

基于 UNI 开关的 40 GHz 注入锁模 全光时钟提取实验*

王耀天, 于晋龙, 李亚男, 王卓然, 吕捷, 杨恩泽

(天津大学 电信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: 基于超快非线性干涉仪 UNI 开关具有超过 40 Gbit/s 的开关速度, 提出一种在锁模环形腔内利用 UNI 开关进行时钟提取的新方案. 按此方案进行实验, 对 40 Gbit/s 伪随机信号进行时钟提取, 得到了清晰稳定的时钟脉冲. 与利用 SOA 的交叉增益调制注入锁模时钟提取方案相比, 在此方案中注入到 SOA 的信号功率仅 0.5 dBm, 降低了 7 dB 左右, 对 SOA 的运行更安全.

关键词: 光纤通信技术; 40 GHz 时钟提取; 全光 3R; 超快非线性干涉仪; 半导体光放大器; 交叉相位调制
中图分类号: TN 929. 11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4213(2007)07-1294-5

0 引言

全光 3R 再生(再放大、再整形和再定时)是克服超长距离传输中光信号恶化的一种有效方法. 其关键技术之一就是时钟提取技术. 如何从光信号中提取出抖动小、噪音低、波形好的高质量时钟光脉冲成为当前的研究热点. 目前实现时钟提取的方法主要分为电时钟提取, 电光混合提取和全光时钟提取. 前两类方案^[1-3]的技术相对成熟, 但是由于都存在电子瓶颈限制很难在高速率中应用, 而全光时钟提取技术^[4-7]则可避免这种限制. 注入锁模光纤激光器技术^[8-9]就是全光时钟提取技术的一种, 其方案结构简单, 受到广泛重视.

1995 年 Adams 等^[10]用光纤锁模激光器实现了 40 Gbit/s 时钟提取. 其环形腔内利用了半导体光放大器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)的交叉增益调制效应(Cross-Gain Modulation, XGM). 此方案中由于双环结构较复杂会造成实验结果不稳定. 采用 SOA 的 XGM 效应的注入锁模提取 40 GHz 时钟实验在国内也已实现^[11]. 此方案中, 为了得到

足够大的 XGM 非线性效应, 需向 SOA 注入较大功率, 注入 SOA 的功率达到大于 7、8 dBm 才能得到较好的时钟脉冲. 长时间工作在这样的条件下, 会影响 SOA 的使用寿命和工作稳定性, 在实验中^[11]多次出现了 SOA 因注入光功率太大而损坏. 这也成了注入锁模方法的一个主要缺点.

本文提出了一种较小注入功率条件下实现时钟提取的方案, 即采用超快非线性干涉仪(Ultrafast Nonlinear Interferometer, UNI)结构代替 SOA 进行调制, 实现时钟提取. UNI 利用 SOA 的交叉相位调制效应(Cross-Phase Modulation, XPM)^[12], 相对较小的注入功率即可获得足够的相位改变, 实现开关功能. 在注入功率和腔内功率都较小的条件下就能进行时钟提取. 实验证明, 用此方案能从 40 Gbit/s 伪随机码信号提取出波形较好的时钟脉冲.

1 UNI 光开关的原理

在讨论时钟提取方案之前, 先对其中的关键部分 UNI 开关做一下介绍. UNI 光开关结构如图 1. 40 GHz 光脉冲(波长 λ_2)经偏振控制器(PC1)和起

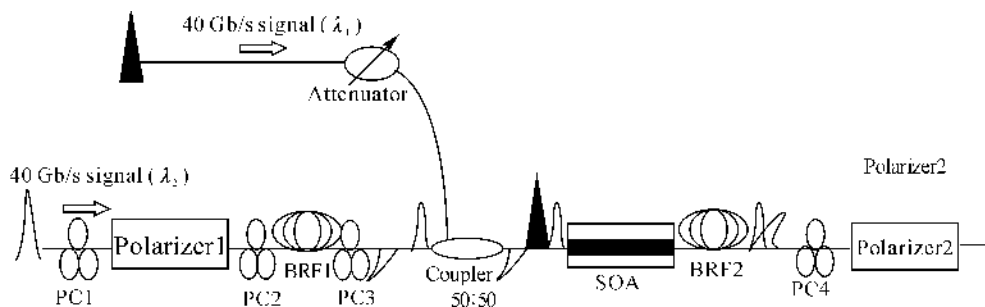


图 1 UNI 开关结构

Fig. 1 Configuration of UNI

偏器(Polarizer1)后变成线偏光, 以与双折射光纤(BRF1)的快慢轴分别成 45° 的偏振方向进入双折射光纤. 脉冲在偏振相互垂直的快慢轴向上被分成两

* 国家 863 高技术研究与发展计划(2001AA312220)资助
Tel: 022-27404143 Email: wang-yaotian@hotmail.com
收稿日期: 2006-03-14

个分量, 偏振方向垂直且能量相等, 而且快慢轴两个偏振分量在双折射光纤中传输后, 会产生一个相对延时量进入 SOA. 另一方面, 40 Gbit/s 的信号脉冲 (波长 λ_1) 作为控制光经过等分耦合器后也进入 SOA, 而且插在上述两个偏振分量之间. 插入的信号脉冲快速消耗 SOA 中的载流子浓度, 改变 SOA 的折射率产生交叉相位调制效应, 从而改变其后面的慢轴脉冲分量通过 SOA 的光程, 使慢轴分量相位发生改变. 调节注入信号功率改变相移量, 可以使慢轴分量的相位正好偏移 π 相位, 偏振方向也反向. 如果分离的两个偏振光脉冲再经过一段快慢轴相反的双折射光纤 (BRF2) 后, 快慢轴两个分量的相对延时被补偿, 重新合成一个光脉冲, 则偏振方向较输入时偏转 90° . 调整检偏器 (Polarizer2) 偏振方向与原脉冲偏振方向成 90° , 输出脉冲可以通过检偏

器. 如果没有控制脉冲 (波长 λ_1) 插入, 输出的脉冲与原脉冲的偏振方向相同, 与检偏器的输出偏振方向差 90° 而没有输出. 这样有控制脉冲插入, 检偏器有输出, 没有控制脉冲插入, 检偏器没有输出, 实现了开关功能. UNI 开关响应速度很快可以达到 80 Gbit/s^[13]. 通过调整偏振控制器 (PC2) 改变脉冲偏振方向和双折射光纤的快慢轴方向夹角, 可以调整开关的消光比.

2 基于 UNI 开关的主动锁模激光器原理

把 UNI 开关应用于主动锁模激光器中就是本文的时钟提取方案. 整个时钟提取原理如图 2. 实验设置分为 40 Gbit/s 信号产生, 40 GHz 时钟脉冲提取和实验结果显示三个部分.

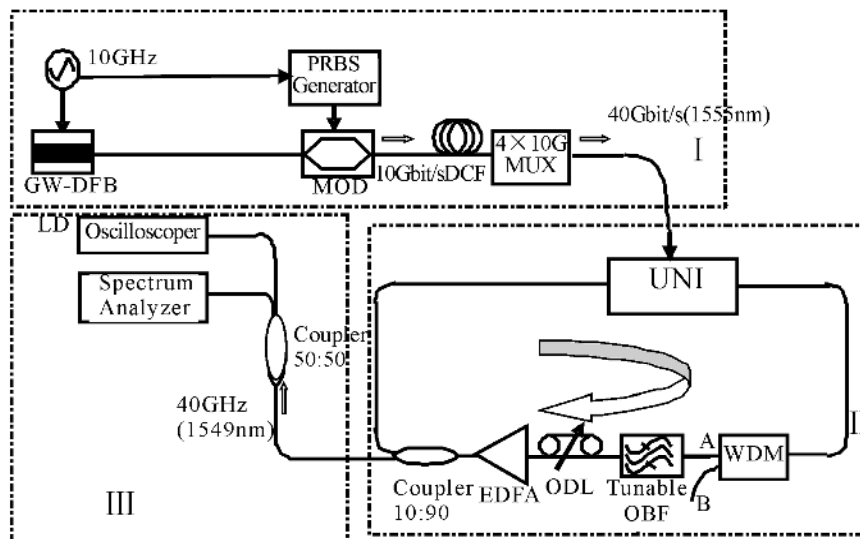


图 2 采用 UNI 开关进行时钟提取装置

Fig. 2 Experiment setup of clock recovery using UNI

图中, I 部分通过复用产生 40 Gbit/s 的注入信号. 10 GHz 微波信号源提供电脉冲, 一路对工作在增益开关状态下的激光器直接调制, 产生含有很大啁啾量的脉冲. 另一路同步一个伪随机码发生器得到 10 Gbit/s 的非归零伪随机码序列 (Pseudo Random Binary Sequence), 再经过 M-Z 结构的 LiNbO_3 调制器, 将 10 GHz 的光脉冲调制成 10 Gbit/s 的归零伪随机码序列. 10 Gbit/s 光信号带有啁啾, 经过色散补偿光纤 (DCF), 脉冲宽度被压窄到小于 13 ps. 再经过 4 路复用器得到 40 Gbit/s 的归零伪随机序列, 以此代替真实通信中的 40 Gbit/s 信号.

II 部分是时钟提取核心部分—光纤锁模激光器. 腔内的 EDFA 提供增益. 可调光延时线 ODL 用来精确调节腔长, 使腔的基频与注入光信号的频率相匹配, 形成锁模振荡. 可调光滤波器 OBF 和二路

波分复用器 WDM 串接, 形成了一个合成滤波器, 其特性示于图 3. OBF 的 3 dB 带宽 3 nm. WDM 耦合器的 A 路通过 1510~1549 nm 的光, 且在 1549 nm 处具有锐截止特性. 因此合成滤波器具有在短波长一侧缓慢下降, 长波长一侧锐截止的窗口特性. 合成滤波器的作用不仅仅在于选择时钟脉冲的波长, 滤

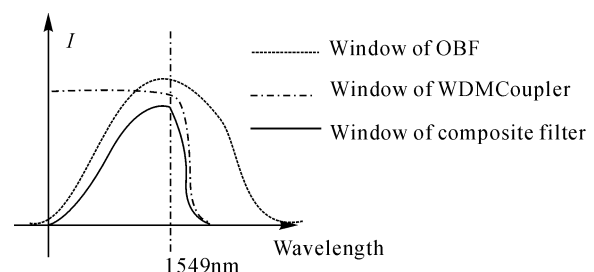


图 3 腔内合成滤波器的窗口特性

Fig. 3 The window property of filter in series

除注入信号光,而且长波长的锐截止特性可以减小码型效应^[14-15].

40 Gbit/s,波长 1 555 nm 光信号进入 UNI 一路,通过UNI中的耦合器注入SOA中.腔内波长 1 549 nm 的光则进入UNI另一路,注入SOA. 1 555 nm 光信号通过 UNI 开关对腔内 1 549 nm 光调制.在满足锁模条件下,腔内激光经过一定圈数的振荡得到光时钟脉冲.

Ⅲ 部分是显示部分:提取出的 40 GHz 的时钟信号从 10 : 90 的耦合器输出,在示波器和光谱仪中显示出来.

3 实验结果分析

实验中,通过复用得到的 40 Gbit/s 归零伪随机码光信号波形如图 4.图中光脉冲有一定的起伏

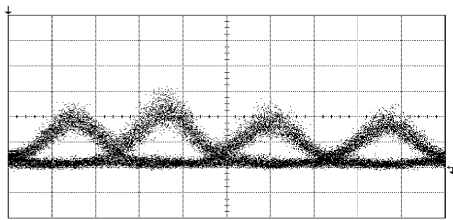


图 4 40 Gb/s 伪随机信号

Fig. 4 40 Gb/s Pseudo random binary sequence signal

是由于我们自制的复用器各路的插入损耗不够均匀造成的.因为在注入功率较小的情况下 UNI 开关即可实现交叉相位调制,故这里信号光注入 SOA 的功率仅为 0.5 dBm,腔内锁模激光注入 SOA 功率为 -2 dBm 左右,注入 SOA 的总功率 1 dBm 左右,SOA 可以长期安全工作.相比之下采用 SOA 的 XGM 调制大功率注入信号光的方法,需要注入腔内的信号光功率 7~8 dBm 才能得到足够的增益变化实现调制(已超过了 SOA 正常注入功率),很容易烧坏 SOA.显然采用 UNI 结构需要注入功率要小得多,对实验器件也更安全.

SOA 的工作电流为 245 mA,腔内进入 SOA 的光功率为 -2 dBm.调整 UNI 的偏振控制器、滤波器和可变延时线使腔内达到锁模条件.提取出来的 40 GHz 时钟波形和光谱显示在示波器和光谱仪上.图 5 反映了逐步调节光延时线,环形腔逐渐达到模式锁定的过程.其中图 5 的(c)(f)显示了达到锁模条件下提取得到的 40 GHz 时钟信号.从光谱中可清晰看到,间隔 40 GHz 的多个模式被锁住.示波器测得脉冲宽度小于 16 ps,时间抖动小于 2.1 ps.实验中的伪随机码分别采用 7 阶、10 阶和 15 阶编码,发现对输出时钟的参量没有明显影响.

图中看到输出时钟波形含有一定直流成分,有

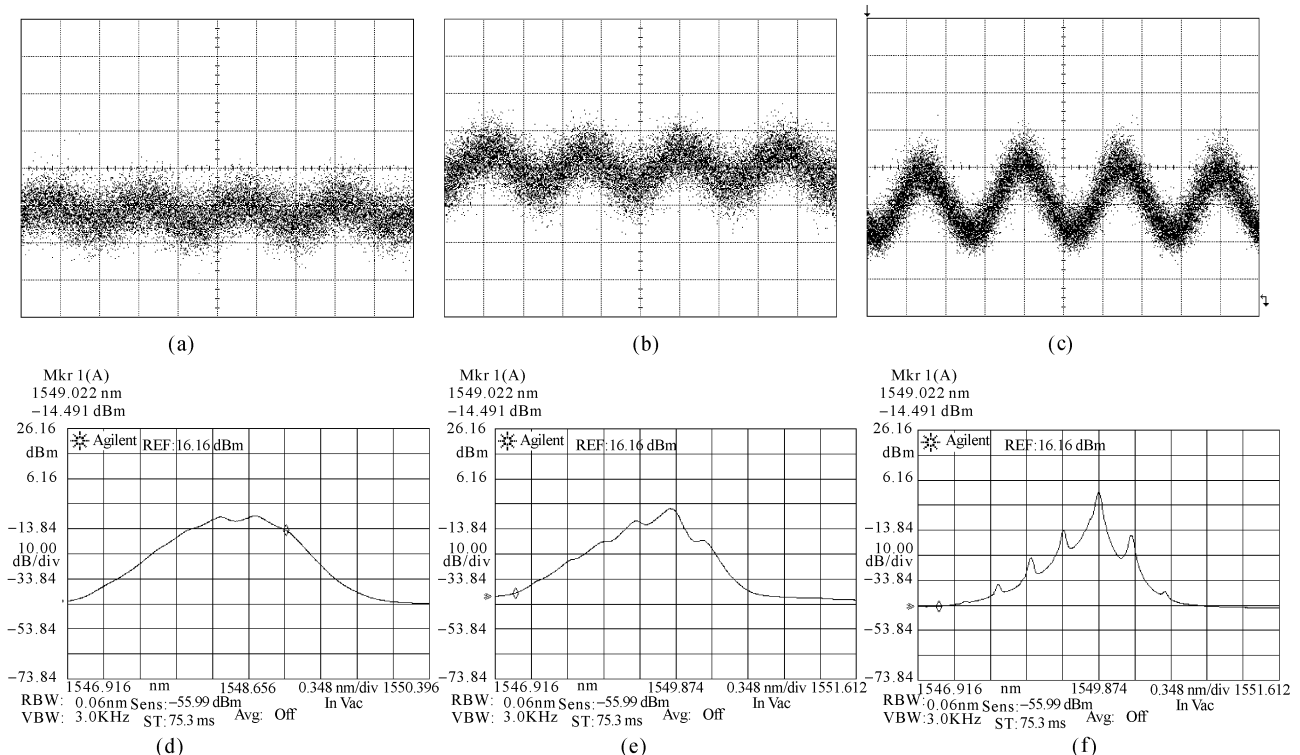


图 5 调整延时线,环形腔逐渐达到锁模状态过程的输出脉冲

Fig. 5 By adjusting the ODL, the output pulses got, when the fiber laser worked gradually toward to the mode lock state

两方面造成.一方面 40 Gbit/s 源信号是经过复用得到,本身含有直流成分.另一方面为抑制噪声 UNI 开关的消光比降低,引入了直流成分.

4 结论

实验验证,采用 UNI 开关结构进行注入锁模时钟提取的方案是可行的.从实验结果看出,提取出的 40 GHz 时钟信号波形较好,可以看到清晰的纵模,且纵模间隔对应的频率与信号频率相等,说明光纤锁模激光器工作在模式锁定状态. UNI 利用 SOA 的交叉相位调制(XPM)效应,用相对较小的注入功率就能取得足够的相位改变,实现开关功能.在注入功率和腔内功率都较小的条件下就能进行时钟提取,避免了采用 SOA 交叉增益调制时,在较大的注入功率环境下损伤 SOA 的可能.

本实验还有不足之处在于,由于 UNI 对偏振态相关,要求输入偏振态不变,环形腔应该是保偏光纤,但实验条件限制很难做到.因此在实验过程中只能尽量保证环境稳定,减小对偏振态的影响.实验结果反映在较短时间内(1h 内),时钟输出稳定,但很难保证长时间(大于 8h)稳定输出.

参考文献

- [1] VEHOVC S, VIDMAR M, PAOLETTI A. 80 Gbit/s optical clock recovery with automatic lock acquisition using electrical phase-locked loop [J]. *Electronics Letters*, 2003, **39**(8):673-674
- [2] KAMATANI O, KAWANISHI S I. Ultrahigh-speed clock recovery with phase lock loop based on four-wave mixing in a traveling-wave laser diode amplifier [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1996, **14**(8):1757-1767
- [3] TSUCHIDA H, SUZUKI M. 40-Gb/s Optical Clock Recovery Using an Injection-Locked Optoelectronic Oscillator [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2005, **17**(1):211-213
- [4] BIGO S, DESURVIRE E. 20 GHz all-optical clock recovery based on fibre laser mode-locking with fibre nonlinear loop mirror as variable intensity/phase modulator[J]. *Electronics Letters*, 1995, **31**(21):1855-1857
- [5] MIKHAILOV V, BAYVEL P. All-optical multiwavelength clock recovery using integrated semiconductor amplifier array module[J]. *Electronics Letters*, 2001,**37**(4):232 ~234
- [6] KIM C, KIM I, LI X, *et al.* All-optical clock recovery of NRZ data at 40 Gbit/s using Fabry-Perot filter and two-section gain-coupled DFB laser [J]. *Electronics Letters*, 2003, **39**(20):1456-1458
- [7] BORNHOLDT C, SARTORIUS B, SCHELBASE S, *et al.* Self-pulsating DFB laser for all-optical clock recovery at 40 Gbit/s [J]. *Electronics Letters*, 2000,**36**(4):327-328
- [8] SU Yi-kai, WANG Li-jun, KUMAR P. Wavelength Tunable All-optical clock recovery Using a Fiber Parametric oscillator [J]. LEOS '99 Lasers and Electro-Optics Society 1999 12th Annual Meeting. *IEEE*, 1999,(1):351-352
- [9] LOU Cai-yun, LI Yu-hua, WU Jian, *et al.* Self-stable 10GHz Actively mode-locked fiber ring laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(4):346-350
娄采云,李玉华,伍剑,等. 10 GHz 可调谐主动锁模光纤激光器. *光子学报*, 1999, 28(4): 346-350
- [10] ADAMS L E, KINTZER E S, FUJIMOTO J G. All-optical timing extraction at 40GHz using a mode-locked figure-eight laser with an SLA [J]. *Electronics Letters*, 1995, **31**(20):1759-1761
- [11] LU Jie, YU Jin-long, LI Ya-nan, *et al.* 40 GHz all-optical clock recovery based on the injection mode-locked fiber ring laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(10):1307-1312 (in China)
吕捷,于晋龙,李亚男,等. 基于注入锁模激光器的 40Gb/s 全光时钟提取. *光学学报*, 2005, 25(10):1307-1312
- [12] LI Zhong-gui, QIU Kun. Study on wavelength converter based on XPM in optical fiber [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003,**32**(6)714-717
- [13] KELLY A E, PHILLIPS I D, MANNING R J, *et al.* 80 Gbit/s all optical regenerative wavelength conversion using semiconductor optical amplifier based interferometer [J]. *Electronics Letters*, 1999, **35**(17):1477-1478.
- [14] LEUTHOLD J, RYF R, PATEL S S, *et al.* Nonblocking all-optical cross connect based on regenerative all-optical wavelength converter in a transparent demonstration over 42 nodes and 16 800 km [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2003,**21**(11):2863-2870
- [15] WANG Tong, LOU Cai-yun, LI Zhihong, *et al.* A novel technology to reduce the pattern effect in all-optical clock recovery using injection mode-locked laser based on SOA [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002,**31**(12)173-177
王桐,李智红,娄采云,等. 一种减少基于 SOA 的全光时钟提取码型效应的新方法. *光子学报*, 2002, **31**(12)173-177

Experiment of 40 GHz All-Optical Clock Recovery by Using Ultrafast Nonlinear Interferometer in Mode-locked Laser

WANG Yao-tian, YU Jin-long, LI Ya-nan, WANG Zhuo-ran, LV Jie, YANG En-ze

(*Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science, College of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

Received date: 2006-05-18

Abstract: Ultrafast nonlinear interferometer (UNI) is with the high optical switching speed of over 40 Gbit/s. A novel all-optical clock recovery scheme of extracting the clock pulses from the optical signal is proposed by using the UNI in injection mode-locked fiber laser. In experiment, 40 GHz clock pulses was recovered from 40 Gbit/s pseudo-random bite code series. Compared with the clock recovery method using SOA XGM in the mode-locked laser, the injection power of this scheme is only 0.5 dBm, falling by 7 dB, and the SOA works more safely.

Key words: Optical fiber communication technique; 40 GHz clock recovery; All-optical 3R; Ultrafast nonlinear interferometer; Semiconductor optical amplifier; Cross phased modulation.



WANG Yao-tian was born in Tianjin, in July, 1977. He received the Bachelor's degree from Tianjin University in 2000 and the Master's degree from Beijing University of Aeronautics & Astronautics in 2004. Now he is studying for the doctoral degree in optical-communication engineering at Tianjin University. He is engaged in research of optical fiber communication system.