第 35 卷　第 6 期　　电 子 科 技 大 学 学 报　　Vol.35　No.6
2006 年 12 月　　Journal of University of Electronic Science and Technology of China　　Dec. 2006

一种新型的全光再生节点

沈　鑫，邱　昆

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室　成都　610054)

【摘要】提出了一种能够对采用副载波复用(SCM)标签技术的光分组信号进行再生的节点结构。该节点结构简单，不用进行波长变换，可以对SCM标签信号与负载信号分别进行全光再生。仿真结果表明再生节点可以保持SCM标签信号与负载信号频谱的稳定，不会产生串扰，再生效果良好。

关　键　词　副载波复用;　全光标签交换;　全光再生器;　串扰
中图分类号　TN929.11　　文献标识码　A

A Novel All-Optical Node with Regeneration

SHEN Xin，QIU Kun

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission & Communication Networks of Ministry of Education, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China　Chengdu　610054)

Abstract　This paper proposes an all-optical node which can regenerate the optical packet using the SCM label. The node has a simple structure and do not need wavelength conversion. The node can regenerate the SCM label and payload simultaneously. The simulation result demonstrates that the node can stabilize the spectrum of SCM label and payload, and suppress the crosstalk and regenerate the signal obviously.

Key words　subcarrier multiplexing;　all-optical label switching;　all-optical regenerator;　crosstalk

全光标签交换技术是在光分组头上利用光技术附加有效改变光分组交换性能的光标签技术。目前关于光标签头与分组的复用存在多种技术方案，但在这些全光的标签分组交换解决方案中，副载波复用(Sub Carrier Multiplexing，SCM)技术已引起了广泛的关注[1]。同其他光通信系统一样，光分组与标签在光网络中传输时要受到许多因素的影响。光纤的非线性效应与群速度色散(Group Velocity Dispersion，GVD)联合作用，光放大器的自发辐射噪声(Amplified Spontaneous Emission，ASE)以及增益饱和引起的非线性等不利因素，造成了脉冲序列到达时间抖动、光信号脉冲形状和频谱的畸变、消光比下降，限制了整个系统和网络的传输速率和距离。因此，需要适时地采用全光再生技术。

目前对副载波复用分组信号的再生主要采用光电结合的方式，在光域上对负载信号进行再生，而标签信号的再生则在电域上进行[2]。由于该方式必须进行光电转换，提高了节点的复杂性。本文根据副载波复用分组信号产生的特点，提出了一种能够对副载波标签信号和负载信号进行全光再生的节点结构。

1　基本原理

1.1　再生原理

现在的副载波复用分组信号的产生一般是采用文献[3]中所述的方法：比特率较低的标签信号，首先以移幅键控(Amplitude Shift Keying，ASK)方式调制高频载波信号，调制后的射频载波信号与比特率较高的基带负载信号同时调制差分结构的马赫-曾德尔(M-Z)调制器。通过这种调制方式得到的低速率标签信号，是通过射频载波信号的包络表现出来的。负载信号则是直接通过光波的通断表现出来。当检测标签信号时，采用的是包络检测，如果包络出现波动与畸变，检测就会得到错误的结果。但要对标签信号进行再生，只需考虑包络的情况。因此，如果一种全光再生器，其响应速率达到射频信号的振荡频率，可对包络产生整形效果，完成对SCM标签信号的再生。

副载波复用光分组信号的再生，除了要在时域上对波形进行整形与放大处理，同时要求在频域上分组

收稿日期：2004 - 07 - 12
基金项目：教育部优秀青年教师教学科研计划资助项目
作者简介：沈　鑫(1980 –)，男，硕士，主要从事宽带光纤传输方面的研究.

信号的频谱保持稳定。图1所示是分组信号的频谱示意图。图1中，中心区域为负载信号的基带频谱，而两边的双边带频谱则是标签信号产生的。如果再生后，两部分信号频谱发生较大的改变或者展宽，则会产生严重的串扰，破坏分组信号的稳定。因此，在对分组信号的再生处理过程中，要尽可能保持分组频谱的稳定性。

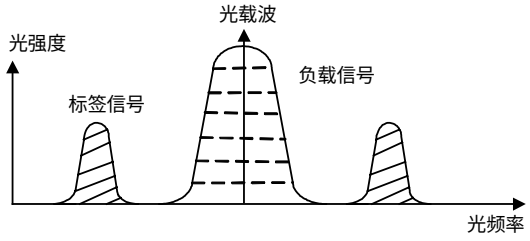


图1 分组信号频谱示意图

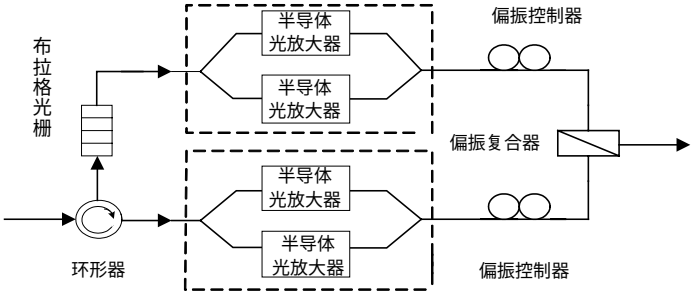


图2 再生节点结构

1.2 再生节点的设计

图2所示为半导体光放大器(Semiconductor Optical Amplifier，SOA)的全光再生节点结构。由于在副载波复用分组信号中，标签与负载在时间上是重叠的，如果对其同时进行再生，会改变它们的相对功率比值，破坏它们的波形，并产生严重的串扰。因此在设计时，选择了双臂型结构对标签与负载信号分别进行再生。光分组信号首先被环形器引入光纤布拉格光栅滤波器，光栅反射频率为负载所在的中心波率。由于SCM标签信号与负载信号的频谱是分开的，因此，标签信号可通过光栅进入上臂的再生器，同时，负载信号被反射回环形器，进入了下臂的再生器。这样就可达到分离标签与负载信号，对它们分别进行再生的目的。

再生节点中使用的再生器响应速率很高，并且可保持波长不变、信号频谱稳定[4]。再生后的标签与负载信号，分别经过一个偏振控制器，控制它们的偏振达到正交状态。两路偏振正交的信号，最后通过一个偏振合成器重新进行复合，生成新的再生分组信号。采用该方式可避免复合负载与标签信号在复合过程中引入不必要的串扰。

2 系统结构

为了验证该种再生节点的再生能力，设计了仿真系统结构，如图3所示。

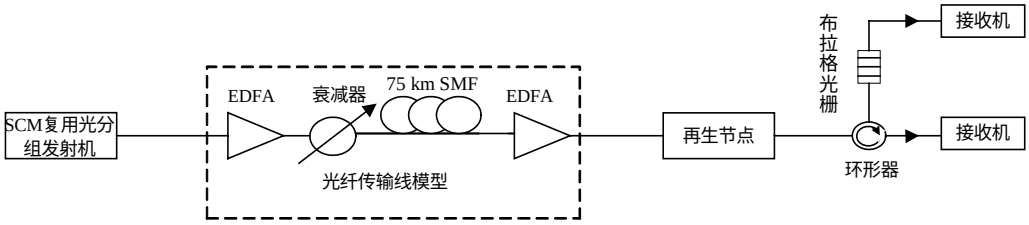


图3 仿真系统结构

系统分为SCM复用光分组发射机模块、光纤传输线模块、全光再生节点、信号接收模块。发射机模块采用图1中的结构。信号发生器产生155 Mb/s的非归零码(Non-Return-to-Zero，NRZ)标签信号与2.5 Gb/s的NRZ负载信号，标签信号首先调制15 GHz的射频载波信号，调制后的射频载波信号再与基带负载信号一起通过差分马赫-曾德尔调制器调制波长为1 552.5 nm的光波，得到带有双边带频谱标签的光分组。光分组信号接着进入光纤传输线模块，它包括两个掺饵光纤放大器(Erbium Doped Fiber Amplifier，EDFA)、一个衰减器、一段75 km长的普通单模光纤，可模拟噪声与色散对光信号的影响，劣化的光信号经过再生节点再生后，进入信号接收模块进行检测，使用光环形器与布拉格光栅分离标签与负载。光栅的中心频率也为1 552.5 nm，带宽为20 GHz，最大反射率为99.9%。检测结果与再生前的情况进行比较，可看出到再生节点的再生能力。

表1 半导体光放大器参数

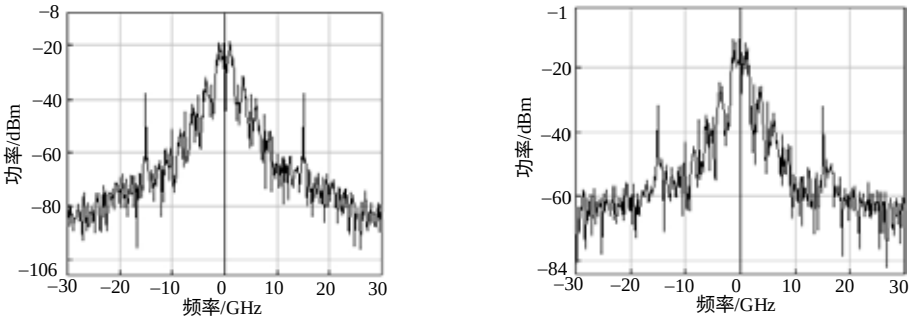
参数	数值
有源区长度/m	500.00×10^{-6}
有源区宽度/m	3.00×10^{-6}
有源区厚度/m	80.00×10^{-9}
与载流子无关吸收损耗/m^{-1}	40.00×10^{2}
模场限制因子	0.15
微分增益/m	2.78×10^{-20}
透明载流子密度/m^{-3}	1.40×10^{24}

表1所示是再生器中半导体光放大器的主要参数。其中每个再生器上臂的SOA偏置电流为150 mA，下臂的SOA偏置电流为138 mA。

3　仿真结果与讨论

3.1　频　域

通过仿真，得到了再生前与再生后副载波复用分组的频谱图，如图4所示。SCM标签信号的双边带频谱没有向中心频率区域扩展，标签与负载的中心频率间隔仍然为15 GHz，负载信号的基带频谱也没有发生展宽。由于标签信号与负载信号的频谱均未发生大的变化，因此再次复用后不会产生串扰，分组总频谱保持了稳定。同时，虽然负载信号与标签信号的功率被SOA放大了，但是它们之间的相对功率比值仍然保持在25 dB左右，与再生前相同，保持了分组信号的稳定性。

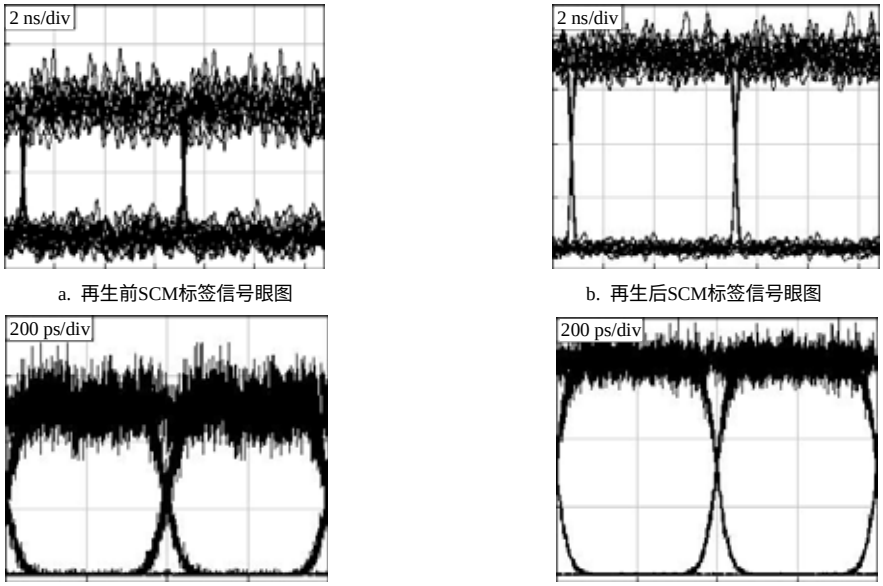


a. 再生前分组总频谱　　b. 再生后分组总频谱

图4　再生前与再生后副载波复用分组的频谱图

3.2　时　域

通过仿真，得到时域上标签信号与负载信号再生前与再生后的眼图，如图5所示。从图中可看到再生节点的再生效果。



a. 再生前SCM标签信号眼图　　b. 再生后SCM标签信号眼图

c. 再生前负载信号眼图　　d. 再生后负载信号眼图

图5　标签信号与负载信号再生前与再生后的眼图

再生前出现的振幅浮动与噪声得到了抑制，再生过程没有加剧抖动的程度，眼图质量有了显著提高。根据上述仿真结果，再生节点的特点有：(1) 负载与标签都能够在光域上得到再生，避免了光电转换的复杂性；(2) 再生后的负载与标签的频谱基本保持不变，再次复用时没有产生串扰：(3) 维持了分组信号的波长不变。

(下转第878页)

图1 原始Lena图像

图2 含噪声Lena图像

图3 去噪后Lena图像

本文研究工作得到了国家留学基金委、瑞士奖学金委员会的联合资助，并得到Pierre Vandergheynst教授的指导和帮助，在此表示感谢。感谢西南交通大学校基金资助。

参 考 文 献

[1] Mallat S, Zhang Z. Matching pursuit with time-frequency dictionaries[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1993, 41(12): 3397-3415.

[2] Bergeau F, Mallat S. Matching pursuit of images[C]//Proceedings of IEEE-SP, Piladelphia, 1994.

[3] Neff R, Zakhor A. Very low bit-rate video coding based on matching pursuit[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech., 1997, 7(1): 158-171.

[4]Phillips P. Matching pursuit filter design[C]//Proceedings of the 12th IAPR International Conference on SP., Jerusalem Israel, 1994, 3: 57-61.

[5] 傅 霆, 尧德中. 稀疏分解的加权迭代方法及其初步应用[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 34-37.

[6]SESSION MA-S2: Redundant representations for visual communications[C]//Proceedings of IEEE ICIP, Barcelona, Spain, 2003, 3: 33-64.

[7] Vandergheynst P, Frossard P. Efficient image representation by anistropic refinement in matching pursuit[C]//Proceedings of IEEE on ICASSP, Salt Lake City, 2001, 3: 1757-1760.

编 辑 黄 莘

(上接第871页)

4 结 论

本文根据SCM复用光标签交换技术的特点，提出了一种全光再生节点结构。通过搭建仿真系统，得到了再生前与再生后SCM标签信号和负载信号的频谱图以及时域的波形图。通过比较，可以看到，该种再生节点保持了分组信号频谱的稳定性，避免了串扰的产生，同时对劣化的信号具有很好的再生效果。因此，该节点可应用于副载波复用标签交换系统中。

参 考 文 献

[1] Chi Nan, Zhang Jian-feng, Jeppesen P. All-optical subcarrier labeling based on the carrier suppression of the payload[J]. Photonics Technology Letters, 2003, 15: 781-783.

[2] Jeon M Y, Pan Z, Cao J, et al . Demonstration of all-optical packet switching routers with optical label swapping and 2R regeneration for scalable optical label switching network applications[J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21: 2723-2733.

[3] Carena A, Vaughn M D, Gaudino R, et al. Opera: An optical packet experimental routing architecture with label swapping capability[J]. Journal of Lightwave Technology, 1998, 16: 2135-2145.

[4] Wolfson D, Hansen P B, Kloch A, et al. All-optical 2R regeneration at 40 Gbit/s in an SOA-based mach-zehnder interferometer[C]// OFC/IOOC’99, California, 1999.

编 辑 孙晓丹