

# 全光时钟提取中利用 SOA 抑制低频噪音的实验研究\*

张艳冬,于晋龙,王耀天,朱利凯,王文睿,李亚男,杨恩泽

(天津大学 电子信息工程学院 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:**针对基于高精度 F-P 滤波器的 40 Gbps 全光时钟提取得到的时钟中所含有的低频率噪音,提出了利用半导体光放大器对其进行抑制的方案.理论上,利用 SOA 的传输函数对其低频抑制作用进行了分析,并通过实验予以验证.在实验中,利用该方案得到了较高质量的 40 GHz 时钟,均方根抖动 < 1.4 ps.

**关键词:**全光时钟提取;噪音抑制;SOA;自增益调制

**中图分类号:** TN929.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2007)02-0267-3

## 0 引言

在高速率、大容量、长距离光通信系统中,全光 3R 再生是克服超长距离传输中光信号恶化的一种有效方法.全光时钟提取是其中的一项关键技术,也是摆脱传统的光-电-光处理方式,真正实现全光信号处理系统的核心部分.在已报道的几种全光时钟提取的方案中<sup>[1-8]</sup>,利用无源器件 F-P 滤波器进行时钟提取的方案具有不受码率限制的优点<sup>[9-10]</sup>,且易于实现,但现有的此种方案中所用的 F-P 滤波器的精细度都比较低,导致时钟质量不高.

通过提高 F-P 滤波器的精细度可以降低输入信号的噪音,采用精细度为 1012 的高精度 F-P 滤波器完成了码率为 40 Gbit/s 的全光时钟信号的提取. F-P 滤波器的透射峰带宽很窄(3 dB 带宽为 40 MHz),高频噪音被滤除,但是仍有低频噪音成分透过 F-P 滤波器,引起时钟信号的抖动,这影响了时钟质量,不利于信号再生,需要利用高通滤波器予以处理.通过对 SOA 的研究,当 SOA 增益饱和时,其非线性作用变得更加明显,能减少光信号的幅度起伏.本文中,使用商用 SOA 来抑制上述所提到的时钟中的低频噪音.通过实验,优化得到的时钟近似正弦形状,均方根抖动值 < 1.4 ps.

## 1 理论分析

直流光或脉冲光进入 SOA,引起其中的载流子浓度变化,使幅度较小的脉冲有较大的增益,而大幅度的脉冲增益较小,起到抑制脉冲幅度起伏的作用,这就是 SOA 的自增益调制效应.

根据 SOA 的动态特性,得到其传输函数的频

域表示式为<sup>[11]</sup>

$$X(\omega) = G_{CW} \frac{1 + b - i\omega\tau_c}{1 + G_{CW}b - i\omega\tau_c} \quad (1)$$

式中  $b = \ln(G_0/G_{CW}) / (G_{CW} - 1)$ ,  $\omega$  为调制信号角频率,  $G_0$  为小信号增益,  $\tau_c$  为载流子寿命,  $G_{CW}$  为直流光增益,由下面的方程计算得到

$$G_{CW} = G_0 \exp[-(G_{CW} - 1)P_{in}/P_s] \quad (2)$$

式中  $P_{in}$  为注入光功率,  $P_s$  为 SOA 的饱和输出功率.

下面分析幅度调制的信号经过 SOA 后,调制深度的变化.信号光通过 SOA,输出信号的调制深度  $m_{out}$  表示为

$$m_{out} = m_{in} |X(\omega)| / G_{CW} \quad (3)$$

式中  $m_{in}$  为输入信号的调制深度,  $m_{out}$  为输出信号的调制深度,用示波器测得信号的信号平均功率  $P_0$  和功率峰-峰值  $\Delta P$  后,信号调制深度  $m$  由式(4)计算得到

$$m = \frac{\Delta P / 2}{P_0} \quad (4)$$

根据式(1)、(3),输出信号的调制深度与输入信号调制深度的比值为

$$m(\omega) = \frac{m_{out}}{m_{in}} = \left| \frac{1 + b - i\omega\tau_c}{1 + G_{CW}b - i\omega\tau_c} \right| \quad (5)$$

式(5)是与频率有关的函数.由于受到载流子恢复时间的限制,  $\omega$  较高时,  $m$  基本没有变化,但当  $\omega$  较小时,  $m$  变小.可见,高频成分的频率响应大于低频,使得低频被抑制,因而实现了高通滤波器的功能.随着注入光功率增大,  $G_{CW}$  变小,  $m(\omega)$  对低频率的响应随之变小.

当调制深度抑制为 3 dB,即  $m(\omega) = 1/2$  时的频率为

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau_c} \sqrt{(G_{CW}^2 b^2 + 2G_{CW}b - 4b^2 - 8b - 3)/3} \quad (6)$$

根据实验中所使用的参量,当 SOA 工作电流为 200 mA 时,  $G_0 = 16.8$  dB,  $P_s = 6.5$  dBm,对应  $P_{in} = 2$  dBm,取  $\tau_c = 0.15$  ns,由式(2)、(6),计算得

\*国家 863 项目“码率灵活的全光 3R 再生技术的研究”(2001AA3122)和 华为合作项目“全光 3R 再生技术”资助  
Tel: 022-27404143 Email: yd\_zhang@163.com  
收稿日期: 2005-10-26

到  $f_c = 0.19$  GHz, 可见, SOA 对百兆量级以下的低频噪音有较好的抑制效果.

## 2 实验方案及分析

### 2.1 SOA 对调制深度 $m(\omega)$ 影响

研究 SOA 对调制深度  $m(\omega)$  影响的实验原理框图如图 1. 信号源产生的正弦信号对激光器发出

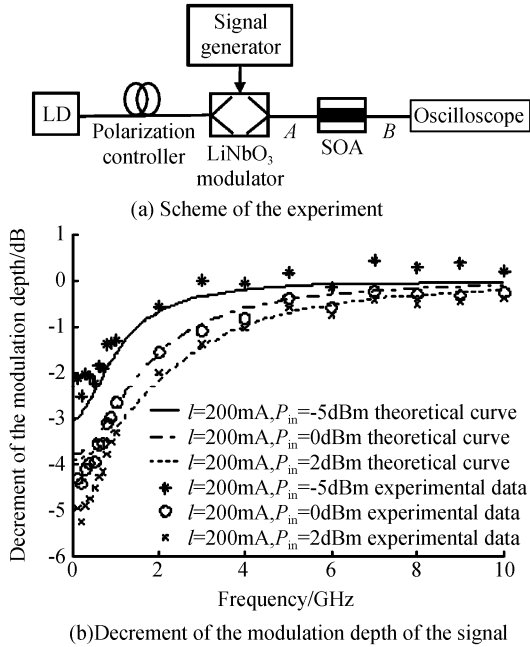


图 1 SOA 对调制深度影响的测定实验  
Fig. 1 Measurement of SOA affecting the modulation depth of the signal

的 1 546 nm 的连续光调幅, 随后注入到 SOA, SOA 的参量如上所述.

SOA 前后 A、B 两点的调制深度的变化如图 1 (b), 实验值与理论曲线能较好地吻合. 当 SOA 工作电流与注入信号光功率  $P_{in}$  一定时, 随着信号频率的增大, A、B 两点的调制深度的变化减小, 从而证明, 信号中的低频噪音被较好地抑制; 当 SOA 的工作电流一定时, 随着注入信号光功率  $P_{in}$  的增加, SOA 对信号中的低频噪音地抑制效果越明显.

### 2.2 利用 SOA 抑制全光时钟中的低频噪音

图 2 为利用 SOA 抑制 F-P 滤波器提取出的时钟中的低频噪音的实验框图与所得到的实验结果. 由 RZ 码构成的 40 Gbit/s 信号光, 其光谱中含有与信号码率对应的时钟频率分量. 当信号光载频与 F-P 滤波器的一个透射峰对准, 且信号码率  $f_s$  与 F-P 滤波器的自由光谱区 FSR 相等时, 便能滤出时钟信号. 为了减少时钟信号中的噪音, 希望 F-P 滤波器的透射峰带宽尽量窄, 也即 F-P 滤波器有较高的精细度, 但同时也引入了另一个问题, 由于 F-P 滤波器的透射峰带宽较窄, 为保证信号光的载频与 F-P 滤波器的一个透射峰对准, 载频一定要稳定, 因此, 首先对恶化信号进行波长变换, 将其所携带的信息, 转移到一高稳载频上, 进而得到了较高质量的时钟. 将此时钟信号注入 SOA, 利用其非线性作用减少时钟信号的幅度起伏.

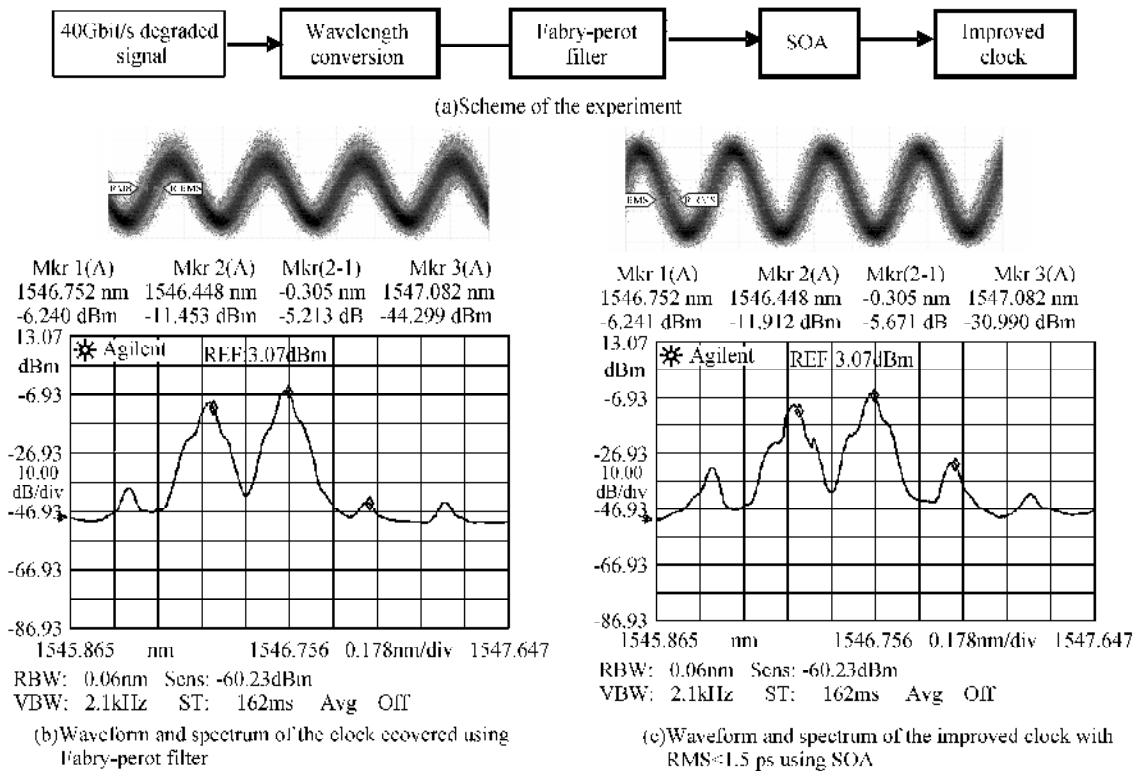


图 2 利用 SOA 抑制时钟信号噪音  
Fig. 2 Suppression of the noise of the recovered clock using SOA

由精细度为 1012 的 F-P 滤波器提取出的 40 GHz 时钟的均方根抖动为 2 ps 左右,其波形与光谱如图 2(b). 注入到 SOA 的时钟功率  $P_{in}$  为 1 dBm,经 SOA 后,时钟的均方根抖动  $< 1.4$  ps(抖动值由示波器测得,其型号为 Agilent 86100A,由于所用示波器无精密时基,其固有抖动为 1 ps),并且时钟的波形也得到了一定程度地改善,如图 2(c).

### 3 结论

本文根据 SOA 的传输函数,计算得到 SOA 对信号调制深度的影响,并通过实验给予了验证. 并将这一结论用于抑制 F-P 滤波器提取出的时钟中的低频噪音,并使时钟信号质量得到了较明显的改善.

#### 参考文献

- [1] LI Y N, YU J L, DAI J F, *et al.* Experimental investigation of stabilizing all-optical clock recovery in  $4 \times 10$  Gbps OTDM system based on the injection mode-locked fiber ring laser[C]. *Asia-Pacific Optical Communications Conference and Exhibition*, APOC'2004, **5625**:515-518.
- [2] YIN Li-na, LIU Guo-ming, CAO Zhuo, *et al.* All optical bit and frame clock recovery from equal-amplitude even-multiplexed OTDM signals[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(6):895-898.  
尹丽娜,刘国明,曹灼,等. 等幅均匀复用 OTDM 信号的单路和群路时钟提取[J]. 光子学报, 2005, **34**(6):895-898.
- [3] YIN Li-na, CAO Zhuo, LIU Guo-ming, *et al.* All-optical clock recovery from unequal-amplitude multiplexed OTDM signals [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(4):569-57.  
尹丽娜,曹灼,刘国明,等. 非等幅均匀复用 OTDM 信号的单路和群路时钟提取[J]. 光子学报, 2005, **34**(4):569-572.
- [4] WANG An-bin, WU Jian, LIN Jin-tong. High speed clock recovery based on EA modulator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(10):1189-1191.  
王安斌,伍剑,林金桐. 基于电吸收调制器的高速时钟信号的提取[J]. 光子学报, 2003, **32**(10):1189-1191.
- [5] VLACHOS K, THEOPHILOPOULOS G, HATZIEFREEMIDIS A, *et al.* 30 Gbit/s all-2 optical clock recovery circuit[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2000, **12**(6):705-707.
- [6] MAO W, LI Y, AL-MUMIN M, *et al.* 40Gbit/s all-optical clock recovery using two-section gain-coupled DFB laser and semiconductor optical amplifier[J]. *Electronics Letters*, 2001, **37**(21):1302-1303.
- [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] YAMAMOTO T, OXENLOWE L K, SCHMIDT C, *et al.* Clock recovery from 160 Gbit/s data signals using phase-locked loop with interferometric optical switch based on semiconductor optical amplifier[J]. *Electronics Letters*, 2001, **37**(8):509-510.
- [9] GIAMPIERO C, ANTONIO D, MARCO P, *et al.* 40 GHz all-optical clock extraction using a semiconductor-assisted Fabry-Pérot filter[J]. *Photonics Technology Letters*, 2004, **16**(11):2523-2524.
- [10] MASAHIKO J, TAKAO M. Optical tank circuits used for all-optical timing recovery [J]. *Quantum Electronics*, 1992, **28**(4):895-900.
- [11] KENJI S, HIROMU T. Reduction of mode partition noise by using semiconductor optical amplifiers [J]. *Quantum Electronic*, 2001, **7**(2):328-332.

## The Investigation of Suppressing the Low-frequency Noise in All-optical Clock Recovery Using SOA

ZHANG Yan-dong, YU Jing-long, WANG Yao-tian, ZHU Li-kai,  
WANG WEN-rui, Li YAN-an, YANG En-ze

(Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science, Ministry of Education,  
School of Electronics & Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 30007, China)

Received date: 2005-10-26

**Abstract:** Utilizing SOA, a novel scheme was demonstrated for suppressing the low-frequency noise existing in the 40 Gbps all-optical clock recovered by using high finesse Fabry-Perot filter. The transmission function of SOA was analyzed theoretically and the suppressing effect was proved experimentally. A high quality 40 GHz clock with RMS jitter less than 1.4 ps was obtained.

**Key words:** All-optical clock recovery; Noise suppression; Semiconductor optical amplifier(SOA); Self-gain modulations



**ZHANG Yan-dong:** was born in November, 1980, and in Hebei. Currently, he is pursuing for his M. S. degree at School of Electronic & Engineering School, Tianjin University and mainly working on optical fiber communication and all-optical 3R.