

全光归零(RZ)到非归零(NRZ)码型转换技术研究进展

惠战强

(西安邮电学院,陕西 西安 710061)

摘要:随着多媒体网络服务业务类型的不断出现,人们对因特网带宽需求日益增长,未来的超高速大容量光子网络很可能是波分复用与时分复用相结合的智能网络。全光归零(RZ)到非归零(NRZ)的码型转换技术,是构建这种网络的关键技术之一,它能避免电子学器件的速率瓶颈,将时分复用(OTDM)与波分复用(WDM)有机结合,在光域内实现不同调制格式的数据在网络的不同部分之间自由传输,已经引起了越来越多人们的兴趣。介绍了当前全光归零到非归零码型转换技术的最新研究进展,分析了其工作原理,优缺点及性能参数,指出了目前存在的技术难点问题,最后对其发展前景进行了展望。

关键词:光纤通信;全光信号处理;码型转换 归零码;非归零码

中图分类号:TN911.74 **文献标识码:**A

Progress on all-optical RZ-to-NRZ code conversion techniques

HUI Zhan-qiang

(Xi'an Institutes of Posts and Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: With the demand for higher bandwidth applications increasing, internet is growing at incredible rate. Future all-optical networks are likely to be a hybrid of wavelength division multiplexing(WDM) and optical time division multiplexing(OTDM) networks by combining the advantages of both technologies. All-optical RZ to NRZ code conversion, which can reduce any optical-electrical-optical conversion and enable of data with different format transmission in the optical domain through different region of network freely, is one of the key techniques of constructing this network. The research progress of all-optical RZ to NRZ format conversion is introduced. And the operation principle, characteristics, advantages and disadvantages of these methods are analyzed. Also the current difficulties of the techniques are listed. Finally, the future development is prospected.

Key words: optical fiber communications; all-optical signal processing; format conversion; RZ(return to zero); NRZ(non-return-to-zero)

1 引言

当前,随着视频点播,网络医疗,远程会议等新型多媒体网络业务的不断涌现,人们对网络带宽的需求逐年增长,构建超高速,大容量的透明光子网络,满足突飞猛进的带宽需求,成为人们孜孜不倦的追求目标。时分复用(OTDM)与波分复用(WDM)是光纤通信系统中两种最主要的信号复用方式,前者主要特点为普遍采用归零码(RZ)格式,因为其具有小的占空比,较高的偏振模色散容忍度,良好的抗线路非线性损伤能力,单波可实现超高速传输,主要

用于主干网中,其非常适用于高速率长距离传输;后者主要特点为采用非归零码(NRZ)格式,因为其具有紧密的通道波长间距,较高的光谱效率,较强的时间抖动和色散容忍度,并具有对电子学器件的友好性,主要用于城域网和接入网中。充分利用两种技术的优点,采用时分复用与波分复用相结合的网络

作者简介:惠战强(1978-)男,博士,讲师,主要从事光纤通信及全光信号处理方面的研究。E-mail:zqhui@opt.ac.cn

收稿日期:2010-12-08

系统结构,将是未来透明光子网络的最佳选择^[1-2]。在这样的系统中,网络的不同部分(广域网/城域网/接入网)将具有不同的信号调制格式和比特率,因此,能够有机的将光网络中的不同部分相结合的全光网络接口技术日益成为研究热点,引起人们广泛关注^[3]。

全光 RZ 到 NRZ 的码型转换技术就是上述全光网络接口的关键技术之一,如图 1 所示,它能够有效避免繁冗低效的光电转换,突破传统电子学器件的工作速率极限,在光域内将适用于广域网中传输的 RZ 码转换为适于在城域网中传输的 NRZ 码,从而完成从时分复用到波分复用的转换,实现网络接口功能^[4],因此具有重要的实用价值。然而,由于全光码型转换属于光网络中的全光信号处理范畴,是随着透明光子网络概念的提出与不断发展而出现的,因此目前仍处于初始阶段,但由于其在未来光子网络中的关键性作用,国内外很多研究机构,包括美国贝尔实验室,普林斯顿,法国阿尔卡特,日本大阪大学,香港中文大学,清华大学,上海交通大学等都投入大量人力物力,开展积极探索,研究成果也日新月异。本文首先详细介绍了当前全光 RZ 到 NRZ 码型转换技术的最新进展,分析了每种技术的工作原理,特点及关键技术,然后从比特率透明性,偏振敏感性,信号再生性,系统级联性,波长转换性五方面对各种方案进行了比较,最后指出了目前全光 RZ 到 NRZ 码型转换技术存在的问题,并对发展前景做了展望。

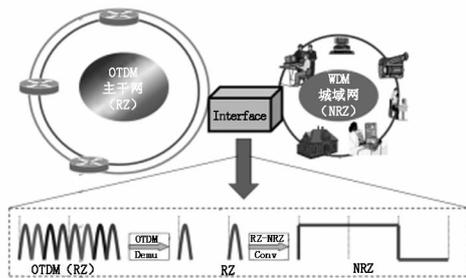


图 1 从主干网的时分复用 RZ 码到城域网的波分复用 NRZ 码的转换

2 全光 RZ 到 NRZ 码型转换技术新进展

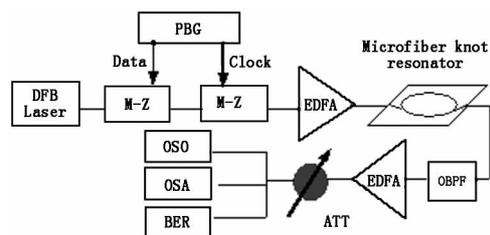
当前在实现全光 RZ 码到 NRZ 码的各种码型转换方案中,其原理主要都是利用各种光学非线性效应,包括自相位调制,交叉相位调制,交叉增益调制,交叉增益压缩,增益钳制效应等,所涉及的非线性器件有硅基微环谐振腔,色散平坦高非线性光子晶体光纤,色散位移高非线性光子晶体光纤,温控光纤基延时干涉仪,半导体光放大器,非线性光纤环形镜(NOLM),

马赫-曾德干涉仪等,下面分别进行详细阐述。

2.1 基于硅基微环谐振器的码型转换技术

硅基光子器件的最大优点在于与现有的 CMOS 工艺兼容,能够将不同类型的有源无源器件集成在同一个芯片上,实现单片集成,从而制作小型化,集成化,低成本的光子器件,进而极大发挥光子的信息并行处理能力。硅基微环谐振器是硅基光子器件的典型代表,具有结构紧密,集成度高,插入损耗低,串扰小等优点,作为基本元件,甚至可以利用其构成半导体激光器,光波导滤波器以及光波导调制器等,因此自问世以来一直是科研人员的关注热点,发展非常迅速。第一个硅基微环谐振器是在 2000 年由 MIT 制作的^[5],到 2007 年,HP 实验室的研究人员研制了半径为 $1.5 \mu\text{m}$ 的硅基微环谐振器^[6]。基于自身的优越性,结合与现有大规模集成电路的兼容性,使其发展速度非常迅速,目前,人们已实现了基于硅基微环谐振器的全光逻辑门^[7],全光波长转换器^[8],全光码型变换器^[9]等多种功能器件。

基于硅基微环谐振器的全光 RZ 到 NRZ 码型转换原理如图 2(a) 所示^[10-11]。实验所用微环谐振器的直径为 $110 \mu\text{m}$,其光学显微照片如图 2(b) 所示。此方法的基本思想是通过频域的光谱剪裁变换实现时域的脉冲宽度变换,从而完成码型转换。具体过程为:激光器发出的一束连续光被发射机调制为占空比 33% 的 RZ 码,发射机由两个级联的马赫-曾德调制器和一个伪随机比特序列发生器组成,两个马赫-曾德调制器分别起到脉冲切割和数据调制的作用,比特序列发生器起到提供射频信号的作用。经



(a) 转换原理图



(b) 微环谐振器光学显微照片

图 2 基于硅基微环谐振器的 RZ 到 NRZ 码型转换原理图

过调制的 RZ 信号在频域必然表现为光谱中心两侧伴有高阶边带,经过功率控制和偏振调节以后,此 RZ 码光信号进入硅基微环谐振器,由于谐振器特有的传输特性,其透射谱呈现周期性结构,如果设置信号的中心波长恰好处于透射极大值,边带处于极小值,则可以在频域抑制光谱的边带成分,对应的时域脉冲展宽,从而完成码型转换功能。

2.2 基于色散平坦高非线性光子晶体(PCF)光纤的码型转换技术

光子晶体光纤是一种具有光子带隙结构的新型光纤,具有传统光纤所不具备的诸多独特优势,非常适于做全光信号处理介质。从结构上来讲,它由在二维方向上紧密排列的微孔组成,通过改变空气孔的形状和尺寸,可以灵活地控制模式传输特性^[12],从而设计制作出具有色散平坦和高非线性系数的光纤,进而可以利用较短的光纤长度,在较宽的波长范围内满足相位匹配,产生较强的非线性效应,实现宽带工作。

基于光子晶体光纤实现 RZ 到 NRZ 码型转换的实验原理如图 3(a)所示^[13],增益开关激光器发出波长为 1549.5 nm,脉冲宽度为 30 ps,重复频率为 9.95328 GHz 的脉冲序列,经调制后被掺铒光纤放大器放大,偏振控制器用来控制进入调制器的信号光偏振方向与调制器匹配,以使调制状态最佳。第二个分布反馈激光器发出波长为 1559.7 nm 的连续探测光束,与第一束信号光经过耦合后进入 64 m PCF。此光纤由丹麦 Crystal fiber 公司提供,横截面如图 3(b)所示。由于信号光具有较强的峰值功率,

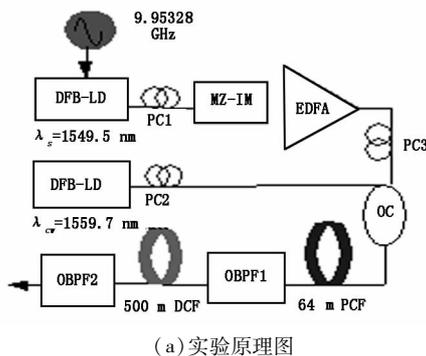
在非线性光纤中发生交叉相位调制作用,导致连续光光谱展宽,在光子晶体光纤的另一端,用一个光学滤波器滤出展宽的连续光谱,抑制掉不需要的 RZ 码信号光谱,以避免二者在随后的色散补偿光纤中进一步发生不需要的非线性效应。色散补偿光纤长度为 500 m,它的作用是利用色散作用,进一步展宽带有啁啾的连续探测光脉冲宽度,探测光对应脉冲的脉宽最终展宽程度与色散补偿光纤长度和色散系数相关。随后,使用一个窄带光学滤波器,将其中心波长对准连续光波长,移去所有光谱啁啾分量,便得到了时域的 NRZ 码,此方案的优点是在码型转换的同时实现了波长变换。

2.3 基于半导体光放大器的码型转换技术

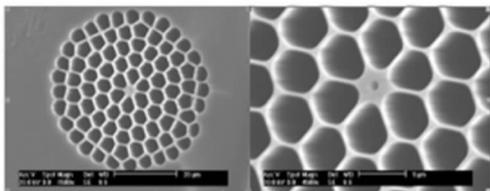
半导体光放大器以其非线性系数高,尺寸小,功耗低,可集成化等优点近年被广泛用于全光信号处理领域,人们已经实现了全光波长转换^[14]、全光逻辑门^[15]、全光加法器^[16]、全光码型变换^[17]等多种功能。基于半导体光放大器的全光 RZ 到 NRZ 码型转换技术主要有基于交叉增益压缩效应,增益钳制效应以及利用半导体光放大器级联滤波器三种方案。

2.3.1 基于交叉增益压缩效应的码型转换技术

此方案的基本原理是利用 RZ 信号与其波长转换的反相信号之间的交叉增益压缩效应,具体实验过程如图 4 所示^[18],波长为 λ_1 的归零码信号经过功率放大后一分为二,其中一路与波长为 λ_2 的连续光混合,注入第一个半导体光放大器,在其中发生交叉增益调制效应,信号光的信息便被转换到了连续光上,随后采用一个窄带宽的光学滤波器对准连续光波长部分,滤出波长转换信号,由于交叉增益调制的作用,此信号与原始信号反相,通过适当调谐滤波器中心波长偏离 λ_2 ,可以略微改变反相波长转换信号的上升和下降时间,使得此反相信号脉宽增宽。另一路 RZ 信号(波长为 λ_1)经过延时、功率衰减后,与波长转换的信号(波长为 λ_2)一起注入第二个半导体光放大器,光延时线的作用是调节两路信号的相对延时量,确保当 λ_2 为 0 时, λ_1 为 1, λ_2 为 1 时, λ_1 为 0。可调衰减器的作用是调节进入第二个半导体光放大器的 λ_1 信号功率,使其内部发生增益饱和效应,消耗了大量载流子,因而反相的 λ_2 信号其上升沿经历了增益压缩,当用一个中心波长为 λ_2 的滤波器滤出 λ_2 信号时,便得到了 NRZ 码,如果滤波器略微偏移,可以进一步优化 NRZ 码的形状。



(a) 实验原理图



(b) 横截面图

图 3 基于光子晶体光纤的 RZ 到 NRZ 码型转换原理图

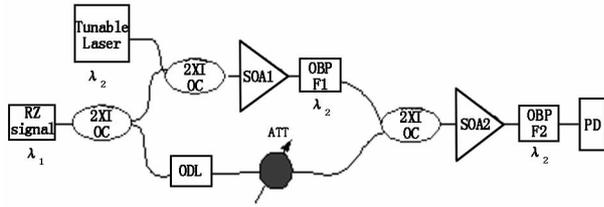


图4 基于半导体光放大器中交叉增益调制效应的RZ到NRZ码型转换原理图

2.3.2 基于增益钳制半导体光放大器的码型转换技术

这种方案主要是利用增益钳制半导体光放大器中的增益钳制效应,即当外部信号注入半导体光放大器时,为保持恒定的增益,放大器输出的信号与输入信号功率成反比。当输入信号功率足够高时,载流子被耗尽,此时增益钳制半导体光放大器就相当于一个处于饱和状态的普通半导体光放大器;反之,当输入信号功率降低时,处于激发态的载流子数目较多,放大器又重新具有对信号的增益功能。基于增益钳制半导体光放大器实现RZ到NRZ码转换的具体原理如下,当两个间隔周期为 T_p (此周期与增

益钳制半导体光放大器内部输出激光最大调制速率对应)的连续脉冲进入增益钳制半导体光放大器时,光放大器内部载流子浓度的变化及其对应输出光功率均随之变化。当注入脉冲功率较低时,载流子浓度恢复到阈值以上需要的时间低于 T_p ,因此外部输入信号的跳变就会被内部的激光器输出激光跟随;反之,当注入脉冲功率较高时,增益钳制半导体光放大器进入深饱和状态,载流子要恢复到激光阈值以上所需要的时间长于 T_p ,因此内部出射激光跟不上外部输入信号的跳变,就等价于前一个状态被拉长了,即实现了与输入RZ信号反相的NRZ输出,随后用另一个普通半导体光放大器,利用其交叉增益调制效应对应的反相波长转换,将非归零信号二次反相,最终实现同向NRZ输出。具体实验装置如图5所示,此方案的关键在于合理控制进入第一个增益钳制半导体光放大器的输入信号功率,一方面功率不能太小,以免小信号仍获得了较大增益,另一方面又不能太大,以免使增益钳制半导体光放大器达到了深饱和状态。

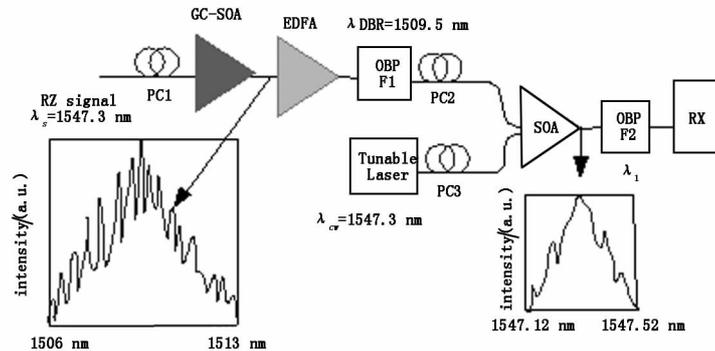


图5 基于增益钳制半导体光放大器的RZ到NRZ码型转换原理图

2.3.3 基于半导体光放大器级联滤波器的码型转换技术

这种方案的原理是基于半导体光放大器中的交叉增益与交叉相位调制作用。目前已经分别实现了10 Gbit/s和40 Gbit/s的码型转换^[20-21]。具体实验装置如图6所示,经过调制的RZ信号被放大后进入一个预处理系统,此系统由五个光延时线和两个耦合器组成,相邻两路相对延时量为20 ps,系统的作用是完成脉冲复制。经过预处理的信号与另一束连续光一起耦合进入半导体光放大器,两束光在半导体光放大器中发生交叉增益与交叉相位调制效应,由于峰值功率较高的信号光改变了介质折射率,使得连续探测光受到调制,相位发生瞬态改变,其上升沿红移,下降沿蓝移,在光谱上表现为探测光光谱展宽,随后在半导体光放大器的出口放置一个中心

波长可调的窄带滤波器,通过调节带通滤波器与探测光中心波长之间的波长失谐量,滤出探测光的光谱特定成分,即完成了RZ到NRZ的码型转换。

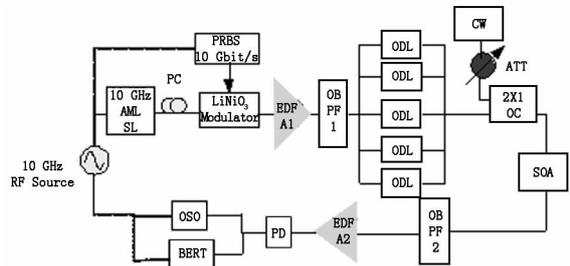


图6 基于半导体光放大器级联滤波器的RZ到NRZ码型转换原理图

2.4 基于高非线性色散位移光纤中相位调制的码型转换技术

这种方案是利用相位调制光谱展宽的原理,结

合光纤色散导致在其中传输的脉冲展宽特性,将光谱的特定部分滤出实现的,可分为基于自相位调制和交叉相位调制两种。如图 7(a)所示基于色散位移光纤中自相位调制效应的 RZ 到 NRZ 码型转换原理图^[22],分布反馈激光器发出波长为 λ_s 的信号光,经过调制和功率放大后,注入 10 km 色散位移光纤。信号较高的峰值功率导致其在光纤中产生自相位调制,光谱发生展宽,结合光纤色散特性,在色散位移光纤出口,即得到了 NRZ 码。基于色散位移光纤中交叉相位调制的码型转换技术实验装置如图 7(b)所示^[23],波长 λ_s 的 RZ 码数据信号光,与另一束波长为 λ_{cw} 的连续探测光耦合放大后注入 10 km 色散位移光纤,偏振控制器用来调节两束光的偏振态,以使其在光纤中的交叉相位调制效果最佳。色散位移光纤的零色散波长为 λ_0 ,在光纤输出端放置一个窄带光学滤波器,将探测光的特定光谱部分滤出,便得到了 NRZ 码。发生码型转换主要是通过两个过程完成的,首先,经过交叉相位调制,信号光的信息转移到了探测光上,其次,探测光在色散位移光纤中比所经历的色散,以及最后窄带滤波器对频域的限制,最终导致探测光脉冲展宽,实现了 NRZ 输出,并且在码型转换的同时完成波长转换功能。此方案的关键影响参数是色散位移光纤的色散参数以及滤波器的带宽,应合理选择,使输出 NRZ 码眼图最好。

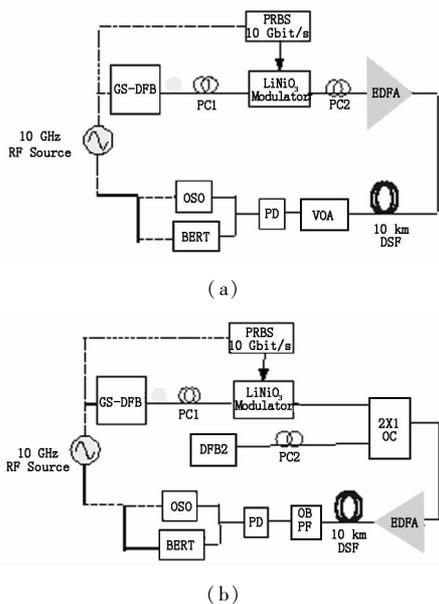


图 7 基于色散位移光纤中交叉相位调制效应的 RZ 到 NRZ 码型转换原理图

2.6 基于非线性环形镜的码型转换技术(NOLM)

非线性环形镜是一种重要的开关器件,可以彼

用来完成全光时分解压缩,全光波长转换,全光码型变换等多种功能,基于非线性环形镜的码型变换技术,根据环中所使用的非线性介质不同,主要分为基于色散位移光纤,基于光子晶体光纤以及基于半导体光放大器三种。基于色散位移光纤的非线性环形镜实验装置如图 8 所示^[24],NOLM 由一段长度 9.5 km 的色散位移光纤,偏振控制器和一个 2×2 光纤耦合器组成,光纤零色散波长为 1550 nm,色散斜率为 $0.055 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$,通过调节环中的偏振控制器,可使环形镜工作于全反射状态。波长 λ_{cw} 的连续光由可调谐外腔激光器产生,功率放大后由 2×2 耦合器的一个端口输入,控制信号由增益开关激光器产生,波长为 1552.4 nm,脉宽约 33.7 ps,频率 2.5 GHz,经调制器调制后,进一步复用到 10 Gbit/s,功率放大后,由 2×1 光纤耦合器的一个端口输入。由于两束光波长不同,在环中发生走离,正反时针传输的连续光在环中传输一圈获得相位差,当再次相遇时,便干涉从 2×2 耦合器另一个端口输出,用带通滤波器在 2×2 耦合器的另一个端口滤出连续光对应波长 λ_{cw} ,便可得到 NRZ 信号。值得注意的是,对于确定的色散位移光纤,其光纤长度、零色散波长、色散斜率等特性参数已定,连续光波长的设置相当重要,将决定输出 NRZ 码的形状。

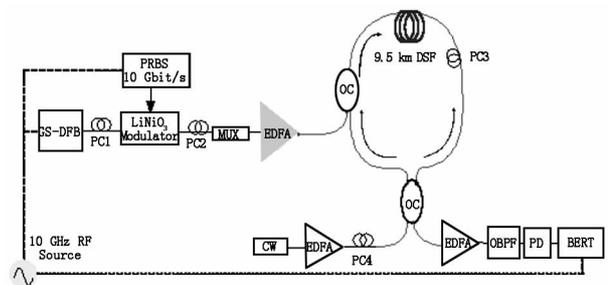


图 8 基于色散位移光纤基 NOLM 的 RZ 到 NRZ 码型转换原理图

2.7 基于马赫曾德干涉仪的码型转换技术

根据马赫-曾德干涉仪臂中所使用的介质不同,其可以分为于光纤延时线,光子晶体光纤和基于半导体光放大器基三种。基于光纤延时线基马赫曾德干涉仪的码型转换实验装置如图 9 所示^[25-26],码型转换器的核心部件是一个温控全光纤延时干涉仪和一个窄带滤波器,延时干涉仪起到一个梳状滤波器的作用,其频率间距为 40 GHz,能够抑制某些特定频率分量,控制温度可以改变干涉仪两臂的相位差,随后的窄带滤波器进一步抑制掉残余的边带分量。具体过程为:信号发生器产生一个周期可调

的 RZ 信号,经过功率控制和偏振调节后,此信号注入延时干涉仪,延时干涉仪透射率最大值对应信号中心波长处,将信号谱的边带分量抑制掉,但高阶分量依然存在,所以转换的 NRZ 码有较大的幅度噪声,因此附加一个窄带滤波器进一步抑制高阶边带,得到较好的 NRZ 信号,此方法将延时干涉仪与窄带滤波器级联使用,避免了使用单个滤波器的缺憾,原因在使用单个滤波器时,若滤波器带宽较宽,则转换的 NRZ 信号有波形畸变,若滤波器带宽较窄,则可能造成信号中调制信息的丢失。基于光子晶体光纤的码型转换技术与普通光纤原理基本类似^[27],限于篇幅,这里不再阐述。

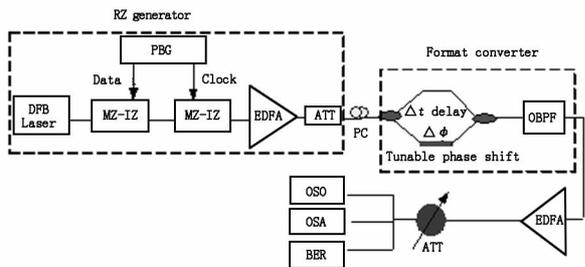


图9 基于光纤延时干涉仪的RZ到NRZ码型转换原理图

基于半导体光放大器的码型转换技术原理如图10所示^[27-28],马赫-曾德干涉仪两臂中各放置一个半导体光放大器作为非线性相移器件,波长为 λ_{cw} 的连续探测光分束后进入干涉仪两臂,适当调节两臂中半导体光放大器的偏压,则可以在干涉仪输出端实现探测光相长或相消干涉。波长为 λ_{cw} 的信号光同样一分为二,一束进入干涉仪的上臂,另一束经延时 τ 后进入干涉仪下臂,调节延时量 τ ,使其恰好等于信号比特周期。在干涉仪上臂中,信号光消耗了半导体光放大器中的载流子,引起相位变化,使得在干涉仪输出端发生相长干涉,连续光能够通过,

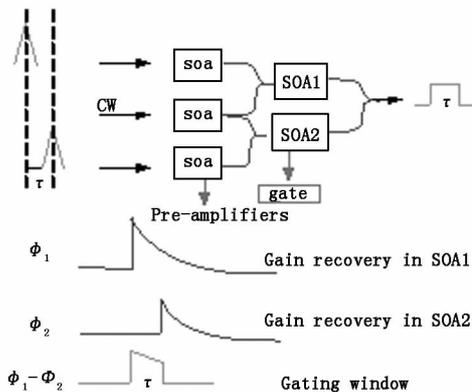


图10 基于半导体光放大器基马赫曾德干涉仪的RZ到NRZ码型转换原理图

而在时间 τ 后,经过延时的同一个脉冲恰好经过干涉仪下臂中的半导体光放大器,在下臂中产生了同样的相移量,因此导致探测光在干涉仪出口相消干涉。而连续光通过时间为 τ ,所以完成了RZ到NRZ码型转换,还应指出,图中连续探测光与信号光在进入干涉仪之前所经历的三个半导体光放大器起到调节光功率的作用,以使两臂中相移量最佳。

2.8 基于谱线控制的码型转换技术

在频域内,锁模激光器的脉冲表现为一系列离散的谱线,谱线间隔等于纵模间距,而时域脉冲宽度与频域谱线宽度成反比,因此可以通过对频域谱线的操纵限制,来达到在时域内将脉冲展宽的目的,这就是基于谱线控制的归零到非归零码型转换的基本思想。具体实验结构如图11所示^[29]:整个谱线整形装置由锁模光纤激光器,光环形器,准直器,望远镜,光栅,透镜和带有狭缝的反射镜组成,RZ脉冲信号由锁模光纤激光器产生,脉冲宽度3 ps,重复频率10 GHz,中心波长可在1532~1562 nm范围调谐,脉冲经准直后被光栅反射,光栅为1100线/mm,可将信号光按照波长展开,带有狭缝的反射镜将特定谱线成分选择性反射,通过调节狭缝宽度可以控制谱线数目,对谱线的限制最终导致时域脉冲展宽。整个装置的作用就相当于一个窄带光学滤波器,测出其对应的3 dB带宽仅5 GHz。

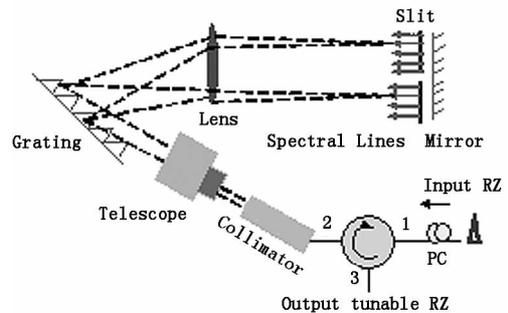


图11 基于谱线控制的RZ到NRZ码型转换原理图

3 性能参数比较

衡量全光RZ到NRZ码型转换方案的优劣,可以测量系统误码率和Q因子,计算功率代价,但在系统无误码的情况下,还可从系统比特率透明性,偏振敏感性,信号再生性,系统级联性,以及是否在码型转换的同时具有波长转换性等方面全面衡量,评价码型转换方案的性能。我们对目前已有的主要码型转换技术进行了对比,结果如表1所示,可见不同的方案,虽然都能实现码型转换,但系统衍生性能差异较大,在实际网络中,应综合考虑,合理选择。

表 1 各种 RZ 到 NRZ 码型转换技术的比较

	比特透明性	偏振敏感性	信号再生性	系统级联性	波长转换性
基于硅基微环谐振器	透明	偏振不敏感	无再生能力	未能实现多信道转换	无
基于 PCF 中 XPM 效应	透明	偏振敏感	有再生能力	未能实现多信道转换	同时实现了波长转换
基于 SOA 中交叉增益压缩效应	不透明	取决于所用 SOA 是否偏振敏感	无再生能力	未能实现多信道转换	同时实现了波长转换
基于增益钳制 SOA	不透明	取决于所用 SOA 是否偏振敏感	无再生能力	未能实现多信道转换	可自由选择是否要求波长转换
基于 SOA 级联滤波器	不透明	取决于所用 SOA 是否偏振敏感	无再生能力	未能实现多信道转换	同时实现了波长转换
基于色散位移光纤中 SPM	透明	偏振敏感	未证实再生能力	未能实现多信道转换	无
基于色散位移光纤中 XPM	透明	偏振敏感	未证实再生能力	未能实现多信道转换	同时实现了波长转换
基于色散位移光纤的 NOLM	不透明	偏振敏感	无再生能力	无	同时实现了波长转换
基于光纤延时线基 M-Z 干涉仪	不透明	偏振敏感	无再生能力	无	无
基于光子晶体光纤基 M-Z 干涉仪	不透明	偏振敏感	无再生能力	无	无
基于半导体光放大器基 M-Z 干涉仪	不透明	偏振敏感	无再生能力	无	同时实现了波长转换
基于谱线控制	透明	偏振不敏感	无再生能力	无	无

4 存在问题

全光 RZ 到 NRZ 码型转换技术避免了繁冗的光电光转换,在光域内实现信号处理,突破了电子器件的速率瓶颈,为人们描绘了未来透明光子网络的美好前景,吸引了人们极大的研究兴趣。经过近十几年的发展,它从无到有,从有到优,不断成熟,朝着实用化的方向与日跟进。目前,人们已经提出并发展了各种全光 RZ 到 NRZ 码型转换方案,使得全光

OTDM/WDM 接口技术有了较大进步,但目前的全光 RZ 到 NRZ 码型转换方案,仍然存在一些问题,主要表现在以下方面:

(1) 脉冲展宽比是衡量全光 RZ 到 NRZ 码型转换方案的一个重要参数,对现有的大部分码型转换方案而言,其变换前后的脉冲展宽比一般较小,这导致在实际转换中,对于待转换的 RZ 码的占空比有要求,如在光纤延时干涉仪基的码型转换方案中,往往要求 RZ 码的占空比不能低于 50%,否则系统不能工作,而在半导体光放大器级联滤波器的方案中,要求有一个脉冲预处理系统等,就是这个原因。这往往导致码型转换方案在实际网络中使用有困难,因为从主干网中直接传输而来的 OTDM 信号,其占空比一般都比较低,很难将其转换为具有理想脉冲宽度的 NRZ 码,从而适于在后续城域网中传输;

(2) 在基于非线性光纤环形镜的码型转换方案中,所获得的非归零码的形状与输入信号脉冲形状密切相关,输入信号的时域抖动或幅度噪声会对码型转换效果产生影响,且最严重的是,整个系统对偏振态极为敏感,而实际光路中信号的偏振态往往随机波动,难以控制,因此,发展偏振不敏感的码型转换技术具有一定的应用价值;

(3) 在光纤延时干涉仪基的码型转换方案中,为了获得合适的相移量,往往还需要温控机制,这无疑增加了系统的复杂性;

(4) 当采用硅基材料做非线性介质实现码型转换时,硅波导的优点是响应速度快,集成度高,但制作成本较高,价格昂贵;硅光纤也利用超快三阶非线性效应,所以一般也具有对比特率透明的高速工作特性,但为获得充分的非线性效应,往往需要相对较长的光纤或较大的输入功率,即使对于光子晶体光纤,一般也需要几十米;

(5) 在基于半导体光放大器的转换方案中,由于材料中载流子恢复时间较长,往往会出现码型效应,特别是在高速率的情况下,并且,尚未见到多信道 RZ 同时转换为 NRZ 的报道。

5 展望

随着光通信网络及其相关领域技术的飞速发展,全光归零到非归零码型转换技术正在不断向广度和深度方面推进,特别是以光子晶体光纤,硅基微环谐振器等为代表的新型光子器件的陆续面世,将为全光归零到非归零码型转换器的设计提供新的对策和思路,带来新的生机。纵观光纤通信学科的发展,任何一种器件的成熟都离不开材料的支撑,离不

开人们对材料中物理现象及隐藏在现象背后的基本原理的掌控,因此,未来全光归零到非归零码型转换器的发展方向主要体现为两方面:一是性能优良的新型非线性光子材料的开发,如高非线性硫化物波导,周期极化铌酸锂波导,氧化物,硫化物光纤等,二是可用于归零到非归零码型转换的新型非线性光学现象及其原理的发现,与其内部机理的深入探究。相比目前实际网络中采用的基于电子器件的码型转换方案,全光码型转换是一个新兴课题,还存在许多新的发展空间,但其蕴含的巨大商业前景与市场推动力必将激励人们在这一领域开展进一步的研究。

参考文献:

- [1] A E Willner. Optical signal processing using tunable delay elements based on slow light [J]. IEEE J. Sel. Top. in Quant. Electron, 2008, 14(3): 691 - 705.
- [2] Mirco Scaffardi, Nicola Andrioli, Gianluca Meloni, et al. Photonic combinatorial network for contention management in 160 Gb/s-interconnection networks based on all-optical 2 × 2 switching elements [J]. IEEE J. Sel. Top. in Quant. Electron, 2007, 13(5): 1531 - 1539.
- [3] Hsu Feng Chou, John E Bowers. High-speed OTDM and WDM networks using traveling-wave electroabsorption modulators [J]. IEEE J. Sel. Top. in Quant. Electron, 2007, 1(1): 58 - 69.
- [4] Y Yu, X Zhang, D Huang. All-optical RZ-to-NRZ format conversion with a tunable fibre based delay interferometer [J]. Chin. Phys. Lett., 2006, 24(3): 706 - 709.
- [5] K Wada, H-C Luan, D R C Lim, et al. On-chip interconnection beyond semiconductor roadmap-silicon microphotonics-active and passive optical components for WDM communications II [J]. Proceedings of SPIE, 2002, 48: 437 - 443.
- [6] Qianfan Xu, David Fattal, Raymond G Beausoleil. Silicon microring resonators with 1.5 μm radius [J]. Opt. Express, 2008, 16(6): 4309 - 4315.
- [7] Qianfan Xu, Michal Lipson. All-optical logic based on silicon micro-ring resonators [J]. Optics Express, 2007, 15(3): 924 - 929.
- [8] Tuner A C, Foster M A, Gaeta A L, et al. Ultra-low power parametric frequency conversion in a silicon microring resonator [J]. Optics Express, 2008, 16(7): 4431 - 4438.
- [9] Yu Zhang, Enming Xu, Dexiu Huang, et al. All-optical format conversion from RZ to NRZ utilizing microfiber resonator [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2009, 21(17): 1202 - 1204.
- [10] Yunhong Ding, Christophe Peucheret, Minhao Pu. RZ-to-NRZ format conversion at 50 Gbit/s based on a silicon microring resonator [C]//15th optoelectronics and communications conference (OECC2010) technical digest, Sapporo Convention Center, July, 2010: 862 - 863.
- [11] Yunhong Ding, Christophe Peucheret, Minhao Pu, et al. Multi-channel WDM RZ-to-NRZ format conversion at 50 Gbit/s based on single silicon microring resonator [J]. Optics Express, 2010, 18(20): 21121 - 21130.
- [12] Takashi Matsui, Kazuhide Nakajima, et al. Applicability of photonic crystal fiber with uniform air-hole structure to high-speed and wide-band transmission over conventional telecommunication bands [J]. IEEE J. Lightw. Technol., 2009, 27(23): 5410 - 5416.
- [13] C H Kwok, S H Lee, K K Chow, et al. Photonic crystal fibre based all-optical modulation format conversions between NRZ and RZ with hybrid clock recovery from a PRZ signal [J]. IET Optoelectron., 2007, 1(1): 47 - 53.
- [14] Christina (Tanya) Politi, Dimitrios Klonidis, Mike J. O'Mahony. Waveband converters based on four-wave mixing in SOAs [J]. IEEE J. of Lightw. Tech., 2006, 24(3): 1203 - 1217.
- [15] Junyi Zhang, Jian Wu, Chuanfen Feng, et al. All-optical logic OR gate exploiting nonlinear polarization rotation in an SOA and red-shifted sideband filtering [J]. IEEE Photo. Tech. Lett., 2007, 19(1): 33 - 35.
- [16] Jianji Dong, Songnian Fu, Xinliang Zhang, et al. Single SOA based all-optical adder assisted by optical bandpass filter: theoretical analysis and performance optimization [J]. Optics Communications, 2007, 270: 238 - 246.
- [17] B Mikkelsen, M Vaa, H N Poulsen, et al. 40 Gbit/s all-optical wavelength converter and RZ-to-NRZ format adapter realised by monolithic integrated active Michelson interferometer [J]. IEEE Electron. Lett., 1997, 33(2): 133 - 134.
- [18] Luca Banchi, Marco Presi, Antonio D'Errico, et al. All-Optical 10 and 40 Gbit/s RZ-to-NRZ format and wavelength conversion using semiconductor optical amplifiers [J]. IEEE J. of Lightw. Tech., 2010, 28(1): 32 - 38.
- [19] T G Silveira, A Teixeira, G Tosi Beleffi, et al. All-optical conversion from RZ to NRZ using gain-clamped SOA [J]. IEEE Photo. Tech. Lett., 2007, 19(6): 357 - 359.
- [20] Xie Yiyuan, Zhang Jianguo, Wang Weiqiang, et al. All-optical RZ to NRZ format conversion using single SOA assisted by optical band-pass filter [J]. Chin. Phys. Lett., 2008, 25(6): 2051 - 2054.
- [21] Tiago Silveira, Ana Ferreira, Daniel Fonseca, et al. António Teixeira, and Paulo Monteiro, 40 Gb/s All-optical

- RZ to NRZ format converter based on SOA and detuned filtering [C]. ICTON, 2009, Th. A2. 4: 1 - 4.
- [22] S H Lee, K K Chow, C Shu. All-optical RZ to NRZ format conversion using phase modulation in a dispersion-shifted fiber [J]. IEEE, 2005, 75 (3): 1783 - 1785.
- [23] S H Lee, K K Chow, C Shu. Spectral filtering from a cross-phase modulated signal for RZ to NRZ format and wavelength conversion [J]. Optic. Express, 2005, 13 (5): 1710 - 1715.
- [24] S Bigo, E Desurvire, B Desruelle. All-optical RZ-to-NRZ format conversion at 10 Gbit/s with nonlinear optical loop mirror [J]. IEEE Elec. Lett., 1994, 30 (22): 1868 - 1869.
- [25] Yu Yu, Xinliang Zhang, Dexiu Huang, et al. 20-Gb/s All-optical format conversions from RZ signals with different duty cycles to NRZ signals [J]. IEEE Photo. Tech. Lett., 2007, 19 (14): 1027 - 1029.
- [26] Yu Yu, Xinliang Zhang, Dexiu Huang. All-optical RZ to NRZ format conversion with tunable fiber based delay interferometer [J]. IEEE, 2006: 47 - 50.
- [27] Jiangbing Du, Yongheng Dai, Gordon K P Lei, et al. RZ-to-NRZ and NRZ-to-PRZ format conversions using a photonic crystal fiber based Mach-Zehnder interferometer [C]. OSA/OFC/NFOEC, 2010, OMO4: 1 - 3.
- [28] J Du, Y Dai, G K P Lei, et al. Demodulation of DPSK signals using in-line Mach-Zehnder interferometer based on photonic crystal fibers [C] // the 14th opto-electronics and communications conference, Paper FM6, Hong Kong, July, 2009: 1 - 2.
- [29] Lei Xu, Bing C Wang, Varghese Baby, et al. All-optical data format conversion between RZ and NRZ based on a Mach-Zehnder interferometric wavelength converter [J]. IEEE Photo. Tech. Lett., 2003, 15 (2): 308 - 310.
- [30] Zhi Jiang, Daniel E Leaird, Andrew M Weiner. Width and wavelength-tunable optical RZ pulse generation and RZ-to-NRZ format conversion at 10 GHz using spectral line-by-line control [J]. IEEE Photo. Tech. Lett., 2005, 17 (12): 2733 - 2735.