

# 基于 TOAD 的 10Gb/s 全光或门\*

闫玉梅 伍 剑 林金桐

(北京邮电大学光通信与光波技术教育部重点实验室 55 信箱, 北京 100876)

**摘 要** 基于太赫兹光非对称解复用器 (TOAD), 提出了一种全光或门的实现方案. 从 TOAD 原理出发, 从理论上证实了该方案实现全光或运算的可行性. 在此基础上进行了实验研究, 成功实现了 10 Gb/s 的全光或运算. 实验采用 1100 和 0110 编码的两路数据信号, 完全验证了或运算真值表中各种可能的情况, 并显示出该方案对实现任意编码或伪随机码数据或运算的潜力. 对 SOA 增益恢复时间对结果的影响提出了改进办法. 最后分析表明, 该方案具有实现超高速高消光比或运算的潜力.

**关键词** 太赫兹光非对称解复用器; 或门; 半导体光放大器

**中图分类号** TN929.1      **文献标识码** A

## 0 引言

在高速光时分复用 (OTDM) 系统中, 电处理方式已经无法满足超快的处理速率的要求, 复杂的光-电-光转换也极大地限制了光信息处理速率的提高. 因此, 必须以全光的处理方式代替传统的电处理方式. 全光逻辑信息处理因此成为重要的研究内容. 太赫兹光非对称解复用器 (TOAD)<sup>[1,2]</sup> 即是一种全光控制的光开关, 因其开关能量小、开关速度快、体积小、易于集成, 从而受到广泛关注. 利用 TOAD 已实现了与门 (AND) 解复用<sup>[3,4]</sup>、异或 (XOR) 门<sup>[5,6]</sup>, 但是迄今为止仍没有 TOAD 实现或 (OR) 门的报道. 本文介绍一种利用 TOAD 实现全光或门的方法, 并用其实现了 10 Gb/s 的或运算, 对实验结果进行了分析.

## 1 原理

### 1.1 TOAD 基本原理

TOAD 是以一个非对称放置的 SOA<sup>[7,8]</sup> 为非线性元件的光纤环路器件, 其结构如图 1. 信号光和控制光分别由①, ③端口输入 TOAD, 控制光功率要远大于信号光功率. 在没有控制光作用的情况下, 信号光的 CW 和 CCW 分量经过 SOA 获得同样的小信号增益, 相互之间没有相位差, 回到 CPI 干涉后从①端口全部反射回去. 有控制光通过 SOA 时, 使 SOA 处于饱和状态, 从而使在其之前和之后通过 SOA 的信号光 CCW 分量和 CW 分量获得不同的增益和不同的相位改变量, 回到耦合器 CPI 干涉后, ②端口就会有信号光输出. 此时称 TOAD 在该控制

光的作用下打开了一个开关窗口.

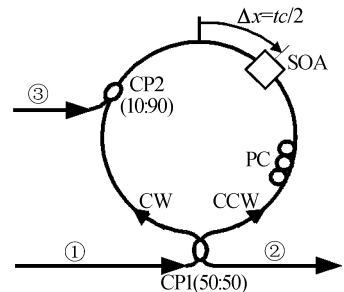


图 1 TOAD 结构

Fig. 1 Schematic illustration of TOAD

信号光的 CW 和 CCW 分量回到 CPI 时, 其电场慢变包络分别为

$$A_{CW} = \sqrt{P_{CW}} e^{i\phi_{CW}} \quad (1)$$

$$A_{CCW} = \sqrt{P_{CCW}} e^{i\phi_{CCW}} \quad (2)$$

式中  $P_{CW}$  和  $P_{CCW}$  分别为信号光 CW 和 CCW 分量的功率,  $\phi_{CW}$  和  $\phi_{CCW}$  分别为 CW 和 CCW 分量的相移.

由②端口透射的信号光功率为

$$P_2 = |A_{CW} - A_{CCW}|^2 \quad (3)$$

考虑到式(1), (2), 式(3)可改写为

$$P_2 = |A_{CW}|^2 + |A_{CCW}|^2 - 2|A_{CW}| \cdot |A_{CCW}| \cos(\Delta\phi) \quad (4)$$

式中  $\Delta\phi = \phi_{CW} - \phi_{CCW}$  为 CW 和 CCW 分量相位改变量的差值. 当  $\Delta\phi$  为  $\pi$  的奇数倍时,  $\cos(\Delta\phi)$  的值为  $-1$ , 由式(4)可知, 此时 TOAD②端口输出的信号光功率最大.  $\Delta\phi$  对  $\pi$  的奇数倍的任何偏离都将导致 TOAD②端口输出的信号光功率降低.

### 1.2 TOAD 用于或运算原理

TOAD 用于或运算时, 两路数据信号 A, B 作为控制光同时由③端口输入, 共同控制由①端口输入的直流信号光. 当某一时刻数据信号 A, B 中的脉冲同时为 0 码时 (按 A 前 B 后的顺序, 记为数据 0, 0, 其余类推), 无法驱动 TOAD 打开开关窗口, ②端

\*国家自然科学基金资助项目

Tel: 010-62282324-87      Email: yymbupt@163.com

收稿日期: 2004-03-04

口输出为 0. 而数据 0,1, 数据 1,0, 数据 1,1 都将驱动 TOAD 对直流信号光打开一个窗口, 从而②端口输出为 1. 但是与数据 0,1 和数据 1,0 相比, 数据 1,1 由于包含两个 1 码, 从而使 SOA 饱和的更深, 因此就存在两路数据同时为 1 码和仅一路数据为 1 码时, TOAD 输出脉冲幅度不等的问题. 由 1.1 节的分析, 根据式(4)调整两路数据中 1 码的功率, 使两路数据都为 1 码和仅一路数据为 1 码时, 由 SOA 引起的两个相位差恰好处于某个奇数倍  $\pi$  的两侧, 并且其余余弦值大致相等, 这样由②端口输出的或运算结果中的 1 脉冲就会有大致相等的幅度.

## 2 实验方案及结果

实验方案如图 2.

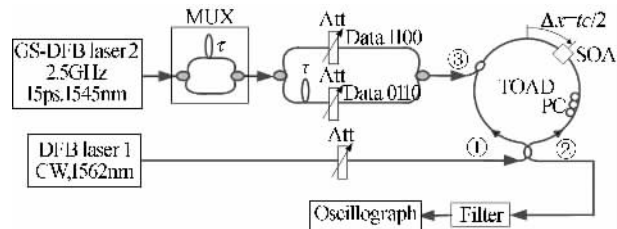


图 2 全光或门实验装置图

Fig. 2 Experimental setup for all-optical OR gate

SDH(Synchronous digital hierarchy)分析仪产生的 2.5 GHz 电时钟脉冲调制波长为 1545 nm 的增益开关-分布反馈半导体激光器(GS-DFB Laser)1 产生 2.5 G 的光脉冲, 经色散补偿光纤(DCF)压缩后脉宽约为 15 ps. 该脉冲经光纤型复用器复用成为间隔 100 ps 的两个脉冲, 将其视为 1100 信号. 该信号再经耦合器等分为两路, 其中一路相对另一路延时 100 ps. 在时域上, 如果视没有延时的一路信号为 1100, 那么有延时的一路信号就成为 0110, 如图 3(a), (b). 这两路信号经耦合器汇总后同时进入 TOAD ③端口, 在 TOAD 中进行或运算, 运算结果作

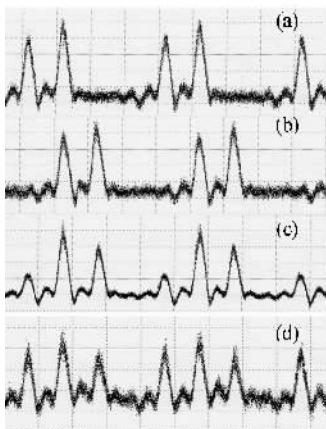


图 3 (a) 数据 1100; (b) 数据 0110; (c) TOAD ③端口的输入信号(数据 1100 和 0110 的合成); (d) 或运算结果

Fig. 3 (a) data 1100; (b) data 0110; (c) combination of data 1100 and 0110; (d) result of OR gate operation

用到 TOAD ①端口输入的 1562 nm 的直流光(CW)上并由②端口输出 1110. 实验结果如图 3(d), 该结果与按或运算真值表计算出来的结果完全相符, 结果中的 1 脉冲有大致相等的幅度.

## 3 实验结果分析与优化

### 3.1 1100 与 0110 编码的选择

实验采用 1100 编码及延时 1 个比特产生的 0110 编码, 易于产生, 并且完全验证了 0 码和 1 码各种组合情况下或运算的实验结果. 采用连续的四位编码而不是全 0 码和全 1 码数据的四种组合, 验证了所用方案对实现任意编码或伪随机码数据或运算的可能性.

### 3.2 SOA 增益恢复时间的影响

实验中所用的 SOA 是 Alcatel 1901 SOA, 在实验所用的 120 mA 偏置电流条件下, 其增益恢复时间约为 330 ps. 对 10 Gb/s 的数据速率, 即 100 ps 的脉冲间隔, SOA 的增益并不能完全恢复, 这将对或运算结果产生一定影响. 例如对两路数据信号 1100 和 0110 中出现数据 1,0 和数据 0,1 组合的两个时刻, 由于两者之前的数据组合不同, 分别为 0,0 和 1,1, 因此当数据 1,0 和数据 0,1 到来时, SOA 所处的恢复状态差别较大. 这时如果数据 1,0 和数据 0,1 中的 1 码幅度相同, 那么经 TOAD 或运算后输出的 1 码幅度将会有较大差别, 即或运算结果 1110 中第三个 1 码的幅度比第一个 1 码的幅度会小很多. 为改善这一情况, 可使数据 0,1 中的 1 码比数据 1,0 中的 1 码幅度大一些.

实验中是使有延时的一路, 即 0110 的强度比另一路, 即 1100 的强度大一些, 这样得到的或运算结果中的 1 码将有比较一致的幅度. 所用 1100 和 0110 数据信号的平均功率分别为 6.4 dBm 和 7.9 dBm. 为清楚起见, 图 3 中同时给出了进入 TOAD ③端口的两路数据信号的汇总信号. 从图中可以清楚的看出, 汇总后第三个脉冲比第一个脉冲幅度高一些, 这就是为了使 SOA 在受第二个强脉冲饱和后还没完全恢复时在稍强一些的脉冲作用下仍能够打开一个幅度较高的窗口.

到目前为止, 许多研究人员已经采取了很多方法来降低 SOA 的增益恢复时间对开关速率的影响, 包括采用对信号光(1.55  $\mu\text{m}$  左右)透明的 SOA(增益峰在 1.3  $\mu\text{m}$  左右)<sup>[9,10]</sup>, 注入辅助直流光<sup>[11]</sup>, 或使 SOA 工作在透明机制下<sup>[12]</sup>. 这三种方法都将极大的提高开关速率, 用其替换以上或门方案中增益恢复时间约为 330 ps 的 SOA, 可以发现该方案具有实现上百 Gb/s 或运算的潜力.

### 3.3 消光比

由于所用数据脉冲的每个脉冲之前都有一个小的尖峰,也会激发 TOAD 产生一个较小的窗口,因此在或运算结果的对应位置也出现一个小的脉冲,这是由于数据脉冲质量不够理想造成的.相信如果数据脉冲质量比较好,或运算结果将会有比较高的消光比.此外,①端口若改用 10 Hz 的时钟信号输入 TOAD,也会极大的降低或运算结果中不应出现的小峰,大大提高消光比.

## 4 结论

本文基于 TOAD,提出了一种全光或门的实现方案.从理论上证实了该方案的可行性,并从实验上加以验证,成功实现了 10 Gb/s 的全光或运算,实验结果与按或门运算真值表计算的结果完全一致.实验所用的编码方式显示出该方案对实现任意编码数据或运算的可行性.分析表明该方案具有实现超高速高消光比或运算的潜力.

### 参考文献

- 1 Sokoloff J P, Prucnal P R, Glesk I, *et al.* A terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD). *IEEE Photonics Technology Letters*, 1993, **5**(7): 787 ~ 790
- 2 洪伟,黄德修.基于 SOA 光纤环境的 NRZ 信号时钟分量提取的数值模拟.光子学报,2004, **33**(1):43 ~ 46  
Hong W, Huang D X. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 43 ~ 46
- 3 Glesk I, Sokoloff J P, Prucnal P R. Demonstration of all-optical demultiplexing of TDM data at 250 Gbit/s. *Electronics Letters*, 1994, **30**(4): 339 ~ 341

- 4 Hall K L, Robinson B S. Bit error rate characterization of 100 Gb/s all-optical demultiplexers. *CLEO'99*: 214 ~ 215
- 5 Houbavlis T, Zoiros K, Hatziefremidis A, *et al.* 10 Gbit/s all-optical boolean XOR with SOA fibre sagnac gate. *Electronics Letters*, 1999, **35**(19): 1650 ~ 1652
- 6 Zoiros K, Houbavlis T, Vlachos K, *et al.* 10 GHz Boolean XOR with semiconductor optical amplifier fiber Sagnac gate. *CLEO'99*: 379 ~ 379
- 7 郑学彦,管克俭,叶培大.探测光功率对半导体全光波长变换器性能的影响分析.光子学报,1998, **27**(3):254 ~ 258  
Zheng X Y, Guan K J, Ye P D. *Acta Photonica Sinica*, 1998, **27**(3):254 ~ 258
- 8 黄黎蓉,李含辉,陈俊,等.多电极半导体光放大器对增益特性的发送.光子学报,2003, **32**(1):68 ~ 71  
Huang L R, Li H H, Chen J, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1):68 ~ 71
- 9 Diez S, Ludwig R, Weber H G. Gain-transparent SOA-switch for high-bitrate OTDM add/drop multiplexing. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1999, **11**(1): 60 ~ 62
- 10 孔小健,黄德修,刘德明,等.用楔形柱面光纤微透镜耦合的 1.3  $\mu\text{m}$  SOA 组件.光子学报,2003, **32**(10):1201 ~ 1203  
Kong X J, Huang D X, Liu D M, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(10):1201 ~ 1203
- 11 Dupertuis M A, Pleumeekers J L, Hessler T P, *et al.* Extremely fast high-gain and low-current SOA by optical speed-up at transparency. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2000, **12**(11): 1453 ~ 1455
- 12 Kao Y H, Goltser I V, Islam M N, *et al.* Ultrafast optical logic gate using a semiconductor laser amplifier operating at transparency in a loop mirror. *CLEO'97*: 94 ~ 95

## 10 Gb/s All-optical OR Gate Based on TOAD

Yan Yumei, Wu Jian, Lin Jintong

P. O. Box 55, Key Laboratory of Optical Communication and Lightwave Technologies of Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Received date:2004-03-04

**Abstract** A scheme for all-optical OR gate is proposed based on terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD). The feasibility of this scheme is theoretically analyzed with the principle of TOAD. Based on this, all-optical OR gate operation at 10 Gb/s is successfully demonstrated. Two data signals coded 1100 and 0110 are used in the experiment, giving chance to demonstrate all of the possibilities of OR gate operation. The successful demonstration of such kinds of codes also shows the potential of this scheme to process OR gate operation on data with arbitrary codes or data of pseudo-random bit streams (PRBS). For the influence of the gain recovery time of SOA, optimising method is proposed. Analysis shows that with this scheme, ultrafast and high extinction ratio OR gate operation can be performed.

**Keywords** Terahertz optical asymmetric demultiplexer, OR gate, Semiconductor optical amplifier



**Yan Yumei** was born in 1977 in Shandong Province. She received her B. S. and M. S. degrees from Beijing Normal University, in 1999 and 2002. Currently she is a Ph. D. candidate of Beijing University of Posts and Telecommunications (BUPT). Her current research interests are all-optical signal processing using SOA-based interferometer and its applications in OTDM network.