

文章编号: 0253-2239(2005)01-27-3

10 Gb/s 全光 3R 再生的研究*

娄采云 王 桐 霍 力 高以智 章恩耀

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要: 报道了对 10 Gb/s 恶化数据信号的全光 3R(再放大、再定时、再整形)再生的实验研究。针对利用基于半导体光放大器的注入锁模环形激光器进行时钟恢复时的码型效应问题,提出了利用梳状滤波器对信号进行预处理。利用这个技术极大的减小了由于码型效应造成的时钟信号的幅度和时间抖动,从恶化的数据信号中恢复出无码型效应的高质量光时钟脉冲。信号整形的关键是光判决门,性能良好的判决门可以进一步提高信号的消光比、减小抖动。研究了基于电吸收调制器的信号再整形。利用上述器件构成的 3R 再生器,实现了 10 Gb/s 恶化信号的全光 3R 再生。

关键词: 光纤通信技术; 全光 3R 再生; 时钟恢复; 码型效应; 梳状滤波器

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

Research on 10 Gb/s All-Optical 3R Regeneration

Lou Caiyun Wang Tong Huo Li Gao Yizhi Zhang Enyao

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: Experimental studies on 10 Gb/s 3R degraded data regeneration were reported. A method of preprocessing the data signals using comb-like filter was proposed in order to overcome the pattern effect in the clock recovery using injection mode-locked ring laser based on semiconductor optical amplifier (SOA). The amplitude fluctuation and timing jitter caused by the pattern effect in clock pulses were greatly reduced. Furthermore, it was also demonstrated that clock could be recovered from the badly degraded signals. The recovered optical clock from degraded signals is shown to be free of pattern. The core of optical reshaping is a decision gate featuring signal extinction ratio enhancement and noise reduction. The reshaping based on an electroabsorption modulator was also studied. With this technology all-optical 3R regeneration was achieved from 10Gb/s degraded data.

Key words: optical fiber communication technology; all-optical 3R regeneration; clock recovery; pattern effect; comb-like filter

1 引 言

新一代的光纤通信网将是全光通信网络,由于光网络中累积的掺铒光纤放大器(EDFA)噪声,光纤的非线性、群速度色散、偏振模色散、各类串音及上下路装置等的性能不完善都使光信号的消光比和信噪比下降,波形畸变,时间抖动增加,从而导致光通信的误码率增加。对于动态路由的光网,由于每个信道的传输路程不固定,难以采用点对点光通信系统中行之有效的补偿方法。全光 3R 再生被认为是解决长途高质量传输的最终方案^[1]。所谓 3R 再生是指再放大(Re-amplification)、再整形(Re-

shaping)和再定时(Re-timing)。光纤放大器使衰减了的光数据信号重新增强。光时钟提取单元从输入光信号中提取出抖动很小,信噪比很高并具有理想波形的位时钟光脉冲。光数据信号控制光判决门的开与关,使通过它的时钟光脉冲受到数据信号的调制,从而输出再整形和再定时的再生光数据信号^[2]。由于半导体光放大器(SOA)的载流子寿命达数百皮秒,基于半导体光放大器的时钟恢复具有严重的码型效应,要恢复出优质的时钟脉冲,必须克服码型效应。通过向半导体光放大器中注入一较大功率的连续光来消耗半导体光放大器中的载流子,

* 国家自然科学基金(60177019)和国家 863 计划(2001AA122042)资助课题。

作者简介: 娄采云(1946~),女,天津人,主要从事高速光电子学及光通信关键技术研究。E-mail: loucy@ee. tsinghua. edu. cn

收稿日期:2003-09-10;收到修改稿日期:2004-04-09

减少半导体光放大器载流子的恢复时间,可以减少码型效应的影响^[3]。把提取的时钟脉冲通过另外一个半导体光放大器,利用半导体光放大器的饱和放大作用也可使脉冲的幅度均衡^[4]。本文提出了利用法布里-珀罗梳状滤波器对信号进行预处理以减小码型效应的方法^[5,6]。运用这一方法,利用商用半导体光放大器构成的注入锁模光纤环形激光器,从恶化的数据信号中恢复出无码型效应的光时钟,并以电吸收调制器为判决门,实现了 10 Gb/s 恶化信号的全光三再生。

2 全光三再生器装置

图 1 为全光 3R 再生器装置示意图。它由光时钟恢复和光判决门两部分组成。恶化的数据信号分成两部分,分别输入到时钟恢复单元(基于半导体光放大器的注入锁模光纤激光器)和光判决门。注入锁模光纤激光器从波长为 λ_s 的数据信号中恢复出波长为 λ_c 的时钟脉冲。在判决门中,借助数据信号对时钟脉冲进行调制,实现数据信号的再生。

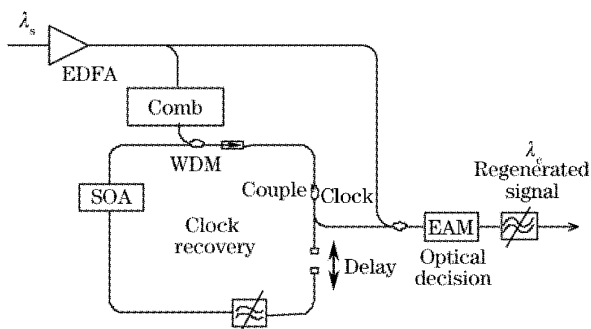


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

2.1 全光光时钟恢复

3R 再生的关键是从恶化的数据信号中恢复出抖动小、消光比高并且波形良好的时钟。图 1 中的光时钟恢复功能是由半导体光放大器、可调谐光滤波器、隔离器、波分复用耦合器以及光延迟线组成的注入锁模环形激光器完成。波长为 λ_s 的数据信号经耦合器入射至环形腔中的半导体光放大器,在被放大的同时,消耗了半导体光放大器的载流子,调制了半导体光放大器的增益,并影响半导体光放大器的折射率,从而使环内波长为 λ_c 的光每次通过半导体光放大器时,其光强和相位都被调制,称之为交叉增益调制(XGM)和交叉相位调制(XPM)。利用腔内光延时线来调节环长,使环形腔的基频为注入信号速率的整数分之一,从而实现注入锁模。可调谐

光滤波器使得恢复的时钟光脉冲具有所需要的波长 λ_c ,恢复的光时钟由 10:90 的耦合器输出。由于注入的数据信号中“0”码与“1”码的随机分布,而半导体光放大器载流子的恢复时间为 200 ps 或更长,所以半导体光放大器的增益和折射率与在此之前通过的数据信号是“0”还是“1”码有关,恢复的时钟脉冲有着与注入数据码型历史有关的幅度起伏和时间抖动,被称之为码型效应。为了减少由于码型效应引起的光时钟脉冲的幅度和时间抖动,利用镜面间隔由压电陶瓷控制的法布里-珀罗梳状滤波器对信号进行预处理。调节滤波器的两个反射镜之间的间距可改变其自由谱区,使之与数据脉冲的码率相同。这种预处理技术的原理是: N Gb/s(N 整数)的归零码数据信号,在光谱上除了有间隔为 N GHz 的频率分量以外,还有其它的频率分量。这样的信号通过一个自由谱区为 N GHz 的梳状滤波器整形后,除了间隔为 N GHz 的频率分量外,其余的频率分量被抑制。从时域上来看,数据信号通过梳状滤波器后在“0”码处插入了光脉冲,从而减少了码型效应。由于基于半导体光放大器的注入锁模环形激光器环长较短,梳状滤波器结构稳定,10Gb/s 数据信号的时钟恢复单元稳定性好。

2.2 光判决门

光判决门担当对数据信号再整形作用。与半导体光放大器相比,电光吸收调制器(EAM)的吸收恢复时间取决于载流子被扫出异质结的时间,一般在几到几十皮秒,比半导体光放大器的载流子恢复时间小一个数量级,因此其工作速率的潜力比半导体光放大器也要高出一个数量级。图 1 的装置中选用电光吸收调制器作光判决门,光数据信号与光时钟信号同时通过电光吸收调制器,由于电光吸收调制器的交叉饱和吸收效应,使之成为“与”开关门。与门开关输出波长为 λ_c 的再生信号。由于电光吸收调制器的扫出时间仅为几十皮秒,光判决门引入的码型效应极其微弱。利用电光吸收调制器作判决门的关键问题是提高其消光比,提高数据信号的注入功率可以增加消光比,提高再生质量。因此应该在电光吸收调制器的增透膜不受到光损伤的前提下尽量提高注入功率。实验中发现,随注入电光吸收调制器的数据信号功率的增加,经过判决门所得再生信号的眼图变清晰。

3 实验结果及讨论

图 2(a)为输入的恶化数据信号的眼图,眼图的

睁开度小,抖动大。图 2(b)为未加预处理装置时从 10 Gb/s 数据信号中恢复的时钟光脉冲波形,其幅度和时间抖动都很大。这样的时钟信号再通过由数据信号控制的判决门,输出数据信号的质量不会改善,甚至还会出现不如图 2(a)的情况。因此,改善时钟光脉冲的质量是十分重要的。插入法布里-珀罗梳状滤波器进行预处理,利用压电陶瓷调节滤波器的自由谱区,使其等于数据信号的码率。图 2(a)所示的数据信号经梳状滤波器预处理后所得信号的波形如图 3(a)所示。由图可见,该信号已经不再存在零

码。将处理后的信号注入时钟恢复单元,得到的时钟信号如图 3(b)所示,图中的水平线为示波器的零点,可见,时钟脉冲的消光比很高,与图 2(b)相比,码型效应导致的幅度抖动和时间抖动大大减小。恢复的时钟脉冲与恶化的数据信号一起注入电光吸收调制器光判决门进行再整形,再生的光信号的眼图如图 3(c)所示。对比图 3(c)与图 2(a),可以看出信号的眼图的睁开度变好,时间和幅度抖动都减小。由此可见,所研制的全光 3R 再生器可以将恶化的数据信号再生。

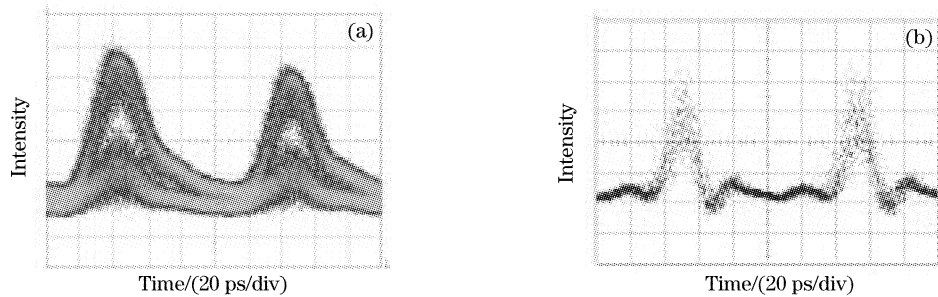


图 2 示波器波形(a)恶化信号(b)无滤波器时恢复的时钟脉冲

Fig. 2 Oscilloscope wave observed (a) the degraded signal (b) the recovered clock pulses without Fabry-Perot filter

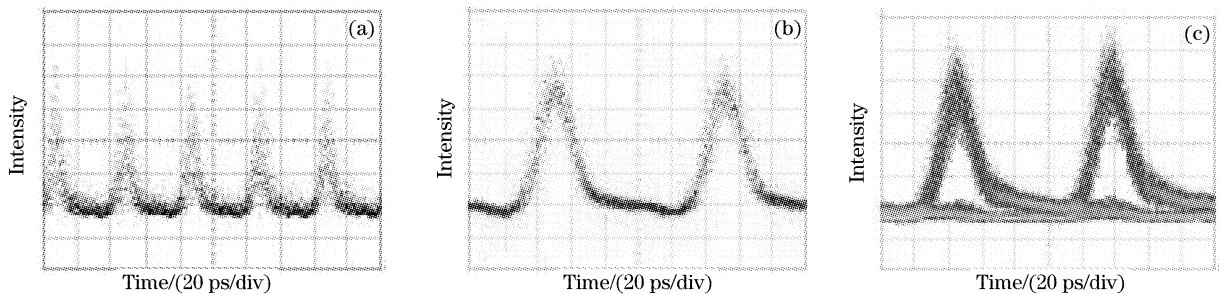


图 3 有梳状滤波器的示波器波形(a)数据脉冲(b)恢复的时钟脉冲(c)再生后的数据信号

Fig. 3 Oscilloscope wave after passing comb filter (a) The data pulses (b) the recovered clock pulses (c) the eye diagram of regenerated signal

4 结 论

利用梳状滤波器对数据信号进行预处理,克服了基于半导体光放大器的时钟恢复装置的码型效应。在此基础上利用商用的半导体光放大器构成的注入锁模光纤激光器进行光时钟恢复;并利用电吸收调制器作判决门,成功地实现了 10 Gb/s 恶化信号的全光 3R 再生。

参 考 文 献

- 1 Sartorius B. 3R all-optical signal regeneration[C]. *ECOC '2000*, Sept. 3~7, 2000, Munich, Germany, Vol. 3: 293~296
- 2 Olivier Lecterc. Optical 3R regeneration for 40 Gb/s line-rates and beyond[C]. *OFC '2002*, TuN1, 79~80
- 3 Keang-Po Ho, Shien-kuei Liaw, Clinlon Lin. Reduction of semiconductor laser amplifier induced distortion and crosstalk for WDM systems using light injection[J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(21): 2210~2211
- 4 Vlachos K, Theophilopoulos G, Avramopoulos H *et al.*. 30 Gb/s all-optical clock recovery circuit[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(6): 705~707
- 5 Wang T, Li Z H, Lou C Y *et al.*. Comb-like filter preprocessing to reduce the pattern effect in the clock recovery based on SOA [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(6): 855~857
- 6 Wang T, Li Z H, Lou C Y *et al.*. Novel approach to reduce the pattern effect in 10 Gb/s clock recovery[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(2): 69~71