

# 基于光纤光栅的波分复用系统设计<sup>①</sup>

朱丹丹<sup>②</sup> 韦泽慧 王和梦 房华蕾 冀亚坤 樊首博

(燕山大学电气工程学院 秦皇岛市 066004)

**摘要** 设计了两种基于光纤布拉格光栅的波分复用(WDM)系统,一种为基于光纤光栅的四路波分复用系统,另一种为结合光分插复用器(OADM)的四路波分复用系统。给出了基于 OptiSystem 的波分复用光传输系统仿真模型,对复用及解复用后的光信号进行仿真得出了光谱图,对传输性能及 Q 因子、误码率、眼图等参数进行分析。在第二种结构中光纤光栅作为色散补偿器、光反射器和滤波器使用,可以实现任一波长的上载和下路。两种波分复用系统眼图张开良好,误码率均低于  $10^{-9}$ 。证明了波分复用系统的正确性和设计方案的可行性。

**关键词** 光纤光栅, 波分复用(WDM)系统, 光分插复用器(OADM), 误码率(BER), OptiSystem

## 0 引言

波分复用(wavelength division multiplexing, WDM)技术是在同一根光纤中同时传输两个或众多不同波长光信号的技术。波分复用技术能在现有成熟器件的条件下,把分支通道的信息组合起来到一个通道中,提高了通信的传播速率,具有广阔的应用前景<sup>[1-3]</sup>。随着 Internet 的迅猛发展,因特网业务和其它新型数据通信业务在整个世界范围内得到了极大应用。这就对整个通信骨干网的传送带宽提出了很高的要求,并出现了光纤耗尽现象和对带宽的无限渴求。WDM 技术满足了点对点系统中光纤耗尽现象,它可以在节省 30% ~ 50% 的成本情况下,极大地提供光纤中的传输容量。WDM 技术对网络升级、宽带新业务发展、充分挖掘和利用光纤带宽能力,特别是在对实现超高速通信,具有十分重要的意义<sup>[4,5]</sup>。光纤光栅是通过特殊工艺使光纤纤芯的折射率沿着光纤轴呈现出周期变化的特殊的光纤结

构。它拥有普通光纤的特性,也具有很多独特的优点。光纤光栅的出现,使构建复杂的通信网和传感网络成为可能。光纤光栅在最近几年得到了空前发展,极大地拓宽了光纤技术的应用范围,充分体现了其重要的应用价值<sup>[6,7]</sup>。光纤光栅的带宽较小,且经过变迹后有很高的边模抑制比,所以在波分复用系统中有很重要的应用。能作为上/下路波长复用器,也能制成解复用器。利用光栅的带通滤波性选择需要的波长通过,加上环形器等就可实现波分复用<sup>[8-10]</sup>。本文围绕光纤光栅的波分复用系统展开了深入的研究,建立了基于光纤光栅的波分复用仿真系统。

## 1 基于光纤光栅的波分复用系统

图 1 为基于光纤光栅的 4 路波分复用系统。

在发送端首先利用 4 组器件产生了 4 个不同波长的光信号。光源部分仿真结构模型如图 2 所示,在每一组器件中,包含了一个随机二进制码发生器

<sup>①</sup> 河北省自然科学基金(F2014203157)和河北省科技支撑计划(15210408)资助项目。

<sup>②</sup> 女,1978 年生,博士,副教授;研究方向:光电检测,光纤通信及光学传感器的研究;联系人,E-mail: zhudandan1896@126.com  
(收稿日期:2016-12-10)

(PRBSG),一个不归零码脉冲(NRZ Pulse)发生器,一个发光二极管源(CW Laser)和一个马赫增德尔(Mach-Zehnder, M-Z)调制器。PRBSG 和 NRZ Pulse 可以产生一个欲传输的数字基带信息,这个数字基带信号对 CW Laser 产生的光载波通过 M-Z 调制器进行调制,从而产生一路参与复用的光源。本仿真系统共有四个要传输的数字基带信息,因此,需要四组器件产生四个调制后的光源。为了避免啁啾

现象,每个光信号的产生都采用了外调制方式,调制器采用了马赫增德尔 M-Z 调制器。由 4 路复用器将光信号复用后注入光纤。信道采用单模光纤和掺铒光纤放大器(erbium-doped fiber amplifier, EDFA)。在接收端,首先利用解复用将 4 路复用的光信号分路,之后利用光电二极管进行检测,将光信号转换为电信号,再经低通滤波和 3R 再生器恢复发送的信息。

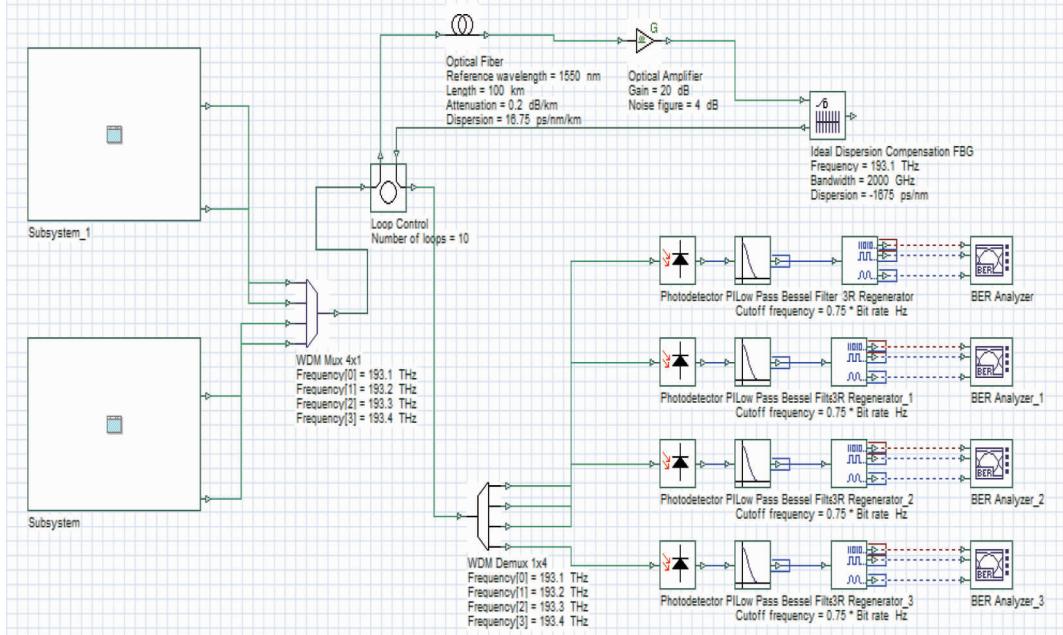


图 1 基于光纤光栅的波分复用系统

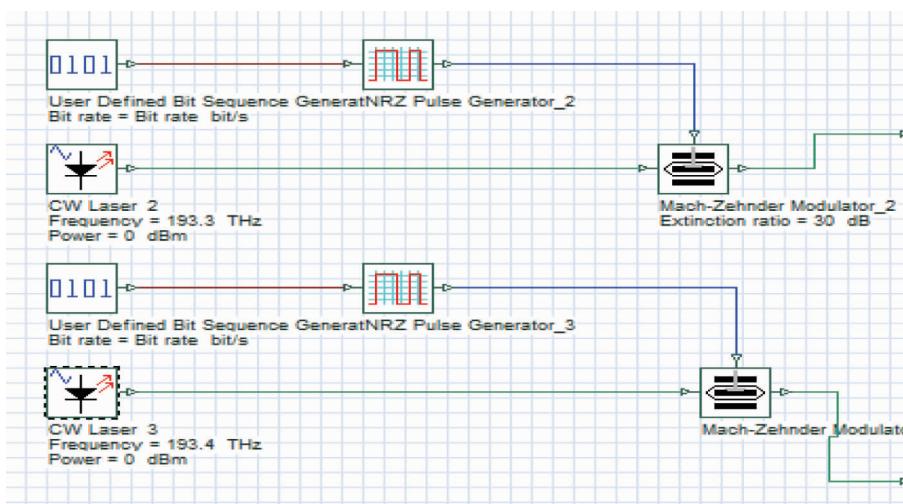


图 2 光源部分仿真结构模型

四个光源的波长各不相同,分别为 193.1 THz、193.2 THz、193.3 THz 和 193.4 THz。这 4 个光源通

过 WDM Mux 4 × 1 复用器复用,产生一个 4 路的光复用信号,首先采用了一个 100km 的单模光纤与掺

铒光纤放大器(EDFA)组合。EDFA 可以进行功率的放大,增加传输距离。而 Loop Control 是循环控制,可以控制上边的单模光纤与 EDFA,这段线路重复多少次。这里设置为 10,则实际传输了 1000km。在这之后,经过一个理想色散补偿布拉格光栅,来进行色散补偿。

波分复用系统接收端输出眼图如图 3 所示。从图中可以看出,波分复用结果较良好。这四个输出光波的误码率依次为  $2.08364e-058$ 、 $2.19379e-040$ 、 $1.35221e-051$  和  $4.84215e-047$ ,均低于  $10e-9$ ,且眼图张开良好,说明此波分复用系统波分复用性能良好,可以正常使用。

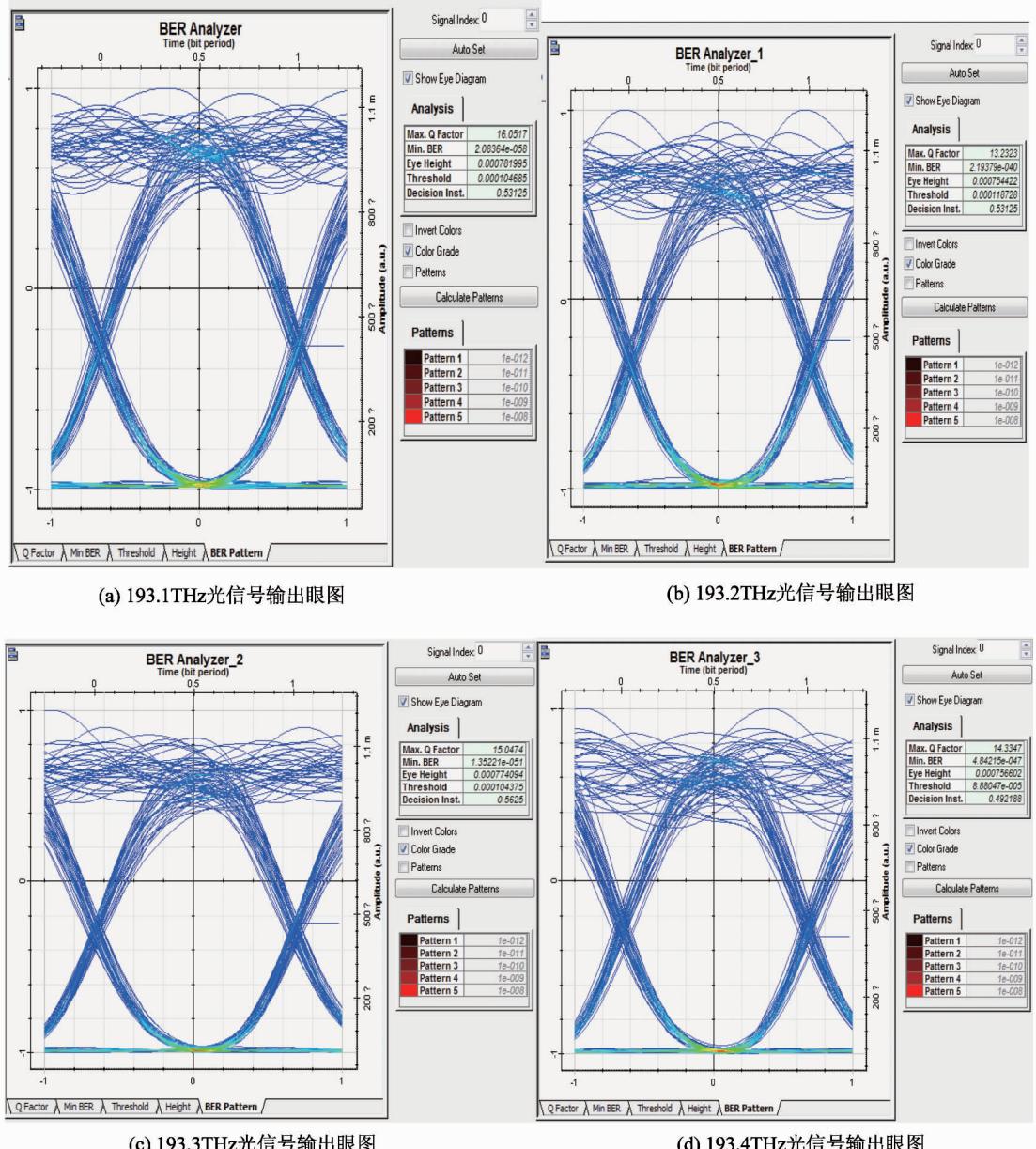


图 3 输出眼图

## 2 结合光分插复用器的波分复用系统设计

结合光分插复用器(optical odd-drop multiplexer, OADM)的波分复用系统整体仿真图如图 4 所示,这个波分复用系统采用了一部分 OADM 的结构,也加入了光纤光栅在此系统中作为色散补偿器、光反射器和滤波器使用。

首先在系统光源输入端,共有4个组件,同时输入四个波长。分别频率为 $\lambda_1$ (193.1THz)、 $\lambda_2$

(193.2THz)、 $\lambda_3$ (193.3THz)和 $\lambda_4$ (193.4THz)。四路光源经过波分复用系统4x1复用器进行复用。

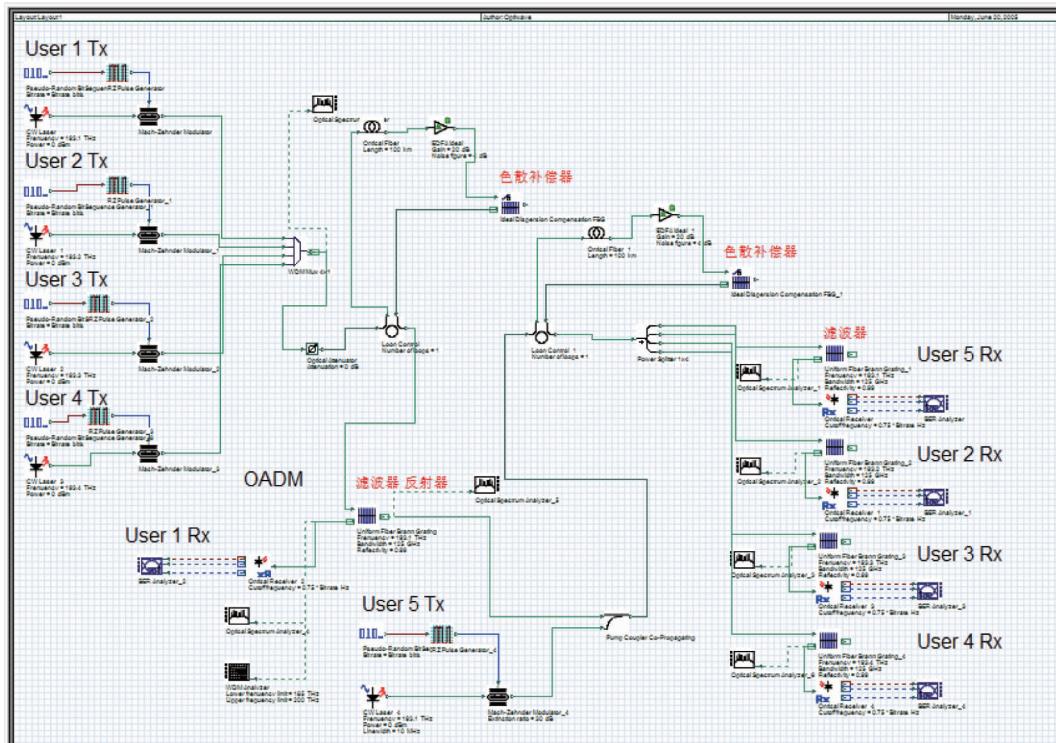


图4 结合OADM的光波分复用系统

如图5所示,这是复合光波形图,从图中可以清楚地看到4个不同波长的波峰,代表了复合前的4个不同波长的光信号。

复合光经过光衰减器后,进入光纤,再经过EDFA进一步放大功率后,到达第一个光纤布拉格光栅

进行色散补偿。经过色散补偿器后。进入循环控制(Loop Control)。它可以控制前面光纤与EDFA这部分重复了多少次,也可以到达增大了传输距离目的。

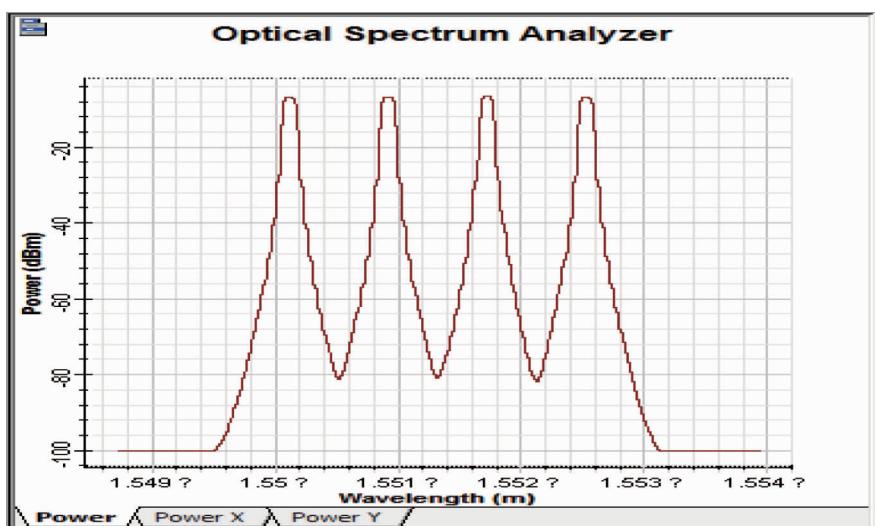


图5 复合光波形图

在循环控制结构结束之后,就到达了系统的光分插复用器(OADM)部分。这部分可以实现原信号内任意一路信号的提取,同时也不影响其余信号的继续传输。这里使用的光纤光栅为均匀布拉格光栅。以想提取  $\lambda_1$  (193.1 THz), 其他三路信号继续传输为例。设置均匀布拉格光栅中心波长为  $\lambda_1$

(193.1 THz), 所以  $\lambda_1$  被反射到光接收机输出。 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  继续前进到混合传播泵浦耦合器。

OADM 部分后剩余信号的波形如图 6 所示。这里可以看到,由于 OADM 部分频率为 193.1 THz 的信号被成功提取了出来,而提取过后的剩余复合信号,193.1 THz 的信号功率也大幅度降低了。

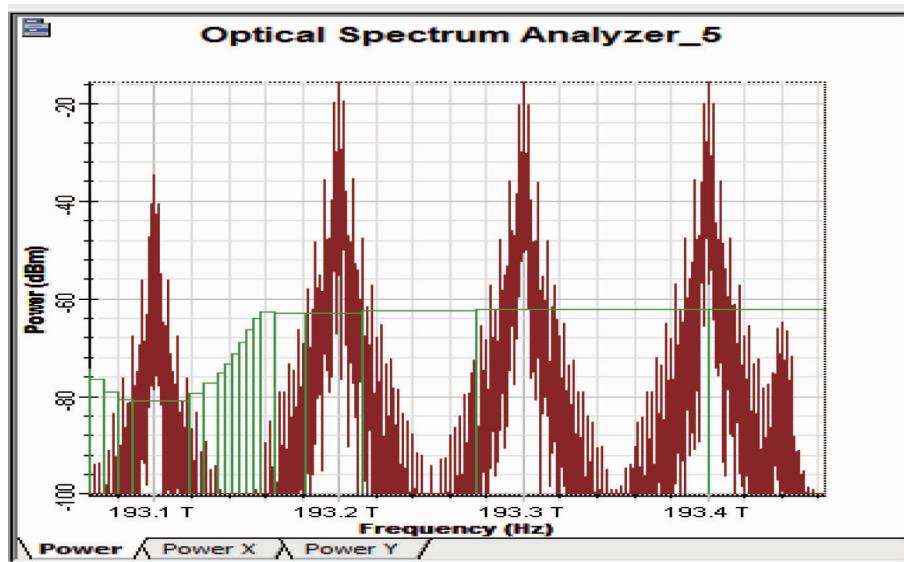


图 6 OADM 部分后剩余信号的波形

加入  $\lambda_5$  后的新复合光,再次到达光纤、EDFA、理想色散补偿布拉格光栅与循环控制的复合结构,进行传输与功率放大,保证新复合光也能够传输足够的距离。图 7 为新复合光的输入波形。其中,频

率为 193.1 THz 的光,由于是新加入的,所以功率较大,而其他三组光则因为前边传递产生的损耗,功率有些降低,不过总体输入波长仍达到了预期效果。

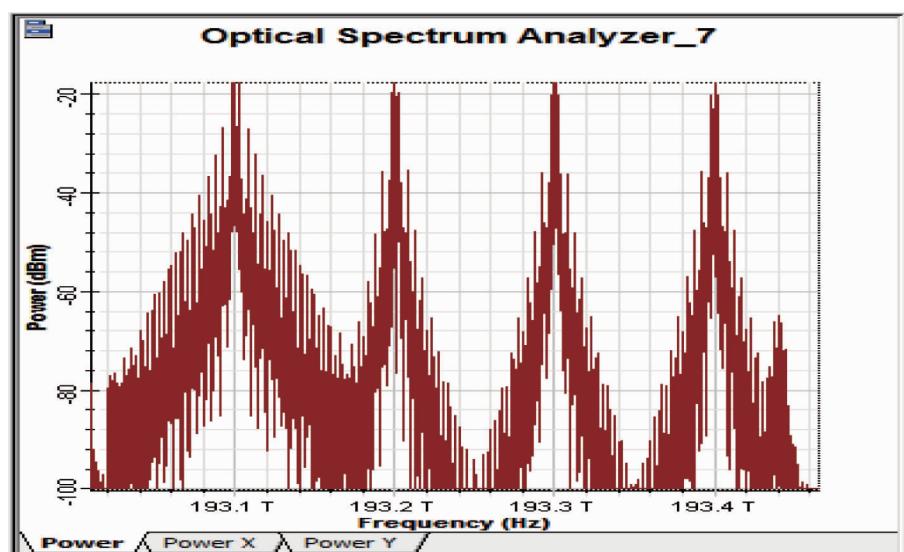


图 7 新复合光输入波形

在系统的输出端,这里采取一个功率分配器与均匀光纤布拉格光栅的组合,作为解复用器使用。新复合光到达功率分配器后,光功率被平均分为4份,每一份都包含输入的4个波长。分开后的每一份光,都到达均匀光纤布拉格光栅,这里把光纤光栅的中心波长,依次设置为 $\lambda_5$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ ,则与中心波长相同的光波,就被光纤光栅反射,到达光接收

机。光接收机可以完成光信号到电信号的转换,从而提取出波分复用系统所携带的信息。

该WDM系统输出端眼图如图8所示,从输出端眼图可以看出,眼图张开良好,且这4个输出光信号的误码率依次为 $3.22476e-128$ 、 $1.03727e-244$ 、0和 $1/27078e-215$ ,均低于 $10e-9$ ,说明此波分复用系统波分复用性能良好。

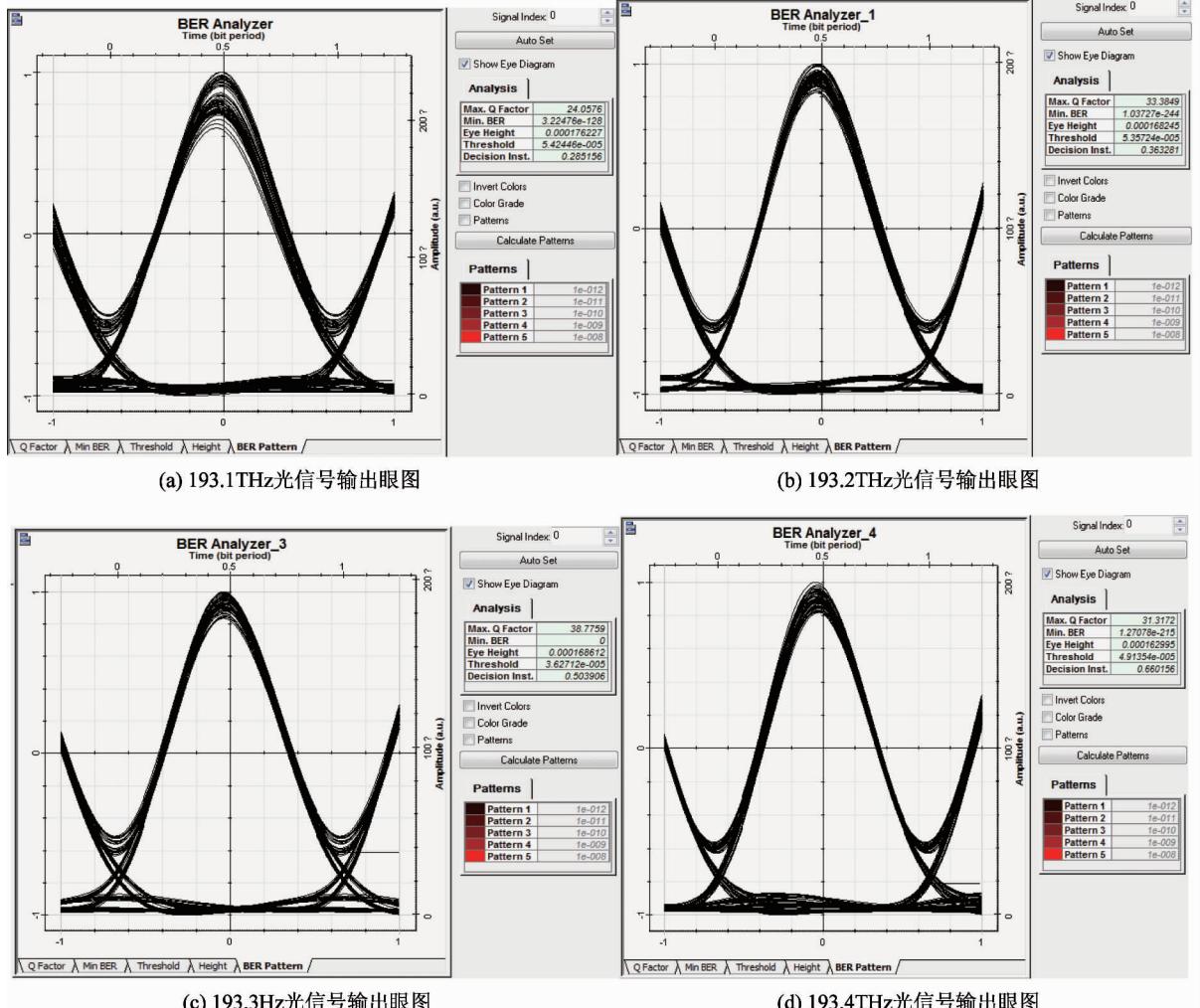


图8 输出眼图

## 4 结 论

设计了两种基于光纤光栅的光波分复用(WDM)系统。第一种WDM系统是普通的WDM系统,将两种或多种不同波长的光载波信号(携带各种信息)在发送端经复用器(亦称合波器, Multiplexer)汇合在一起,并耦合到光线路的同一根光纤中进行传输;在接收端,经解复用器(亦称分波器或称去复用器, Demultiplexer)将各种波长的光载波分离,然后由光接收机作进一步处理以恢复原信号。第一种WDM系统4个输出光波的误码率依次为 $2.08364e-058$ 、 $2.19379e-040$ 、 $1.35221e-051$ 和 $4.84215e-047$ ,均低于 $10e-9$ ,且眼图张开良好。第

xer)汇合在一起,并耦合到光线路的同一根光纤中进行传输;在接收端,经解复用器(亦称分波器或称去复用器, Demultiplexer)将各种波长的光载波分离,然后由光接收机作进一步处理以恢复原信号。第一种WDM系统4个输出光波的误码率依次为 $2.08364e-058$ 、 $2.19379e-040$ 、 $1.35221e-051$ 和 $4.84215e-047$ ,均低于 $10e-9$ ,且眼图张开良好。第

二种 WDM 系统是基于 OADM 的 WDM 系统,复合光经过光衰减器后,进入光纤,再经过掺铒光纤放大器(EDFA)进一步放大功率后,到达第一个光纤布拉格光栅进行色散补偿。经过色散补偿器后,进入循环控制(Loop Control)。就到达了系统的光分插复用器(OADM)部分。OADM 的主要功能是从多波长信道中分出或插入一个或多个波长,此系统采用的是基于光纤光栅的可重构型 OADM,相较于普通的 WDM 系统可重构型 OADM 能动态调节 OADM 节点上下通道的波长,可实现光网络的动态重构,使网络的波长资源得到良好的分配。第二种 WDM 系统 4 个输出光信号的误码率依次为  $3.22476e-128$ 、 $1.03727e-244$ 、 $0$  和  $1/27078e-215$ , 均低于  $10e-9$ , 说明此波分复用系统波分复用性能良好。

#### 参考文献

- [ 1 ] 胡台光. 波分复用现状. 光通信技术, 2000, 24(2): 79-82
- [ 2 ] 陈浩祺. 40G DWDM 系统的关键技术. 光通信技术, 2011, 35(3): 22-24

- [ 3 ] 韩力, 李莉, 卢杰等. 基于 Optisystem 的单模光纤 WDM 系统性能仿真. 大学物理实验, 2015, 28(5): 97-101
- [ 4 ] 杜丽霞. WDM 光传送网 8 信道传送实验研究. 实验室研究与探索, 2014, 33(7): 120-124
- [ 5 ] 吕菲, 韦文生, 雷敏等. 基于波分复用光纤传输的通信系统实验. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 41-45
- [ 6 ] 汪广业, 邹念育, 王金鹏等. 基于波分复用技术的 LED 可见光通信的研究. 光通信研究, 2016, 194(2): 67-70
- [ 7 ] 王辉, 杨洋, 刘兵. 基于密集波分复用器的光纤光栅压力传感器解调方法. 激光与光电子学进展, 2016, 53(4): 042803
- [ 8 ] 董海峰, 蔡茂国, 杨淑雯. 光分插复用器技术及其应用. 深圳大学学报(理工版), 2002, 19(2): 34-41
- [ 9 ] 惠战强, 陈素果. 光网络中的光分/插复用器研究. 西安邮电学院学报, 2007, 12(1): 59-61
- [ 10 ] Tsai C M, Lo Y L. Fiber-grating add-drop reconfigurable multiplexer with multichannel using in bi-directional optical network. *Optical Fiber Technology*, 2007, 13(3): 260-266

## Design of wavelength division multiplexing systems based on fiber gratings

Zhu Dandan, Wei Zehui, Wang Hemeng, Fang Hualei, Ji Yakun, Fan Shoubo  
(College of Electric Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

#### Abstract

Two wavelength division multiplexing (WDM) systems based on fiber Bragg gratings were designed. One is a four-channel system, while the other is the four-channel system combining an optical add-drop multiplexer (OADM). A simulation model for wavelength division multiplexing optical transmission systems based on OptiSystem was presented, and the spectrogram was obtained by simulation of the multiplexed and demultiplexed optical signals, and the system's transmission performance, as well as the parameters of Q factor, bit error rate (BER) and eye diagram, were analyzed. In the second system the fiber grating was used as a dispersion compensator, light reflector and a filter, so the upload and download of any wavelength can be realized. The two kinds of WDM systems' eye diagram was good in open, and the BER was below  $10e-9$ , showing the WDM systems' s and their design's feasibility.

**Key words:** fiber grating, wavelength division multiplexing (WDM) system, optical add-drop multiplexer (OADM), bit error rate (BER), OptiSystem