

高速非归零码数据的全光时钟恢复研究

武同, 邱昆

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】采用一种新的时钟增强方案并配合双区折射率耦合激光器实现非归零码信号的全光时钟恢复, 通过数学仿真研究了此时钟恢复系统在64 Gb/s非归零码系统中的性能表现。仿真结果表明, 受益于时钟增强模块的高速特性, 该系统完成高速非归零码信号时钟的全光恢复能达到较好的效果。

关键词 时钟恢复; 时钟增强; 非线性光纤; 双区折射率耦合激光器; 非归零码

中图分类号 TN913.24 **文献标识码** A

Investigation on All-optical Clock Recovery from High-Speed NRZ Data

Wu Tong, Qiu Kun

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract A scheme for all-optical clock recovery from non-return-to-zero(NRZ) coded data by combining a novel clock enhancement component with a two section distributed feed back(DFB) laser has been proposed, and its' function and performances under 64 Gb/s NRZ data streams have been demonstrated and investigated by numerical simulation. It is shown that this system can achieve clock recovery from high-speed NRZ data with a satisfying performance.

Key words clock recovery; clock enhancement; nonlinear fiber; two section distributed feed back laser; nonreturn-to-zero data

光信号的全光时钟恢复技术是全光网络的关键技术之一, 得到了广泛的研究。从目前提出的成功全光时钟恢复方案来看, 大部分方案仅能应用于归零编码(Return-to-Zero, RZ)的网络, 因为在RZ信号的调制频谱中含有很强的时钟信号分量, 容易实现时钟信号的恢复。而对于非归零码(Non-Return-to-Zero, NRZ)数据, 由于其中的时钟信号分量很弱, 直接对其进行恢复较困难, 现提出的几个适用于NRZ数据的全光时钟恢复方案都是采用了一个信号预处理模块将非归零码转换成伪归零码(Pseudo-Return-to-Zero, PRZ)以增强它的时钟信号分量。在文献[1]中, 利用了马赫-曾德干涉仪(Mach-Zehnder Interferometer, MZI)作为异或门来完成NRZ数据到PRZ数据的转换。在文献[2, 3]中, 利用信号脉冲在半导体光放大器中受到的频率啁啾效应配合光滤波器实现NRZ到PRZ的全光转换。这些方案由于受到时钟增强模块处理速度的限制, 不能适用于高比特率数据。本文提出了一种新的时钟增强方案, 它由两段非线性光纤组成, 利用光纤中的交叉相位调制效应配合光带通滤波器实现时钟信号的增强。并证明了该方案能应用于高达140 Gb/s的NRZ数据流。本文中, 在仿真平台上使用这种NRZ信号时钟增强模块, 配合双区折射率耦合(Two Section Distributed Feed Back, DFB)激光器模块对64 Gb/s非归零码信号的时钟恢复进行了仿真和研究, 证实了采用这种方案能实现高比特

收稿日期: 2004-07-12

基金项目: 教育部优秀青年教师教学科研奖励计划项目资助

作者简介: 武同(1980-), 男, 硕士生, 主要从事高速全光时钟恢复及应用方面的研究。

率NRZ数据的全光时钟恢复。

1 仿真系统的组成

本文使用Virtual Photonics公司的商业软件来进行系统的仿真研究,系统结构如图1所示,由时钟增强模块、时钟恢复模块两部分组成。

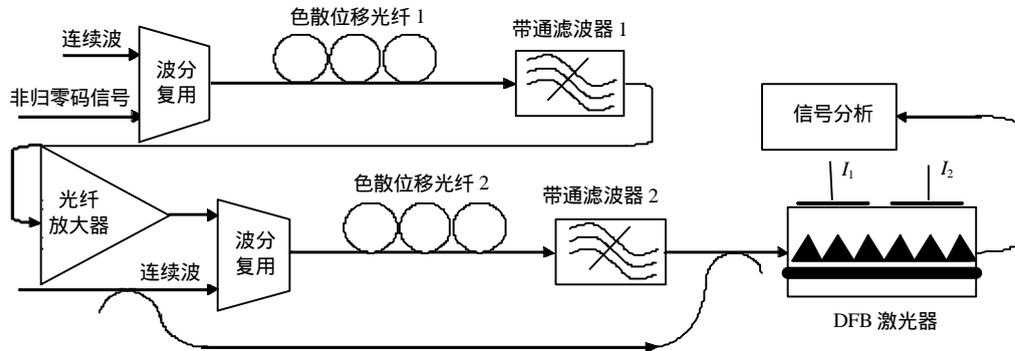


图1 NRZ信号时钟恢复仿真系统的组成

其中,时钟增强模块包括两段色散位移光纤(Dispersion Shift Fiber, DSF)、两个波分复用器(Multiplexer, MUX)、两个连续波(Continuous Wave, CW)信号源和两个带通滤波器(Band-Pass Filter, BPF),其主要原理是利用了光纤中交叉相位调制(Cross-Phase Modulation, XPM)效应所带来的频率啁啾将NRZ信号的上升沿和下降沿分别频率调制到另一波长的连续波信号上,然后通过光带通滤波器组成的频率判决器将这种和原NRZ信号相关的频率调制转换成幅度调制。在模块中,第一段光纤长500 m,它和带通滤波器一起形成FM-to-AM转换器;第二段光纤长200 m,与第二个光带通滤波器组成反向的波长转换器,其目的是将AM调制的连续波信号翻转从而得到时钟信号较强的PRZ信号。两段光纤的零色散点都设置在1 556 nm。仿真中,使用3阶贝塞尔滤波器来模拟带通光滤波器,中心波长分别设置在1 558.8 nm和1 553.2 nm。

时钟恢复模块由一个折射率耦合双区DFB激光器组成,它能对输入信号的时钟分量进行锁定和同步,输出与注入信号时钟同步的光脉冲,其原理文献[4]已有说明。仿真中使用了两个折射率耦合的DFB激光器来模拟双区激光器,通过改变两个区的偏置电流 I_1 和 I_2 ,将激光器的自脉动频率调到了65.625 GHz,两个激发模式分别位于1 553.7 nm和1 553.1 nm。

仿真研究中其他器件的主要参数设置由表1给出。

表1 仿真系统中各器件的主要参数

器件	参数	结果	器件	参数	结果
双 区 D F B 激 光 器	材料微分增益/ m^2	$3.0\text{e}-20$	色 散 位 移 光 纤	色散斜率/ $\text{ps} \cdot \text{nm}^{-2} \cdot \text{km}^{-1}$	$0.086\text{e}+3$
	透明载流子密度/ m^{-3}	$1.5\text{e}+24$		损耗/ $\text{dB} \cdot \text{m}^{-1}$	$0.4\text{e}-3$
	有源层厚度/m	$0.18\text{e}-6$		核心区面积/ m^2	$24\text{e}-12$
	群有效折射率	3.7		非线性系数(光纤1)/ $\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$	$3.4\text{e}-20$
带 通 滤 波 器	固定内部损耗/ m^{-1}	4 000	带 通 滤 波 器	非线性系数(光纤2)/ $\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$	$2.4\text{e}-20$
	初始载流子密度/ m^{-3}	$2.14\text{e}+24$		3 dB带宽(滤波1)/Hz	$150\text{e}+9$
	限制系数	0.35		3 dB带宽(滤波2)/Hz	$256\text{e}+9$
	材料线宽增强因子	4.86		滤波阶数	3

2 仿真结果及分析

用比特率为64 Gb/s,长度为 $2^{21}-1$ 的NRZ信号在该系统上的进行了仿真试验和研究。NRZ数据经过放大后进入时钟增强模块,在这里, NRZ信号被转换成PRZ信号,其调制频谱中时钟数据比增加到了24 dB。再

经过时钟恢复模块, 原始NRZ数据的时钟信号得到了提取和恢复。

经过分析系统输出信号的眼图和射频频谱图, 如图2、3所示, 证实了原始NRZ码数据的时钟信号得到了恢复。所得到的时钟信号的时间抖动小于1 ps, 信号消光比为7 dB左右, 载噪比能达到29 dB, 具有较好的信号质量。

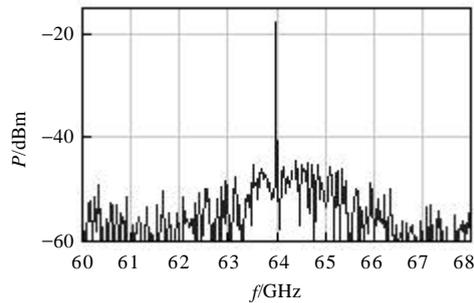


图2 NRZ码系统中输出时钟信号的射频频谱

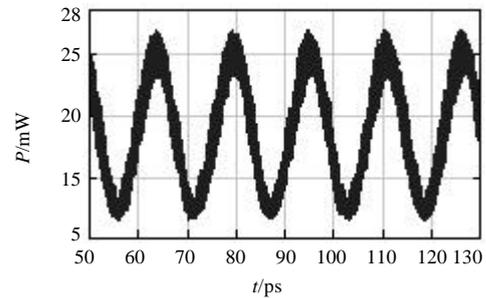


图3 NRZ码系统中输出时钟信号眼图

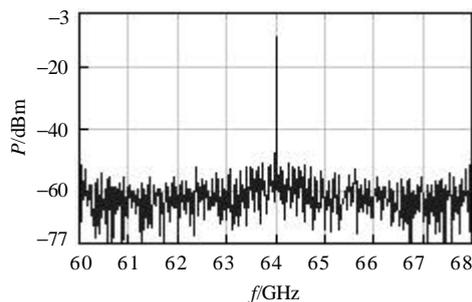


图4 RZ码系统中输出时钟信号的射频频谱

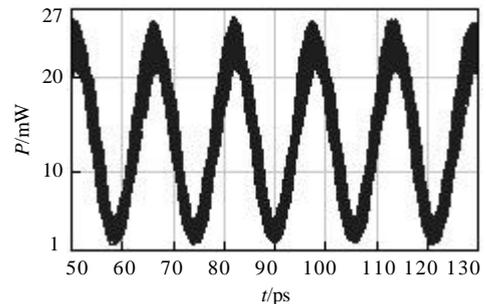


图5 RZ码系统中输出时钟信号眼图

为了对比该方案在NRZ码和RZ码系统下的性能差异, 去掉时钟增强模块, 然后对RZ码信号进行时钟恢复仿真, 得到的输出信号眼图和射频频谱图如图4、5所示。经过分析, 同一时钟恢复模块在RZ码系统下所输出的时钟信号消光比能达到8.6 dB, 载噪比达到35 dB, 均优于在NRZ码系统中的表现。

对于这种性能劣化, 主要是由时钟增强模块的工作原理造成:

1) 时钟增强模块内部的基于XPM机制的波长变换降低了信号的消光比。经过仔细调整器件参数, 也只能得到消光比约13 dB的PRZ信号。

2) 时钟增强模块内部的各种光学器件会带来一定的信号噪声, 使得输出的PRZ信号比理想状态有一定恶化。

虽然构建的时钟增强模块会引起一些信号劣化, 但在NRZ码下系统输出的时钟信号质量还是能保持在一个较好的水平。

3 结束语

通过使用一个NRZ信号预处理模块, 在仿真平台上证明了对高速NRZ信号实现全光时钟恢复的可行性, 并研究了使用时钟增强模块后系统在64 Gb/s NRZ数据下的性能表现。在仿真中发现, 同一个时钟恢复模块对NRZ信号时钟的恢复质量比对RZ信号时钟的恢复质量有所降低, 通过分析, 发现其中部分影响因素可以通过仔细调整时钟增强模块中器件参数来避免。

采用的时钟增强模块由两段色散补偿光纤组成, 其作用是通过将原始NRZ信号转换成PRZ信号, 从而达到将信号中的时钟分量增强的目的, 它是对NRZ信号进行时钟恢复所必需的。由于该时钟增强方案可以工作在很高的比特率上, 所以能够实现高速NRZ信号时钟恢复。

(下转第677页)

2.2 不同调制频率的功率变化

以上分析是观测频率在2.5 GHz时, 功率随色散长度的变化关系。当频率变化时, 得到了在某一固定光纤长度处, 由SPM引起的功率随频率的关系曲线, 如图5所示。从图中可知, SPM引起的功率随频率的增大成波动性变化, 当功率值为正时, SPM在 $D>0$ 的反常色散区光纤中可以抵消色散引起的展宽效应; 当功率值为负时, SPM在 $D<0$ 的反常色散区光纤中与色散共同加剧脉冲的展宽。从图5中可见两者吻合得相当好。

3 结 论

本文从理论上分析了在多级联光纤传输系统中, 包含任意光纤长度、损耗和色散共同作用的自相位调制光功率传递函数, 并通过仿真试验论证了理论分析的正确性。分析表明, 在第 k 根光纤中自相位调制引起的光功率不仅与非线性系数以及该段光纤的损耗、色散以及所选观测频率有关, 还与在先前所经光纤中产生的非线性光功率有关, 并且随观测频率的增加成波动性变化, 这对分析光纤模拟调制系统中的自相位调制影响和单音频率的光纤色散实时监测有很大的指导作用。

本文研究工作得到中兴通信科研基金资助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Cartaxo A V. Small-signal analysis for nonlinear and dispersive optical fibres and its application to design of dispersion supported transmission systems with optical dispersion compensation[J]. IEE Proc-Optoelectron, 1999, 146 (5) : 178-190
- [2] Ramos F, Marti J. Frequency transfer function of dispersive and nonlinear single-mode optical fibers in microwave optical systems[J]. IEEE Photon Technol Lett 2000, 12 (5) : 549-551
- [3] Wang Jiangmin, Petermann K. Small signal analysis for dispersive optical fiber communication systems[J]. J. Lightwave Technol, 1992, 10 (1) : 96-100
- [4] Youn C. Effects of SPM and PMD on chromatic dispersion monitoring techniques using pilot tones[C]. Optical Fiber Communications Conference, Atlanta, Georgia, 2003. 403-404
- [5] Park K J, Youn C J. Performance comparisons of chromatic dispersion-monitoring techniques using pilot tones[J]. IEEE Photon Technol Lett, 2003, 15 (6) : 873-875

编 辑 孙晓丹

(上接第673页)

参 考 文 献

- [1] Lee H K, Ahn J T, Jeon M Y, *et al.* All-optical clock recovery from NRZ data of 10 Gb/s[J]. IEEE Photonics Technology Letters 1999, 11(6): 730-732
- [2] Lee H J, Kim H G, Choi J Y, *et al.* All-optical clock recovery from NRZ data with simple NRZ-to-PRZ converter based on self-modulation of semiconductor optical amplifier[J]. Electronics Letters 1999, 35(12): 989-990
- [3] Mao W, Li Y, Al-Mumin M, *et al.* All-optical clock recovery for both RZ and NRZ data[J]. IEEE Photonics Technology Letters 2002, 14(6): 873-875
- [4] Wenzel H, Bandelow U, Wunsche H J, *et al.* Mechanisms of fast self pulsations in two-section DFB lasers[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics 1996, 32(1): 69-78

编 辑 孙晓丹