

基于 SOA 光纤环镜的 NRZ 信号时钟分量的提取*

洪 伟 蔡飞碧 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 武汉 430074)

摘要: 采用 SOA (semiconductor optical amplifier) 光纤环镜将 2.5Gbit/s 的 NRZ (non-return-to-zero) 信号转换为相应的 PRZ (pseudo-return-to-zero) 信号, 实现了 NRZ 信号时钟分量的提取. 并分析了 SOA 注入电流、环境探测光光功率等系统参数的选取对转换输出的 PRZ 信号的光信噪比、消光比及环镜透过率的影响.

关键词: SOA (semiconductor optical amplifier); SOA 光纤环镜; 时钟分量提取; NRZ (non-return-to-zero); PRZ (pseudo-return-to-zero)

PACC: 4230Q; 4280S; 4265; 4265P

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2004)02-0190-05

1 引言

全光时钟提取是实现全光 3R 再生的关键技术之一, 采用锁模激光器^[1]和光锁相环^[2]只能实现 RZ (return-to-zero) 信号的光时钟提取, 而对于目前广泛使用的 NRZ (non-return-to-zero) 信号, 由于其自身不含时钟分量, 不能直接提取光时钟, 必须先将 NRZ 信号转换为包含其时钟分量的 PRZ (pseudo-return-to-zero) 或 RZ 信号.

采用 SOA (semiconductor optical amplifier) 加 OBF (optical band-pass filter)^[3], 光纤 Mach-Zehnder 干涉仪^[4]以及基于保偏光纤的干涉仪^[5]均可以实现 NRZ 信号时钟分量的提取. 目前基于 SOA 的干涉仪型装置在全光信号处理领域受到了广泛的重视^[6], 利用 SOA 的非线性效应, 可能实现在一个器件上多种全光信号处理功能的集成. 文献[7]首次利用 SOA 光纤环镜将 NRZ 码转换为 PRZ 码, 并以此 PRZ 码注入锁模光纤激光器, 成功地提取了光时钟. 我们采用 SOA 光纤环镜^[8](基于 SOA 的非线性光纤环镜, 或称 Sagnac 干涉仪), 利用 SOA 的 CPM (cross phase modulation) 效应, 将 2.5Gbit/s 的 NRZ 信号转换为包含其时钟分量的 PRZ 信号, 并

对转换输出信号的光信噪比(optical signal-to-noise ratio, OSNR)、消光比(extinction ratio, ER)及环镜透过率进行了测试.

2 实验装置及工作原理

实验装置如图 1 所示. 环镜由分立器件构成, 其中 SOA 为体材料斜腔结构, 最大注入电流为 250mA, 峰值增益为 20dB, 增益峰值波长位于 1535~1560nm 之间, 3dB 带宽 45nm. 环中还串接了光延时线(optical delay line, ODL), 用于调整 SOA 在环中的位置; 3dB 耦合器 2, 用于泵浦光的注入; 以及两个偏振控制器(polarization controller, PC), 用于调节环的偏置. 2.5G SDH 分析仪 (Anritsu MP1570A) 输出的 NRZ 码光信号经 EDFA (Erdoped fiber amplifier) 放大并滤波后, 作为泵浦光通过 3dB 耦合器 2 注入 SOA, 其波长 λ_1 为 1545.30nm, A 点处光功率为 2.8dBm. EXFO FLS2600B 可调谐激光光源的输出作为环镜的探测光, 其波长 λ_2 的调谐范围为 1510~1610nm. 输出光功率的实际调节范围为 -13.6~-3.6dBm. 在 D 点处采用 Agilent 86140B 光谱分析仪观察环镜的输出光谱, 其中还包含泵浦光的成分. 环镜的输出经

* 国家重点基础研究发展规划资助项目(No. G2000036605)

洪 伟 女, 博士研究生, 从事全光通信网络及关键光电子器件的研究.

2003-02-22 收到, 2003-05-30 定稿

EDFA 放大并滤出波长为 λ_2 的成分后, 在 E 点处采用 Tektronix CSA8000 通信信号分析仪观察光信号的波形.

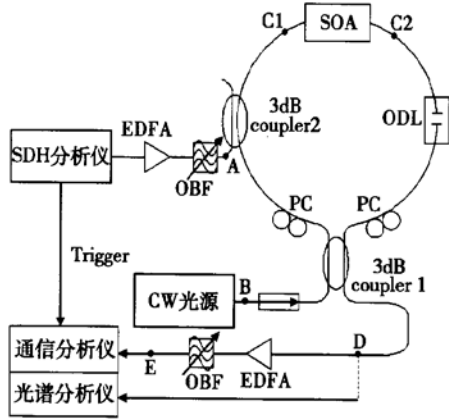


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

由于 SOA 的增益饱和效应, 作为泵浦光 (λ_1) 的高功率 NRZ 信号将引起 SOA 增益和折射率的动态变化, CW (continuous wave) 探测光 (λ_2) 从环镜的输入端口输入后首先被 3dB 耦合器 1 分为顺时针方向和逆时针方向传播的两路, 由于 SOA 的位置偏离环的中点, 这两路光将经历不同的增益和位相变化, 当它们绕环一周后在 3dB 耦合器 1 处相遇时, 将产生如下的干涉输出^[7]:

$$P_{out}(t) = \frac{1}{4} G_{cw}(t - t_d) P_{in}(t - t_d) \times \left\{ 1 + \frac{G_{ccw}}{G_{cw}} - 2 \sqrt{\frac{G_{ccw}}{G_{cw}}} \cos(\phi_{cw} - \phi_{ccw}) \right\} \quad (1)$$

其中 t_d 为探测光绕环一周所需的时间; $G_{cw}(\varphi_w)$ 和 $G_{ccw}(\varphi_{cw})$ 分别表示沿顺时针和沿逆时针方向传播的探测光分支所经历的增益 (位相). 增益和位相之间通过 SOA 的线宽加强因子 α 相联系, $\phi_w - \phi_{ccw} = -\frac{\alpha}{2} \ln\left(\frac{G_{cw}}{G_{ccw}}\right)$. (1) 式表明当 φ_w 和 φ_{ccw} 相等时环镜的输出为零; 否则环镜有输出, 且当 φ_w 与 φ_{ccw} 差 π 时, 环镜输出达到最大.

如果泵浦光为如图 2(a) 所示的 NRZ 信号码流, 码元周期为 T ; 沿顺时针和逆时针方向传播的探测光分支到达 SOA 的延时差为 τ , 它们经历的增益和位相分别如图 2(b) 和 (c) 所示 (其中实线对应顺时针分支, 虚线对应逆时针分支). 只要满足 $0 \leq \tau < T$, 环镜将产生如图 2(d) 所示 RZ 格式的码流输出, 其中的脉冲分别与原 NRZ 信号的上升沿和下降沿

相对应. NRZ 信号的上升沿引起 SOA 增益的饱和, 而在下降沿到来时 SOA 的增益将向稳态值恢复, 由于 SOA 偏离环的中心, 顺时针和逆时针方向传播的探测光分支经历的增益和位相变化存在延时 τ , 因而在原 NRZ 信号的上升沿和下降沿均有增益和位相差产生, 由 (1) 式知环镜有输出; 而且由于顺时针和逆时针方向的增益和位相曲线存在交叉点, 这时对应环镜输出为零, 因而环镜的输出具有明显的 RZ 格式. 它所携带的数据虽然与原 NRZ 码流所携带的数据不同, 但是却具有与后者相同的时钟分量, 故称为 PRZ 信号.

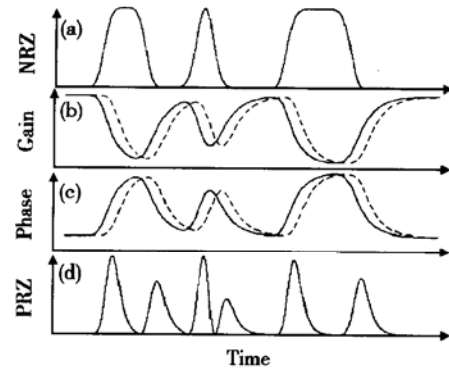


图 2 工作原理示意图 (b)、(c) 中实线对应顺时针分支, 虚线对应逆时针分支

Fig. 2 Schematic diagram of operation principle In (b) and (c), clockwise component: solid line, counter-clockwise component: dash line

3 实验及测试结果

3.1 实验结果及分析

当 SOA 注入电流为 230mA, CW 探测光的波长为 1550nm, B 点光功率为 -3.6dBm 时, 测得滤波器后 E 点的光信号波形如图 3(b) 所示. 图 3(a) 为注入的原 NRZ 信号的波形. 我们设定 SDH 分析仪的输出 NRZ 信号为 word16 循环格式, 编码为 1000, 1100, 1110, 1111.

图 3 表明, 在与原 NRZ 信号上升沿和下降沿对应的时间位置环镜均有脉冲输出, 上升沿对应的脉冲幅度较大, 下降沿对应的脉冲幅度较小. 因为在 NRZ 信号的上升沿, SOA 的增益迅速下降, 使得探测光顺时针和逆时针分支所经历的增益 (位相) 之差较大, 因而产生较大的脉冲输出. 而在 NRZ 信号下降沿, 由于 SOA 的增益恢复过程相对缓慢, 产生脉

冲幅度也较小, 上升沿对应的脉冲之间, 幅度也存在差别, 如果连“0”较少, SOA 的增益来不及恢复到稳态值下一上升沿就已到达, 该上升沿引起的增益变化将小于增益恢复到稳态值后的情况. 总之每个 NRZ 信号的上升沿对应的环境输出脉冲的幅度大小将取决于该上升沿在码流中的位置, 称为“码型效应”. 要减小“码型效应”的影响, 除了选用载流子寿命较短的 SOA, 或增加注入电流外, 还可以采用适当增加进入 SOA 的探测光功率的方法. 实验中由于环境中各种损耗因素的存在, 如光隔离器、光纤连接器、光延时器以及 3dB 耦合器 2 的损耗, 使得实际到达 SOA 两端的探测光的入纤功率只有大约 -13.6dBm. 如果更合理地构建这一系统降低所有

不必要的损耗或进一步增加探测光的入射功率补偿这些损耗, 使得进入 SOA 的探测光功率有适当增加, 就可以减小 SOA 的有效载流子寿命, 从而减小码型效应的影响. 同时由于增益的恢复速率增加, 下降沿与上升沿对应的环境输出脉冲的幅度之差减小, 环境的输出将得到优化. 但是增加进入 SOA 的探测光功率是有代价的, 如果探测光功率过高, 由于探测光引起的增益饱和, SOA 能提供的增益和增益变化将减小, 环境输出脉冲幅度的整体水平可能下降. 值得注意的是, 我们并不要求转换所得的 PRZ 信号中所有脉冲都有同样的幅度, 而是要求它清楚地包含原 NRZ 信号的时钟分量, 为后续的时钟恢复做准备.

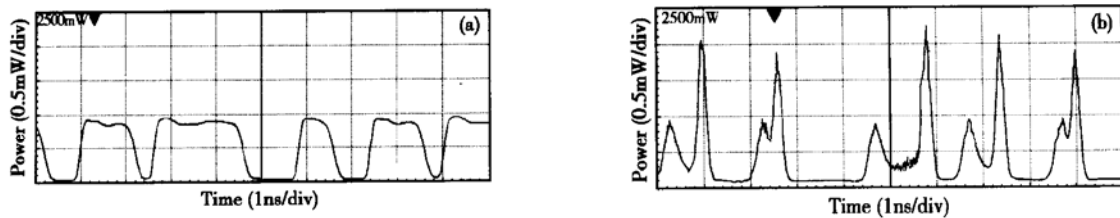


图 3 原 NRZ 信号波形(a)和 E 点处测得的环境输出 PRZ 信号波形

Fig. 3 Waveform of the original NRZ signal (a) and the loop output PRZ signal (b) at E

图 3(b) 还显示: 原 NRZ 信号连“1”处, 对应的环境输出噪声较小, 而原 NRZ 信号连“0”处, 环境的输出噪声增加. 环境输出噪声的这种动态变化来源于 SOA 及环境输出端 EDFA 的 ASE (amplified spontaneous emission) 噪声水平随泵浦光功率的动态变化. 原 NRZ 信号只有一个连“0”的地方前一下降沿和后一上升沿对应的环境输出脉冲之间出现重叠, 这在很大程度上是由于为了消除原 NRZ 信号上升沿的过冲对输出结果的影响, 启用了 CSA 8000 中的 2.5GHz 滤波器的缘故.

另外, 原来波长为 λ_1 的 NRZ 信号通过 SOA 光纤环境转换为波长为 λ_2 的 PRZ 信号, 而且由于 SOA 增益带宽比较宽, 在较大的波长范围内都可以实现类似的转换.

3.2 测试结果及分析

对这一全光 NRZ 码时钟分量提取系统进行测试的目的, 是确定一些参数的选取对系统工作状态的影响. 我们把输出 PRZ 信号的光信噪比 (OSNR)、消光比 (ER) 以及环境的透过率作为表征系统工作状态的主要参数, 对于一定的泵浦光功率

水平, 测试了在不同 SOA 注入电流 (环境探测光功率固定在 -3.6dBm) 和环境探测光功率 (SOA 注入电流固定在 230mA) 下这些参数的变化, 分别如图 5 ~ 7 所示.

图 4 所示为探测光功率 -3.6dBm, SOA 电流 230mA 时在 D 点测得的环境的输出光谱. 采用 Agilent 86140B 光谱分析仪在 D 点可以直接测量环境输出 PRZ 信号的 OSNR, 它直接表明了 SOA 的 ASE 噪声对环境输出的影响, 测试结果如图 5 所示. 图中 OSNR 的单位 dB/0.1nm 表示噪声的分辨带宽是 0.1nm.

SOA 电流增加时, 由于泵浦光和探测光引起的增益饱和, ASE 噪声的增加受到抑制, 与此同时随着 SOA 小信号增益的增加并渐趋饱和, 环境探测光顺时针和逆时针分支经历的增益和位相差以同样的趋势增加, 从而环境输出的 PRZ 信号也以同样的趋势增强, 结果 OSNR 随 SOA 电流的增加略有增加. 环境探测光功率增加时, 由于探测光引起的增益饱和增强, ASE 噪声功率减小. 但是在探测光功率的变化范围内, 其引起的增益饱和效应仍不太强 (与泵浦光相比), 环境输出 PRZ 信号功率随探测光功

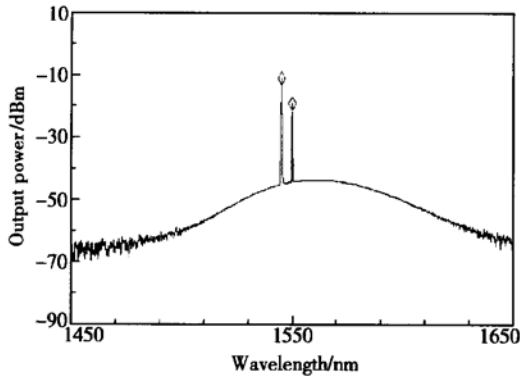


图 4 环镜的输出光谱

Fig. 4 Loop output spectrum

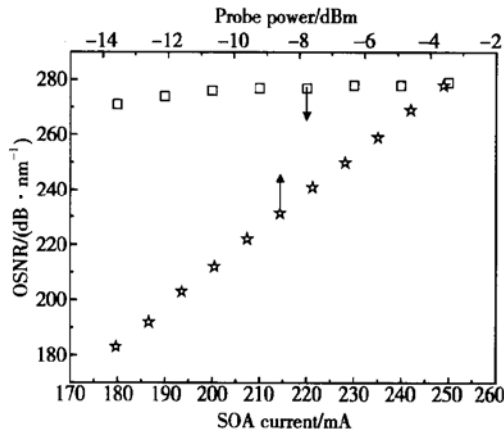


图 5 PRZ 信号光信噪比随 SOA 电流及 CW 探测光功率的变化

Fig. 5 Optical signal-to-noise ratio of loop output PRZ signal versus SOA current and CW probe power

率的增加而增加. 故图 5 显示环镜输出 PRZ 信号的 OSNR 随探测光功率呈线性增加.

转换所得的 PRZ 信号具有高的 ER 无疑对后续的时钟提取是有利的. 由于输出 PRZ 信号中各个脉冲的幅度不一致, 测试时我们忽略了码型效应等的影响, 在 E 点通过 CSA 8000 直接读取 PRZ 信号波形的最大值和最小值, 将其比值作为 PRZ 信号的 ER. ER 的测试结果如图 6 所示. 由于环镜输出采用 EDFA 放大, 而其后的滤波器带宽有 1nm, EDFA 的 ASE 噪声对 ER 的测量有很大的影响, 而由于 SOA 工作在饱和状态, 其 ASE 噪声影响对测试结果影响相对较小, 可以忽略. 另外, CSA 8000 光探头及电路的噪声也会影响测试结果.

测试结果表明: 环镜输出 PRZ 信号的 ER 一般在 10dB 以上. 产生有限 ER 的根本原因是: 由于

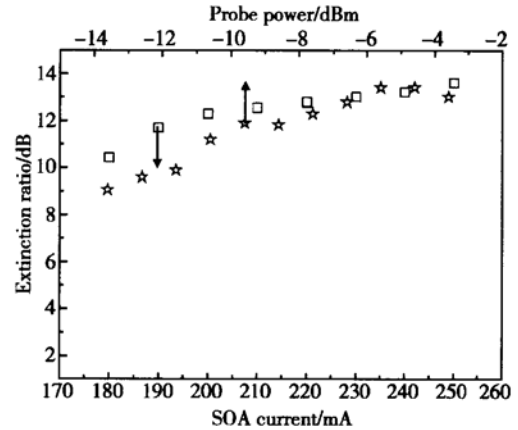


图 6 环镜输出 PRZ 信号消光比随 SOA 电流及 CW 探测光功率的变化

Fig. 6 Extinction ratio of loop output PRZ signal versus SOA current and CW probe power

3dB 耦合器 1 的分光比不是理想的 50 : 50, 以及环镜中各种损耗因素的存在(如前所述), 探测光的顺时针和逆时针分支到达 SOA 时光功率并不完全相同. 增加 SOA 的注入电流可以提高 SOA 的小信号增益, 使得环镜探测光顺时针和逆时针分支的增益和位相差增加, 从而提高环镜输出信号的幅度, 导致 ER 增加. 但是由于 ASE 的存在, 增加 SOA 的注入电流并不能使其小信号增益无限制地增加, 而是达到饱和, 故 ER 的增加也会达到饱和. 图 6 中, 忽略测量误差, 可以清楚地看到这种变化. 测试中由于实际到达 SOA 的探测光功率保持在较低的水平, 这时随着探测光功率的增加, 环镜输出信号的幅度增加, 故 ER 增加, 图 6 中如果忽略测量误差, 也可以观察到 ER 增加的趋势. 如果探测光功率足够大, 探测光引起的增益饱和可能使环镜输出信号的幅度减小, ER 可能减小.

环镜的透过率的测试结果如图 7 所示. 它是环镜输出的 PRZ 信号的平均功率与环镜探测光功率之比. 对于一定的探测光功率水平, SOA 注入电流增加时环镜输出 PRZ 信号的幅度增加, 因而环镜透过率增加, 而探测光功率增加时尽管环镜输出信号的幅度增加, 实际上由于 SOA 增益饱和, 顺时针和逆时针分支的增益和位相差减小, 所以环镜透过率反而降低. 比较图 7 和图 5、6, 我们发现: 对于一定的泵浦光功率, 采用大电流和适当高的探测光功率有利于获得高质量(高的 ER 和 OSNR)的 PRZ 信号, 其中采用较高的探测光功率必须付出牺牲环镜透过率的代价.

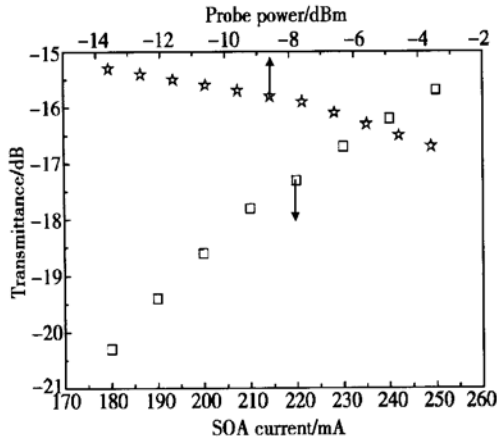


图7 环镜透过率随 SOA 电流及 CW 探测光功率的变化
Fig. 7 Loop transmittance versus SOA current and CW probe power

4 结论

为了实现 NRZ 信号的全光时钟恢复, 提取其时钟分量是必不可少的. 我们采用 SOA 光纤环镜将 2.5Gbit/s 的 NRZ 信号转换为包含其时钟分量的 PRZ 信号, 并进行了必要的测试. 由于采用了体材料的 SOA, 且 SOA 工作在饱和状态, 这一系统与偏振无关. SOA 工作在饱和状态也使 ASE 噪声对输出结果的影响不大. 另外, 由于采用了干涉仪的结

构, 这一系统的工作速率实际上可以达到更高.

参考文献

- [1] Vlachos K, Theophilopoulos G, Hatziefremidis A, et al. 30Gb/s all-optical clock recovery circuit. IEEE Photonics Technol Lett, 2000, 12(6): 705
- [2] Kawanishi S, Saruwatari M. Ultra-high-speed PLL-type clock recovery circuit based on all-optical gain modulation in traveling-wave laser diode amplifier. J Lightwave Technol, 1993, 11(12): 2123
- [3] 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-phase modulation of semiconductor optical amplifier. Electron Lett, 1999, 35(12): 989
- [4] Lee H K, Lee C H, Kang S B, et al. All-fibre-optic clock recovery from non-return-to-zero format data. Electron Lett, 1998, 34(5): 478
- [5] Lee C H, Lee H K. Passive all-optical clock signal extractor for non-return-to-zero signals. Electron Lett, 1998, 34(3): 295
- [6] Manning R J, Ellis A D, Poustie A J, et al. Semiconductor laser amplifiers for ultrafast all-optical signal processing. J Opt Soc Am B, 1997, 14(11): 3204
- [7] Yao M, Tang Haiyun, Fukazawa M, et al. All-optical clock recovery from NRZ data using a nonlinear loop clock generator. Optical Fiber Communications, 1996: 177
- [8] Eiselt M, Pieper W, Weber H G. SLALOM: semiconductor laser amplifier in a loop mirror. J Lightwave Technol, 1995, 13(10): 2099

Experimental Demonstration of Clock Component Extraction of NRZ Signal Using SOA Loop Mirror*

Hong Wei, Cai Feibi and Huang Dexiu

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Clock component extraction of 2.5Gbit/s NRZ (non-return-to-zero) signal is demonstrated using SOA (semiconductor optical amplifier) loop mirror, in which the NRZ signal is converted to the corresponding PRZ (pseudo-return-to-zero) signal. The impact of SOA injection current and loop probe power on OSNR (optical signal-to-noise ratio) and ER (extinction ratio) of the converted output PRZ signal and loop transmittance is given and analyzed.

Key words: SOA (semiconductor optical amplifier); SOA loop mirror; clock component extraction; NRZ (non-return-to-zero); PRZ (pseudo-return-to-zero)

PACC: 4230Q; 4280S; 4265; 4265P

Article ID: 0253-4177(2004)02-0190-05

* Project supported by State Key Development Program for Basic Research of China(No. G2000036605)

Hong Wei female, doctoral candidate. Her research region is all-optical communication network and it's key optoelectronic devices.

Received 22 February 2003, revised manuscript received 30 May 2003

©2004 The Chinese Institute of Electronics