

光分组交换网络中多组光正交码组合 光标签识别处理及实验^{*}

张崇富[†] 邱 昆 贺 音

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网教育部重点实验室, 成都 611731)

(2008 年 10 月 27 日收到; 2009 年 6 月 29 日收到修改稿)

报道了光分组交换网络中基于多组光正交码组合光标签的识别与接收实验, 光标签采用了码长为 19, 码重为 3 的 2 组光正交码组合光标签方案. 给出了基于多组光正交码光标签的光分组交换网络 (MOOC-OPS) 基本原理, 通过分析指出在 MOOC-OPS 网络中处理多组在时域上非连续、随机、突发光标签是现实 MOOC-OPS 关键技术之一. 设计出了基于展览网络和放大器级联方式接收多组低功率窄脉冲 (MOOC-OPS 网络的光标签) 的实验方案, 完成了实验电路板制作与实验验证. 实验结果表明成功地实现了 MOOC-OPS 网络中周期为 2 ns 基于多组光正交码光标签脉冲的识别接收, 验证了该方案的可行性.

关键词: 光码分复用 (OCDM), 多组光正交码 (MOOC), 光分组交换 (OPS), 光标签接收

PACC: 4230Q, 4280S

1. 引 言

光分组由净荷和标签组成, 在传统光分组交换 (OPS) 网络中, 速率较高的净荷在光域内实现全光交换, 而速率较低的光标签在每个节点可以将其转换为电信号进行处理. 光标签携带了光分组的路由和交换信息, 因此在 OPS 网络中对标签信息处理显得十分重要. 目前主要光标签处理方案有: 比特串行 (bit-serial) 光标签^[1], 光副载波 (optical subcarrier) 光标签^[2], 正交调制 (orthogonal modulation) 光标签^[3,4], 光码 (optical code, e. g. OOC) 光标签^[5,6], 多组光码组合 (MOOC) 光标签^[7]等. 近年来, 由于基于光码 (OC)^[8] 光标签具有波长工作在低色散窗口, 地址分配灵活, 处理突发信息传送接入, 保密性好, 抗干扰能力强及全光处理等优势, 引起了国内外研究者的广泛关注^[5-7]. 本文针对 OPS 网络中基于 MOOC 光标签 (MOOC-OPS) 地识别、接收处理进行了研究与分析, 指出该方案中光标签接收的特点, 成功设计出了用于 MOOC-OPS 的光标签接收方案, 最后进行了实验验证与讨论.

2. 基于多组光正交码光标签的光分组交换网络

MOOC-OPS 网络分为边缘节点和核心节点^[7]. 图 1(a) 所示, 边缘节点将接入网中的数据汇集成光分组的净荷, 并分配一个 MOOC 序列, 通过光编码器完成 MOOC 光标签的写入, 随后与净荷一起耦合形成光分组. 在核心节点由可调光解码器组解码完成光标签的识别, 结合光标签路由表完成光分组的交换. 当净荷需要传输到下一节点时, 该核心节点将根据标签信息库分配新的光标签, 通过光编码器组实现新光标签的写入, 然后进入 MOOC-OPS 网络的下一个节点. 图 1(b) 所示, 基于多组光正交码的光标签接收方案中, 在光标签接收端, 首先光分组被分为两个分支, 上分支经过光标签擦除, 实现净荷的恢复或接收. 另一分支通过光解码器组完成光正交码光标签的识别. 在多组光正交码光标签接收中, 存在多个时间上非连续传输的突发情况, 出现的非连续单窄脉冲信号, 因此基于 MOOC 光标签中光标签的识别是该方案的关键之一.

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 60807028), 电子科技大学校青年科技重点基金 (批准号: JX0801) 资助的课题.

[†] E-mail: cfzhang@uestc.edu.cn

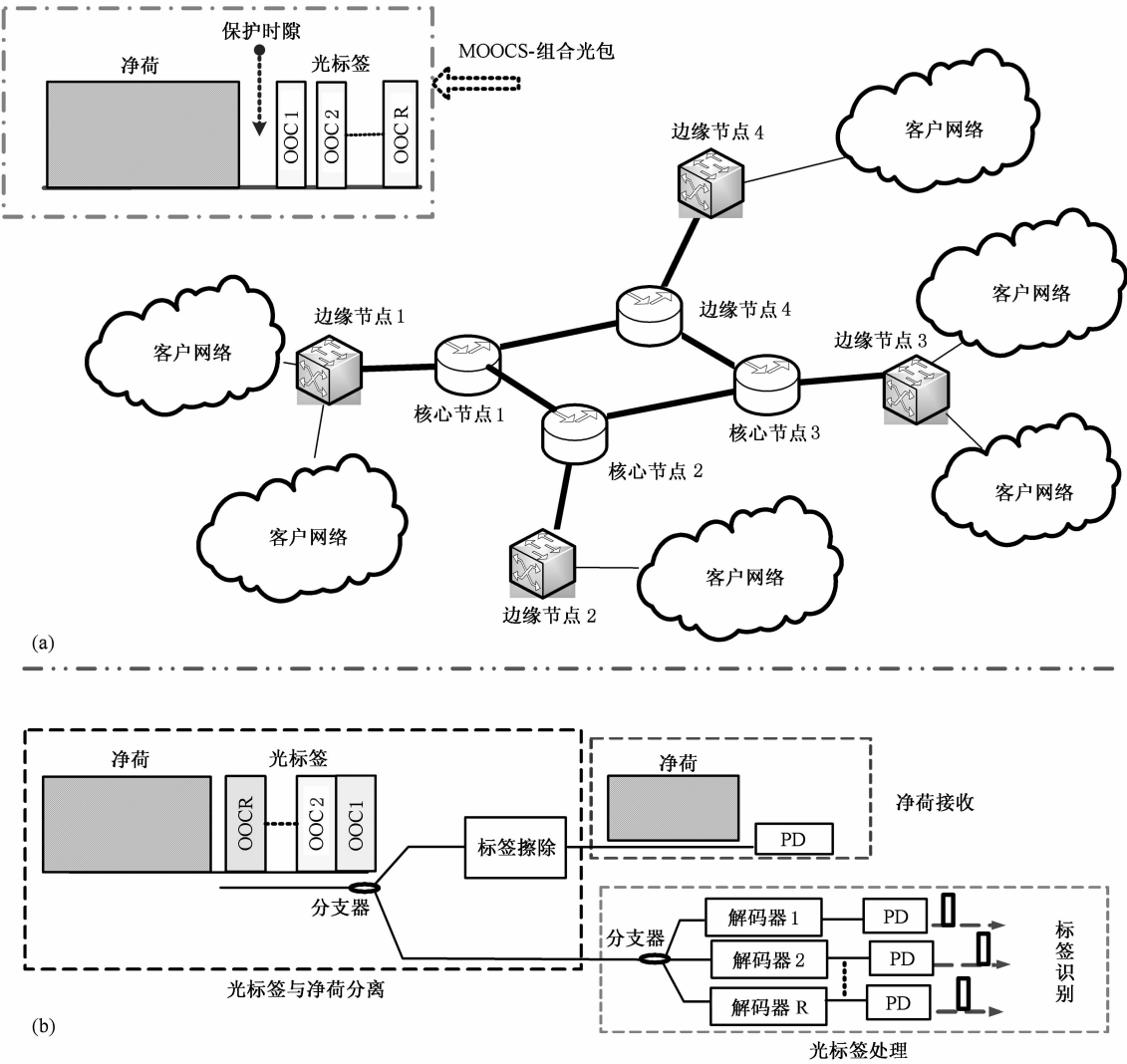


图 1 (a) MOOC-OPS 网络; (b) MOOC 光标签接收方案

3. 基于多组光正交码光标签的接收

3.1. 问题描述

传统的光接收机原理框图如图 2 所示. 光探测器将光信号转换为电信号, 经过跨阻抗前置放大器

(trans-impedance amplifier, TIA) 放大和限幅放大器 (limiting amplifier, LA) 放大后实现等幅输出, 自动增益控制电路 (automatic gain control, AGC) 用于稳定限幅放大器的输出信号幅度, 时钟和数据恢复电路 (clock and data recovery, CDR) 的功能是用来从限幅放大器输出的信号中提取时钟并恢复出数据. 由于是连续光信号, 可以利用锁相环进行时钟恢

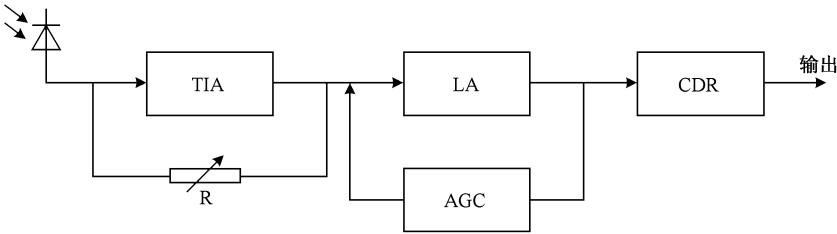


图 2 传统光接收机原理框图

复^[9]. 由于光器件封装技术的进步和驱动集成电路、放大集成电路的出现, 已经将其模块化, 如封装上有 1×9 , SFF 及 GBIC 等. 采用一个 1×9 的速率为 622 Mb/s 光收模块进行实验, 其中数字信号源: PPG (pulse pattern generator) 发送出脉冲宽度为 2 ns 的信号来模拟光标签信号, 光源为 DFB 激光器.

实验结果如图 3—5 所示. 图 3 为占空比 1:19 时的结果, 从实验结果可以看出, 当发送信号占空比为 1:19, 采用该接收方案能正确的接收到发送信号. 但当发送信号占空比增大到 1:52, 采用该方案接收时, 在接收信号中出现了明显的劣化, 如图 4 所示. 如果增加信号占空比达到 1:104, 同样采用该方案接收时, 在接收信号中出现了严重地劣化, 甚至信噪比小于 1.5, 表明当占空比较大时采用该方案已经不能正确地接收到发送的光信号, 如图 5 所示. 其中图 3—5 中上一行信号为用光模块接收到的波形, 下一行信号为 PPG 发送出波形. 通过采用传统光信号接收方案的实验表明: 采用传统光接收方案已经不能正确接收具较大占空比的信号, 即不能满足 OPS 网络中基于光码 (特别是多组光正交码) 光标签的接收. 因此要实现具有多组光正交码光标签的识别必需解决较大占空比信号的突发单脉冲地接收.

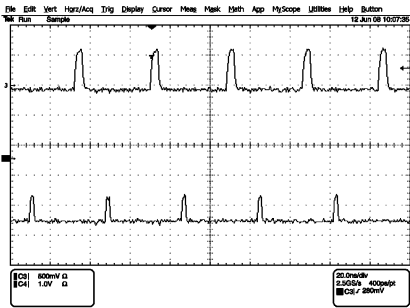


图3 占空比为 1:19 的发送信号与接收信号

3.2. 突发单窄脉冲信号接收

从 3.1 节的实验我们可以得到: 传统的光接收机是针对连续传输的光脉冲信号, 利用锁相环电路便可对连续传输的光信号进行时钟提取, 但利用传统的光接收模块是无法正确地接收到非连续突发单窄脉冲信号. 将光脉冲信号接收下来在电域上对突发单个窄脉冲信号进行接收处理, 并将其转换为相应的数字电平, 送入 FPGA (field programmable gates array) 进行下一步的处理 (光标签的识别及判

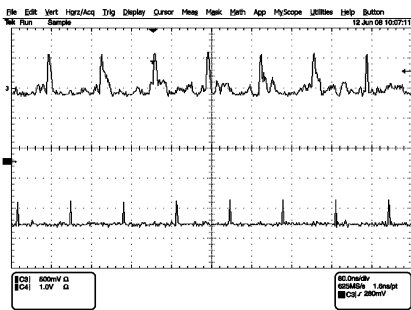


图4 占空比为 1:52 的发送信号与接收信号

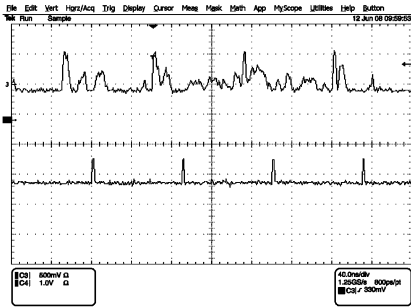


图5 占空比为 1:104 的发送信号与接收信号

决), 对于基于多组光正交码光标签识别尤为关键. 针对上述的问题, 我们设计了基于多组光正交码光标的单窄脉冲信号接收方案, 如图 6 所示. 单脉冲接收方案主要由 PIN、前置放大电路、电容电荷展宽网络、放大电路、比较器和 FPGA 组成. PIN 主要完成将光脉冲信号转换成电脉冲信号. 前置放大电路设计采用跨阻抗前置放大器 (TIA), 是因为跨阻抗前置放大器不仅具有宽频带、低噪声的优点, 而且动态范围有很大改善. 由于电脉冲信号具有很高的频率, 要将其转换成数字信号, 送入 FPGA 需要昂贵的宽带放大器和高速的 A/D 转换器, 但利用电容电荷缓冲存储网络模型可以较低成本实现对脉冲的展宽. 电容电荷展宽网络, 是由一个相对较小和相对较大的电容组成, 完成对电路快速充电和慢速放电的过程, 从而实现对脉冲的展宽. 放大电路选用了电流反馈型集成运放 THS3201, 带宽 1.8 GHz, 压摆率 10500 V/ μ s, 根据反馈电阻 R_f 和 R_g 的值可以选定放大器的放大倍数, 例如在电源电压正负 5V 供电时, 当 $R_f = 464 \Omega$, $R_g = 51.1 \Omega$ 时, 放大倍数为 10; 当 $R_f = 576 \Omega$, $R_g = 143 \Omega$ 时, 放大倍数为 5. 在设计中可以根据实际需要, 调节反馈电阻实现放大

倍数的设置. 判决电路主要是由比较器完成, 比较器采用单限比较门限, 输出相对应的数字信号. 然后送入 FPGA, FPGA 选用 Stratix 系列, 锁相环时钟可达 400 M 以上, 最后由 FPGA 根据接收到的多组光正交码标签信号, 实现对光标签的识别. 根据设

计方案原理图 6, 设计并制作出了突发单脉冲接收电路板, 如图 7 所示. 图 7 右为用于突发单脉冲接收单元实物图, 主要由电源、标签处理单元和标签识别单元组成; 图 7 左为标签处理单元的实物图, 即突发单脉冲接收实物图.

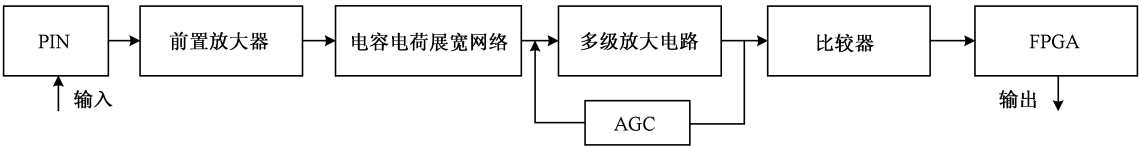


图 6 单个窄脉冲信号接收原理框图

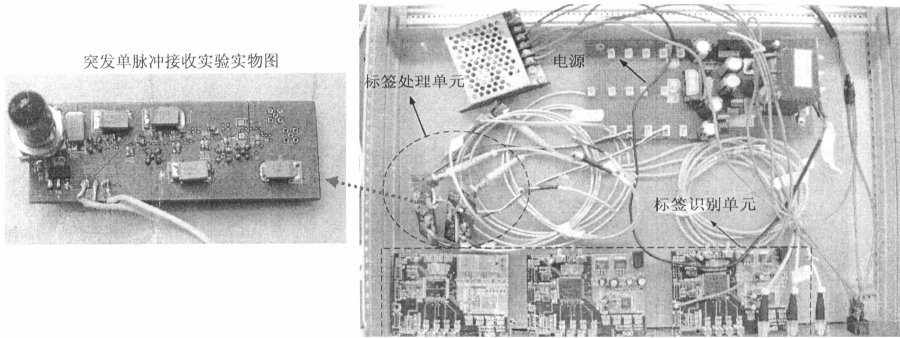


图 7 突发单脉冲接收实物图

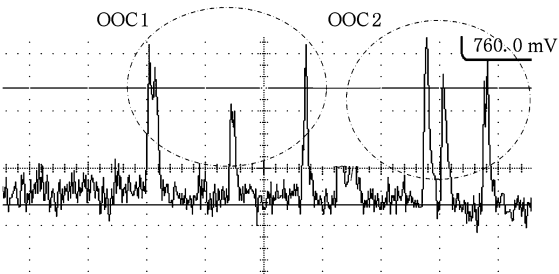


图 8 经过 FBG 光编码器组后的光标签编码波形

4. 实验结果与讨论

实验中, 在 MOOC-OPS 网络的边缘节点上, 采用基于布拉格光纤光栅 (FBG) 的光编码器组进行光标签的写入, 其中用于光标签的多组光正交码码长为 19, 码重为 3, 光编码 chip 周期为 2 ns; 光源采用 OLS15C-M 型号的 ASE. 在核心节点采用对应的光解码器组进行解码, 然后将解码后的光脉冲输入到设计的电路板进行接收实验. 实验结果如图 8—13 所示, 图 8 为经 2 组 FBG 光编码器编码后的光标签波形, 光编码后的信噪比达到了约 10 dB, 实验结果表明成功实现了多组光编码光标签处理. 图 9 为经过多组光编码器后的光标签与净荷波形, 实验结

果可以看出得到了较高信噪比的光标签波形和净荷波形, 获得了较小光标签的旁瓣, 实验结果将有益于光分组信号的传输.

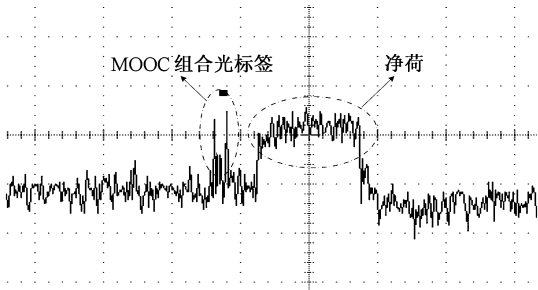


图 9 多组光正交码光标签与净荷波形

图 10 为光标签与净荷分离后, 光标签中任一光正交码经过光解码组后解码的波形, 解码后获得了较高的码字自相关特性, 存在较小的旁瓣, 这些旁瓣很大程度上是由于光编解码器物理特性所产生, 实验结果表明成功实现了 2 组光正交码光标签的光解码. 图 11 为由 PIN-TIA 接收到的波形, 当 PIN-TIA 用直流 3.3 V 供电时, 产生约为 280 mV 的直流偏置, 信号峰值约为 40 mV, 从接收结果看出功率较低, 很难实现 A/D 转换. 图 12 为经过电容电荷展宽网络后经放大处理后的光标签中 1 个脉冲的波形,

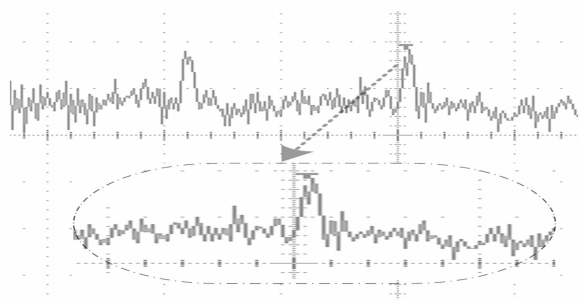


图 10 经过 FBG 光解码器组后的解码波形

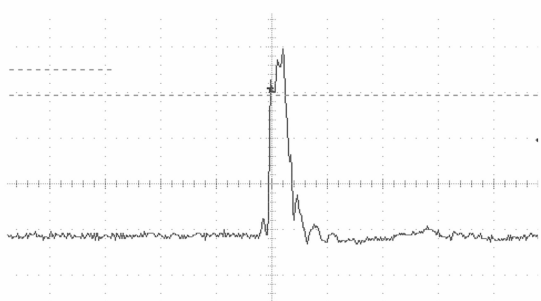


图 13 占空比为 1:1200 时所接收到的突发单脉冲波形

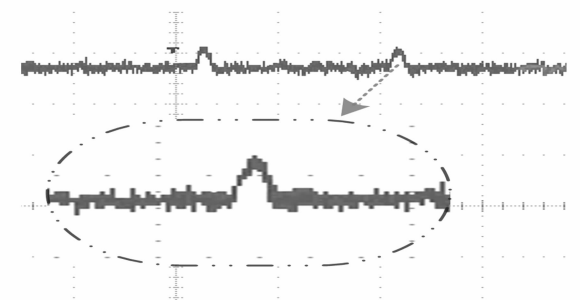


图 11 经过 PIN 接收到的波形

可以看到波形有一定的噪声,这是由于放大器的噪声所导致,信号经过处理后峰值达到约 2.0 V,脉冲宽度约为 4 ns. 图 13 为在占空比为 1:1200 时所接收到的波形,信号的脉冲周期展宽到约 5 ns,信号峰值约为 2.1 V. 该实验结果验证了设计方案能成功地接收到单个窄脉冲信号,为经过处理后的脉冲输入到 FPGA 处理奠定了基础.

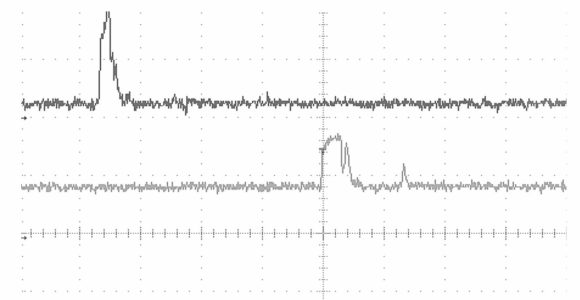


图 12 经过展宽网络和放大处理后的波形

5. 结 论

本文首先分析指出基于多组光正交码组合光标签信号的非连续性、随机、突发性等特征,实验验证了采用传统的接收方案不能正确接收单脉冲信号. 报道了 MOOC-OPS 中基于 MOOC 光标签的接收与处理的实验,完成了对基于多组光正交码组合光标签接收的方案设计与电路版的制作,最后完成了实验研究. 实验结果表明对于周期为 2 ns 的单脉冲光标签信号经过该设计方案处理后,可以得到 5 ns 的脉冲信号,接收到的信号峰值从 40 mV 提高到了 2.1 V,成功验证了设计方案的可行性,该设计对真正实现基于多组光正交码组合或基于光码的光标签光分组交换具有很重要的实用价值.

本论文的部分研究工作在 2008 年 SPIE 会议上进行了交流,Proc. of SPEI, Vol. 7278, pp. 727814 - 1, 2008. 11. (该论文具体信息为“He Y, Qiu K, Zhang C, Design and experiment of optical orthogonal codes-based optical labels receiving in optical packets switching. Proc. of SPIE, Vol. 7278, pp. 727814 - 1, 2008. 11”).

感谢北京基康科技有限公司制作 FBG 光编解码器;感谢实验室王乐阳,许渤,周恒,凌云,王亚伟等的帮助与有益讨论.

[1] Hung W, Chan C K, Chen L K, Tong F 2003 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **15** 1630

[2] Horiuchi Y, Suzuki M 2001 *Electron. Lett.* **37** 1542

[3] Lopez A, Garces I, Losada M A, Martinez J J, Villafranca A, Lazaro J A 2006 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **18** 1696

[4] Wei L, Xin X J, Ma J X 2009 *Chin. Phys. B* **18** 1861

[5] Wen Y G, Zhang Y, Chen L K 2002 *Opt. Fiber Technol.* **8** 43

[6] Wada N, Furukawa H, Miyazaki T 2007 *IEEE J. Sel. Topics*

Quantum Electron. **13** 1551

- [7] Zhang C F, Qiu K, Xu B, Ling Y 2008 *Opt. Commun.* **281** 2436
- [8] Zhang Y, Dai Y T, Sun J, Zhang Y J, Xie S Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 7034 (in Chinese) [张 邴、戴一堂、孙 杰、张治

金、谢世钟 2007 物理学报 **56** 7034]

- [9] Li D, Zhang X L, Huang D X 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2223 (in Chinese) [李 达、张新亮、黄德修 2007 物理学报 **56** 2223]

Experiment and processing of MOOC sequences-based optical labels for optical packet switching^{*}

Zhang Chong-Fu[†] Qiu Kun He Yin

(Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, Education Ministry of China, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

(Received 27 October 2008; revised manuscript received 29 June 2009)

Abstract

The experiment of multiple optical orthogonal codes (MOOC) sequences-based optical labels receiving is reported for the first time. In this work, 2 groups of MOOC with code length 19 and code weight 3 are used to identify optical labels. This paper firstly presents the scheme and principle of optical packets switching networks based on MOOC sequences-based optical labels. Since optical labels contain the optical packet switching and routing information, optical label processing is crucial to achieve successfully packets switching. Therefore, the importance of MOOC-based optical labels processing with multiple inconsecutive, random and burst characteristics in optical packets switching network is pointed out. Considering the MOOC-based optical labels, we design a circuit consisting of widened net and multi-level concatenated amplifiers to receive multiple single-optical-label pulse with a period of 2 ns and low power. The experimental results show that the designed scheme is feasible.

Keywords: optical code-division multiplexing, multiple optical orthogonal code, optical packet switching, optical label receiving

PACC: 4230Q, 4280S

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60807028) and the Key Youth Science and Technology Project of University of Electronic Science and Technology of China (Grant No. JX0801).

[†] E-mail: cfzhang@uestc.edu.cn