出生于山东沂南, 1993 年毕业于山东师范大学物理系, 获理学学士学位; 1998 年毕业于厦门大学物理系, 获理学硕士学位; 现于北京邮电大学工程学院攻读博士学位, 主要研究方向为激光全息, 图象识别, 光纤通信, 光码分多址, 光编码, 光交换, 光交叉连接, 接入网技术, 网络管理技术等。



钱宗珏 男. 1930 年出生于江苏省南京市, 1952 年毕业于重庆大学电机系(电讯组), 获工学学士学位; 1965 年毕业于北京电视大学数学系, 获理学学士学位。现为北京邮电大学、北京大学教授, 信息产业部主任高工(原邮电部科技司总工程师), 北京光通信系统高技术实验室主任兼首席专家, 中国通信学会理事、会士, 中国仪器仪表学会常务理事、高级会员, 北京通信信息协会理事长。主要研究方向为光纤通信、接入网技术和电子测量仪表等。