

用双稳开关实现光学时分复用的方法

王瑞波 张 雷 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

提出一种用全光学开关构成时分复用系统的方法, 并用 ZnS 干涉滤光片双稳开关进行了实验演示。如果采用高速开关进行替代, 可望用于光通信与光计算系统, 提高信息的传输速度。
关键词 双稳开关, 时分复用。

1 引 言

多路时分复用, 又称时域的多路复合与分配(TDM), 是一种充分发挥光纤容量的潜力, 通过时间分割实现高速传送多路信号的一种方法。在目前的光纤通信系统中, 多路信号的复合与分配都是采用电子学手段实现的。由于电子学元件的响应速度比较低, 信息的传输速度受到限制。随着高速全光开关和半导体脉冲激光器研究的发展, 人们开始将注意力转向光学时分复用系统的研究^[1~3]。在一个光纤通信系统中, 如果用脉宽为 5 PS 的光脉冲传递信息, 码速可达 100 Gb/s。如此高速的信号根本无法用传统的电子学方法进行处理, 采用全光学元件构成光学时分复用系统是解决这一问题的可行途径。

本文介绍一种用光双稳开关构成时分复用系统的方法, 这种系统在复合过程中采用低速信号预先开启双稳开关, 再由高速时钟信号进行取样, 减小了双稳开关介质响应速度对通信速度的限制, 使利用低速开关构成多路复合器成为可能。基于这种方法, 本文用 ZnS 双稳开关对两路信号的复合过程与分配过程进行了原理性实验演示。

2 多路信号的复合

图 1 所示为用双稳开关构成的时分复用系统。在复合端, 双稳开关 BOS 工作在窄回

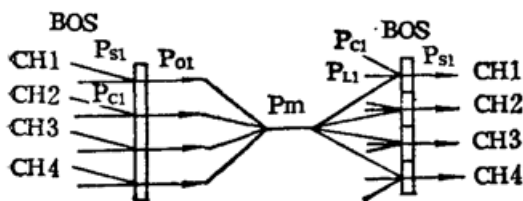


Fig. 1 A design of optical TDM system based on bistable optical switches

线区域双稳状态或微分放大状态。复合过程可分为定时、取样和组合三个步骤^[4]。高速时钟脉冲 P_{ci} ($i=1, 2, 3, \dots$) 作为定时信号与来自相应通道的基频信号非共线输入到 BOS 器件的同一点上。 P_{ci} 的透射率取决于基频信号 P_{si} 的强度, 当 $P_{si}=0$ 时, P_{ci} 对应的工作点位于 BOS 特性曲线的下支。此时

$P_{oi}=0$; 当 $P_{si}=1$ 时, 在 P_{si} 作用下, 器件的透射峰发生移动, 特性曲线向小入射功率方向移动, P_{ci} 对应的工作点移动到曲线的上支, P_{ci} 得以透过。此时 $P_{oi}=1$ 。 P_{oi} 可以作为 P_{si} 的取

样结果组合进复合信号 P_m . 为了防止信号的重叠, P_{c_i} 与 $P_{c_{i+1}}$ 保持一固定的位相差 Δ , 这样便实现了时间上的分割, 使复合脉冲序列中不同时刻的脉冲对应于不同的通道.

图 2 给出了两路信号复合过程的时序图. 从图中可以看出, 当 $t_1 < t < t_2$ 时, $P_{s1} = P_{s2} = 1$, P_{c1}, P_{c2} 都能透过光开关. 所以在复合信号 P_m 中得到两个脉冲; 当 $t_3 < t < t_4$ 时, $P_{s1} = 0, P_{s2} = 1$, 只有 P_{c2} 能透过开关. 所以复合信号中只有与 P_{s2} 对应的位置上得到一个脉冲.

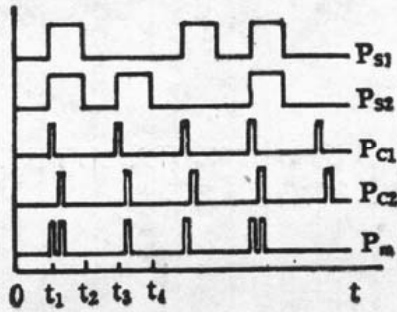


Fig. 2 Time-division multiplexing in a 2-channel system

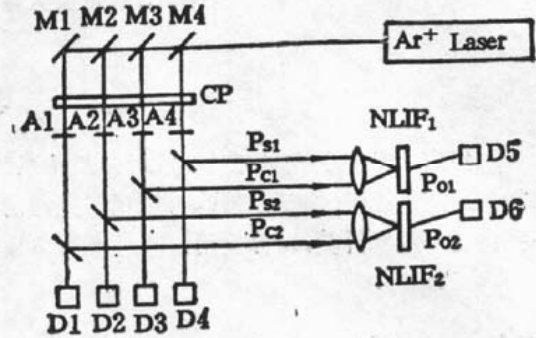


Fig. 3 Experimental set-up for multiplexing CP-coded plate, $D_1 \sim D_6$ —detectors, $A_1 \sim A_4$ —attenuators, NLIF₁, NLIF₂—ZnS BOS

实验采用 ZnS 干涉滤光片双稳开关对两路信号的复合过程进行了演示. 实验装置如图 3 所示, 其中 CP 为编码盘. 用以对光束进行调制, 产生模拟基频信号和高速时钟信号. 通过在编码盘上选择适当的通光区域, 使两路时钟信号保持一固定的位相差. 实验采用的滤光片中心波长为 $\lambda_1 = 513.1 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 513.7 \text{ nm}$, 带宽为 $\Delta\lambda_1 = 2.1 \text{ nm}$, $\Delta\lambda_2 = 1.9 \text{ nm}$, 峰值透过率为 $T_{\max 1} = 69.2\%$, $T_{\max 2} = 62.4\%$, 开启阈值功率为 $P_{\uparrow 1} = 16 \text{ mW}$, $P_{\uparrow 2} = 11 \text{ mW}$. 受示波器通道数目的限制, 无法同时得到两个信道输入基频信号、时钟信号和取样结果共六路信号的波形. 图 4 给出的是其中一个信道的基频信号 P_{s1} 、时钟信号 P_{c1} 和取样结果 P_{o1} . 由于编码盘的转动速度较低, 这里基频信号的速率仅为 33 bit/s .

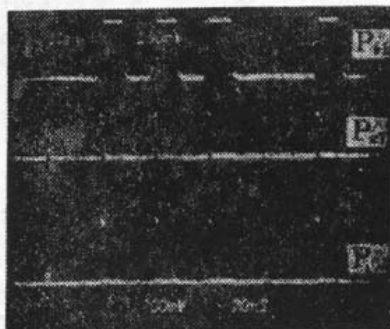


Fig. 4 Results of sampling in a channel

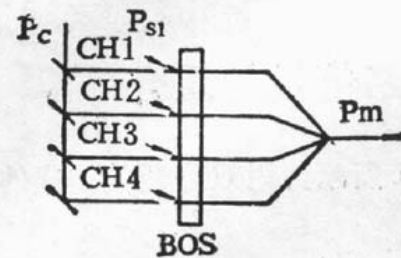


Fig. 5 Optimized multiplexer for high-bit-rate communication

在上述的多路复合器中, 各通道的高速时钟脉冲之间需要保持一固定的位相差. 用光脉冲在空间不同位置进行能量分割, 是获得满足上述要求脉冲的可行的方法. 图 5 是基于这一思想构成的多路复合器, 反射率递减的分束器阵列将一高速脉冲 P_c 分为幅值相等的多路. 由于光程存在差别, P_c 到达各工作点元的时间也不同. 如果系统码速为 100 Gb/s , 采用的脉冲宽度和周期分别为 5 ps 和 10 ps , 那么需要相邻工作点元的间隔为 3 mm .

3 多路信号的分配过程

在分配端多个双稳开关都工作在具有较宽回线区域的双稳性状态下, 为了将各通道的脉冲从复合信号中分离出来, 在各通道对应的工作点元都加了一个与复合端相同的高速时钟信号. 低速时钟信号 P_{Li} 是用来恢复基频信号的, 它的脉宽与基频信号宽度一致. P_{Li} 的透射光做为恢复的基频信号 P_{s1} , 重新送入相应的通道. 假设信号 P_{Li} 、 P_{Ci} 、 P_m 的幅值分别为 Li 、 Oi 和 M , 器件的开启和关闭阈值分别为 $P\uparrow$ 和 $P\downarrow$, 所用器件应满足以下条件,

$$P\downarrow < Li < P\uparrow \tag{1}$$

$$Li + Oi < P\uparrow \tag{2}$$

$$Li + M < P\uparrow \tag{3}$$

$$Li + Oi + M > P\uparrow \tag{4}$$

在满足以上条件的情况下, 只有当 $P_{Li} = P_{Ci} = P_m = 1$ 时, 器件才能开启, 低速时钟信号 P_{Li} 得以透过并保持波形不变. 由于 P_{Ci} 、 P_{Ci+1} 之间的位相差与复合端一致, 也与复合脉冲序列中相邻脉冲间隔相符合, 因此可按时间顺序将各通道的脉冲提取出来.

图 6 所示为两路信号分配过程的时序图. 在 $t_1 < t < t_2$ 时间内, P_m 中有两个脉冲. 它们分别与 $P_{c1} = 1$ 和 $P_{c2} = 1$ 相对应. 因此 P_{L1} 和 P_{L2} 都能通过开关. 此时 $P_{s1} = P_{s2} = 1$; 当 $t_3 < t < t_4$ 时, 只有与 $P_{c2} = 1$ 对应的时间内有 $P_m = 1$, 所以只有 P_{L2} 能通过开关, 此时有 $P_{s1} = 0$, $P_{s2} = 1$. 在上面的过程中, 两个通道中得到与复合端一致的信号(见图 2 中 P_{s1} 、 P_{s2}).

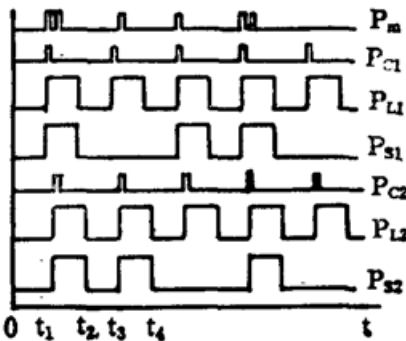


Fig. 6 Timing scheme for 2-channel demultiplexing

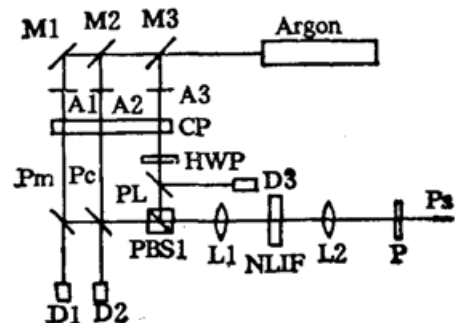


Fig. 7 Experimental arrangement for demonstration of demultiplexing process

用图 7 所示的装置, 对复合信号的分配进行了演示. 其中编码盘 CP 用来产生模拟复合信号 P_m , 高速时钟脉冲 P_c 和低速时钟脉冲 P_L . 为了便于将 P_L 的透射光 P_s 从 P_m 、 P_c 的透射光中分离出来, 可以采用偏振元件使 P_L 与 P_m 、 P_c 有不同的偏振方向.

图 8 为从两路复合信号 P_m 中恢复出一路信号的实验结果. 与图 2 及图 6 中的复合信号不同, 这里由编码盘调制产生的复合信号 P_m 对应的基频信号为“0101”和“1001”. 受示波器通道数目的限制, 这里没有给出低速时钟信号 P_L 的波形. 由于双稳开关临界减慢效应 (critical slowing down) 的影响, 恢复出的信号 P_s 相对于时钟信号 P_c 有一时间延迟.

与多路复合器一样, 多路分配器也能利用空间延迟法使结构简化. 如图 9 所示, 复合脉冲序列 P_m 入射到双稳开关上后, 其反射光被平面镜依次反射到每一工作点元. 光的多次反射使复合脉冲序列在空间被展开, 当各通道的脉冲到达各自对应的点元时, 控制脉冲 P_c 同

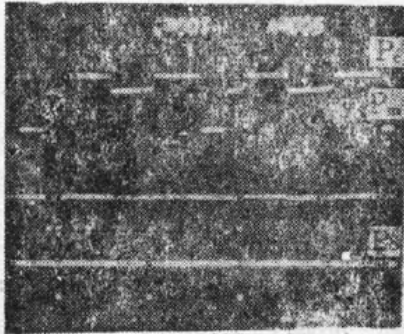


Fig. 8 Waveforms of the signals in demultiplexing experiment

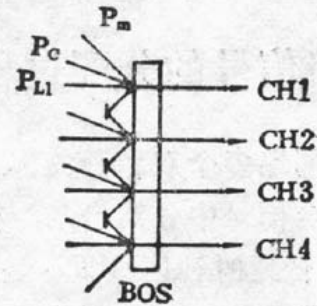


Fig. 9 Optimized demultiplexer based on all-optical BOS

时入射到各点元, 并与复合脉冲共同作用控制低速时钟信号的通过. 通过阵列开关的低速时钟信号与复合端基频输入信号完全相同, 被送入各自对应的通道.

4 讨 论

由于 ZnS 双稳开关属于热效应型, 所以速度比较低, 用它构成多路复合器可以不受这一因素的影响, 但构成多路分配器时, 信息的处理速度就要受到限制. 另外这类器件的稳定性尚需进一步提高, 所以构成的系统不具有实用价值. 由于所演示的光学回路具有一定的通用性, 可用高速器件(如 SEED、有机材料器件)进行替代, 构成具有高速数据传输能力的系统. 目前光纤通信系统正在向长波长方向发展, 研制工作在这一波段 ($1.3 \sim 1.5 \mu\text{m}$) 的全光学开关, 将是今后光学双稳性器件的重要发展方向.

参 考 文 献

- [1] R. S. Tucker, G. Eisenstein, S. K. Korotky, Optical time-division multiplexing for very high bit-rate transmission. *J. Lightwave Tech.*, 1988, **6** (11): 1737~1749
- [2] R. S. Tucker, G. Eisenstein, S. K. Korotky *et al.* Optical time-division multiplexing and demultiplexing in a multigigabit/second fiber transmission systems. *Electron Lett.*, 1987, **23** (5): 208~209
- [3] S. Suzuki T. Terakado, K. Komatsu K. *et al.*, An experiment on high-speed optical time-division switching. *J. Lightwave Tech.*, 1986, **4** (5): 894~899
- [4] T. S. Kinsel, R. T. Denton, Terminals for a high-speed optical pulse code modulation communication system: optical multiplexing and demultiplexing. *Proc. IEEE*, 1968, **56** (2): 146~154

An approach to optical multi/demultiplexing by using bistable switches

WANG RUIBO ZHANG LEI LI CHUNFEI

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology Harbin 150006)

(Received December 1991; revised 3 March 1992)

Abstract

In this paper we present a design of optical time-division multi/demultiplexing (OTDM) system. Experimental results obtained with ZnS interference filters are also presented. The system is expected to be used in the optical communications and the optical computing by replacing the ZnS switches with high speed ones.

Key words Bistable switches, time-division multi/demultiplexing.