

广播与选择型 ROADM 的设计与实现

陈利兵,杨 冰,张阳安,黄永清,李 玲,任晓敏

(北京邮电大学 光通信与光波技术教育部重点实验室,北京 100876)

摘要:文章对动态可重构光分插复用器(ROADM)进行了介绍;对实现 ROADM 的多种方案进行了归纳整理和简要分析;对其中解复用/开关矩阵/复用(DSM)、DSM 波段、广播与选择(B&S)3 种典型的 ROADM 结构进行了较详细的说明。文章作者设计并实现了广播与选择型 ROADM,并对实验系统的上/下路功能和信道功率均衡功能进行了验证。

关键词:动态可重构;光分插复用器;广播与选择;功率均衡

中图分类号:TN915 文献标识码:A 文章编号:1005- 8788(2006)02- 0061- 04

Design and implementation of broadcast & select-based ROADM

CHEN Li-bing, YANG Bing, ZHANG Yang-an, HUANG Yong-qing, LI Ling, REN Xiao-min

(Key Laboratory of Optical Communication and Lightwave Technologies, Ministry of Education

Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: This article gives an outline of dynamic reconfigurable optical add/drop multiplexer (ROADM). A brief analysis and classification have been made of a variety of solutions for the implementation of ROADM. Three typical structures of Demux/Switch/Mux (DSM), DSM band, and the “Broadcast and Select” (B&S) are described in details. B&S-based ROADM has been designed and implemented. The add/drop and dynamic channel equalization functions in the experimental system are verified.

Key words: dynamic reconfigurable; Optical Add/Drop Multiplexer(OADM); broadcast and select; channel equalization

随着数据业务尤其是 Internet 业务的不断增长,对传送网动态资源分配能力的要求不断提高。在这种情况下,需要在光层添加各种能够动态分配波长/波带/光纤等资源的智能设备。光分插复用器(OADM)是实现智能光层的重要节点设备。OADM 可以分为两大类^[1]:固定 OADM 和可重构 OADM(ROADM)。前者的上/下路波长是预先设定的,开始运行后只能由人工进行重新配置,重配时必须停止业务传送;后者的上/下路波长可以根据网络需求进行动态重配,而且不影响其他波长上正在运行的业务。显然,ROADM 更符合网络发展的需要。

1 ROADM 分类

ROADM 设备中的核心是动态波长上/下路部分。它的实现方案有很多种^[2~3],大致可以分为 3 类:解复用/开关矩阵/复用(DSM, Demux/Switch/Mux)型、DSM 波段型和广播与选择型(B&S, Broadcast & Select)^[4]。

DSM 型 ROADM(如图 1 所示)^[5]将所有波长解复用之后,送入开关矩阵,开关矩阵将直通波长送入复用器,将下路波长送入下路端口,进入本地的电端处理设备。而本地的上路波长则通过上路接口经开关矩阵进入复用器。上路与直通波长在复用器中

完成合波。DSM 型 OADM 的信道功率均衡是由每个信道上的电可调衰减器(EVOA)和信号监控分接器(Monitoring Tap)配合完成的。

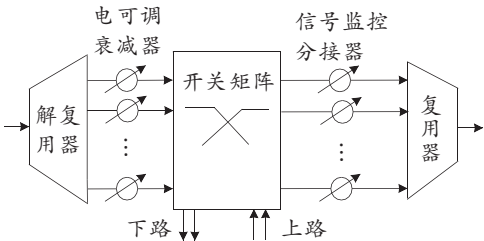


图 1 DSM 型 ROADM

DSM 波段型 ROADM(如图 2 所示)与 DSM 方案基本原理相同,只是在解复用器处采用了波段复用/解复用的方法,经过多级波段解复用之后得到单个波长。这种方案可以降低复用器/解复用器的端口数量,减小开关矩阵的规模,从而节省成本。而且,如果所需的上/下路波长都集中在某个波段上,那么只需要对该波段采用 DSM 方案,其他波段无需使用开关矩阵,直接进入复用器即可。这样可以进一步降低设备成本。

B&S 型 ROADM(如图 3 所示)的设计思路与上述两种方案有很大不同。在下路部分,它采用了功率分配的方法,采用 1 : 2 无源分路器将输入光功率平均分配给波长阻塞/均衡器(DCE)和下路模块。

收稿日期:2005-09-17
作者简介:陈利兵(1978-),男,河南郑州人,博士,主要从事光网络节点结构的研究与设计。

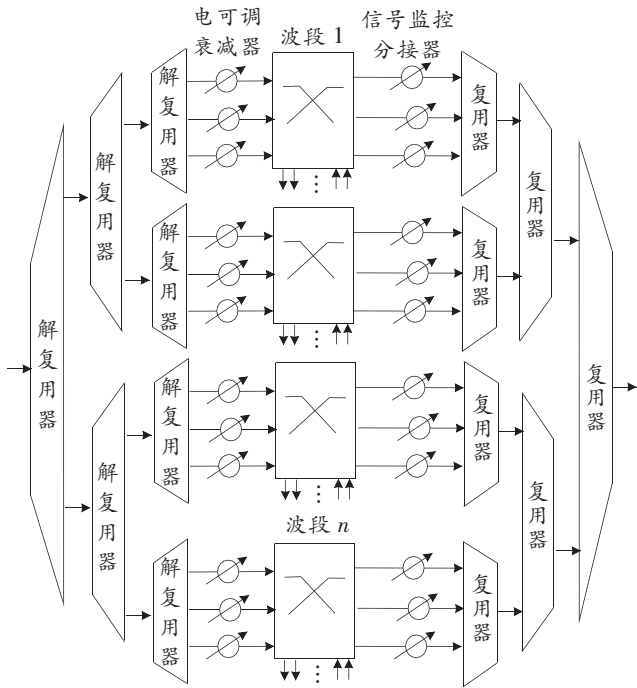


图 2 DSM 波段型 ROADM

波长阻塞器和下路模块同时获得包含全部波长的相同的光信号。DCE 将下路波长阻塞掉，而将直通波长送入 2：1 无源耦合器。下路模块由光放大器（掺铒光纤放大器（EDFA））、无源分路器、可调谐滤波器组成。其中光放大器的作用是补偿两次分路造成的功率损耗；1：X 分路器的作用是将光功率继续平均分配给 X 个下路端口；可调谐滤波器的作用是将需要下路的波长从群路波长中选择出来。在上路部分，本地上路波长首先进入 X：1 耦合器，经过动态增益均衡器（DGE）后进入 2：1 无源耦合器，与直通波长合并。DCE 与 DGE 将联合作用，对各个波长信道进行功率均衡。

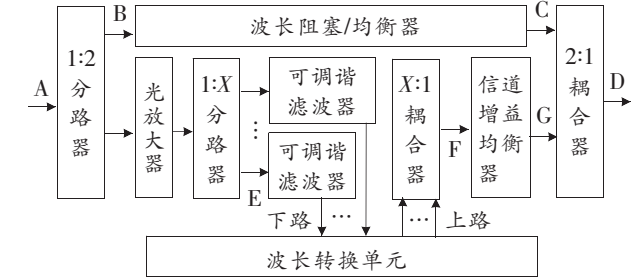


图 3 广播与选择型 ROADM

本文作者采用 B&S 型 ROADM 方案实现了 C 波段任意波长动态上/下路。

2 关键器件与指标

B&S 型 ROADM 模块使用的主要器件包括：

1：2 无源分路器、1：X 无源分路器、2：1 无源耦合器、X：1 无源耦合器、EDFA、DCE、DGE 等模块。其中最关键的器件是 DCE 和 DGE。DCE 模块不仅实现波长阻塞功能，而且要对直通波长进行衰减，与 DGE 配合实现功率均衡。在本实验中，为了提高设备整体的灵活性，我们将下路部分的可调谐滤波器放置在光传输单元（OTU）内，因此在测试时没有包含可调谐滤波器之后的测试结果。

DCE 和 DGE 模块的指标分别如表 1 和表 2 所示。EDFA 用于上/下路信号的放大，指标如表 3 所示。实验系统中的其他器件均为无源器件。其中，1：2 耦合器的衰减约为 3 dB；采用上/下路 8 波的配置，因此，1：8 和 8：1 耦合器用于功率分配，各支路到输入端的衰减均为 9 dB 左右。

表 1 DCE 模块的指标

参数名称	参数值
波长范围	C 波段
信道数量	40
信道间隔/GHz	100
信道带宽/GHz	+/-27.5
信道均衡范围/dB	20
带内纹波/dB	<0.2
信道阻塞衰减/dB	>43
插入损耗/dB	<5
插入损耗一致性/dB	0.5
偏振相关损耗/dB	0.3
偏振模色散/ps	0.5
最大光功率/mW	500

表 2 DGE 模块的指标

参数名称	参数值
波长范围	C 波段
信道数量	40
信道间隔/GHz	100
波长阶跃响应	4 nm 内 15 dB
衰减范围/dB	>15
插入损耗/dB	<5.7
偏振相关损耗/dB	<0.3
偏振模色散/ps	0.5
色度色散/ps/nm	+/-3.0
回波损耗/dB	50
残留纹波/dB	0.2
最大光功率/mW	500

表 3 EDFA 模块的指标

参数名称	参数值
工作波长/nm	1 530~1 565
输入功率/dBm	-12~+3
噪声系数/dB	<5.5
增益平坦度/dB	+/-1
输入隔离度/dB	>30
输出隔离度/dB	>30
输入回波损耗/dB	>40
输出回波损耗/dB	>40
偏振模色散/ps	<0.5
输入泵浦泄漏/dBm	<-28
输出泵浦泄漏/dBm	<-30
功耗/W	<15

3 实验方案与测试结果

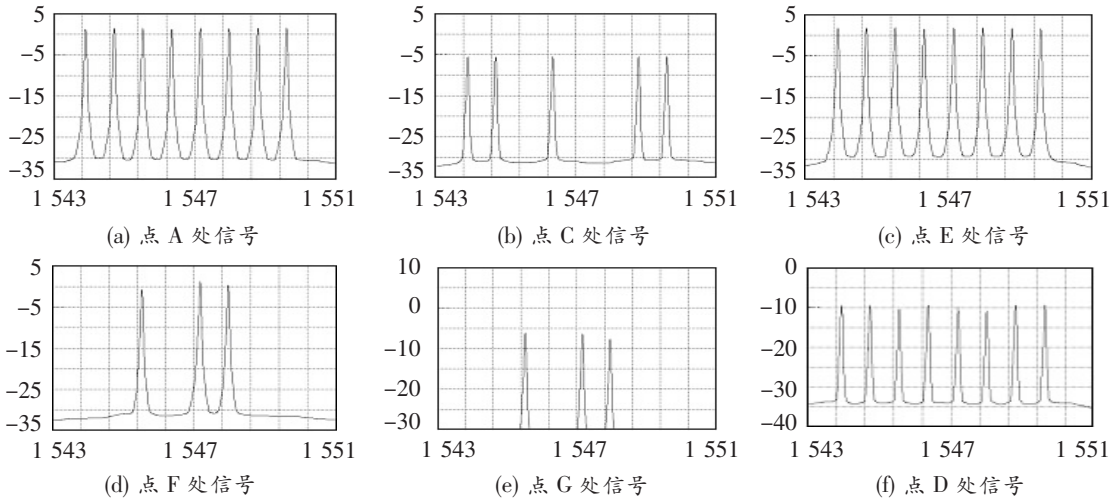
实验采用的光路如图 2 所示,不同之处在于,为了提高光信噪比我们在上路 8 : 1 耦合器和 DGE 之间加入了一个固定增益的 EDFA。在光路的关键点 A、C、D、E、F 处,进行光谱测量。点 B 位于 1 : 2 耦合器之后,它与点 A 处光谱的不同仅仅在于幅度降低了 3 dB,因此没有对它进行测量。图 4 是在实验系统各点测得的光谱图。

实验中,使用 C 波段连续的 8 个波长作为群路信号,每个波长的功率设定为 2 dBm(如图 4(a)所示)。首先对 DCE 进行配置,使之对第 3、5、6 信道进行阻塞,阻塞之后的光谱可以在点 C 处测得(如图 4(b)所示),这 3 个信道中的信号已经被去除。由于 1 : 2 分路器具有 3 dB 左右的插入损耗,而且 DCE 也具有 5 dB 左右的插入损耗,因此直通波长的功率都降低了 8 dB 左右,达到 -6 dBm。与此同时,点 E 处的光谱不受 DCE 的影响,包含全部 8 个波长。由于在点 A 和点 E 之间采用了一个 1 : 2 分路器和一个 1 : 8 分路器,损耗约为 12 dB。因此在

两个分路器之间加入一个固定增益为 12 dB 的 EDFA 对损耗进行补偿,所得光谱如图 4(c)所示。从图中可知,各波长信号基本恢复到原来的功率水平。对点 E 处的信号进行滤波即可得到单个波长。

上路波长的功率分别设定为 -1、1 和 0 dBm。上路 EDFA 将补偿 8:1 耦合器造成的功率衰减。到达 DGE 的光谱如图 4(d)所示。很明显,3 个信道的功率不平坦。对 DGE 进行设定,进行 3 个通道的功率均衡。均衡后的光谱如图 4(e)所示,3 个通道的功率基本相同。由于 DGE 对信道的均衡是作用于整个 C 波段,而不是作用于单个波长的(这一点与 DCE 不同),因此它对每个信道的衰减并不像 DCE 那样精确。从光谱中可见,5、6 两个信道均衡后功率仍有一些差异。由于 DGE 存在 5 dB 左右的衰减,因此 3 个上路信道的功率分别为 -7、-7 和 -8 dBm。

上路波长与直通波长在 2 : 1 耦合器处合并。由于耦合器也存在 3 dB 衰减,因此信号功率都降低了,约为 -10 dBm 左右。合并之后的 8 个信道如图 4(f)所示。



注:以上各图中横轴为波长(单位:nm);纵轴为光功率(单位:dBm)

图 4 实验系统关键点光谱图

在本实验中,群路信号本身比较平坦,无需功率均衡。上路信号功率经过 DGE 均衡之后,已经呈现较平坦的光谱,而且功率与群路信号功率基本相同,因此没有使用 DCE 和 DGE 联合进行功率均衡。值得注意的是,DCE 器件不仅具有单波长的阻塞能力,而且还具备单信道衰减能力。其衰减特性比 DGE 更佳,能够对单波长独立作用。本实验仅仅对上/下路模块进行了讨论,并未涉及通常 OADM 设备中必备的前置 EDFA 和线路功率 EDFA,但是在

实际使用中,必须采用 EDFA 进行群路放大时,由于 EDFA 增益的不平坦,必须进行信道的功率均衡,使各个信道的功率基本相同。此时,应当在光谱仪的监控下,联合使用 DCE 和 DGE 进行信道功率均衡,DCE 的作用将更加突出。

4 结 论

ROADM 设备能够增加网络的灵活性,更适应网络发展的要求。在城域波分复用(WDM)传送网

络中,ROADM 的使用将成为必然的趋势。本文介绍了实现 ROADM 的多种方案,以及对广播与选择型 ROADM 进行的设计和实验研究。结果证明,这种结构具有较强的灵活性和较好的扩展性,DCE 与 DGE 的配合不仅能够实现波长上/下路,而且能够实现动态信道功率均衡。

致谢:本文得到了李良川博士和宛丽宏同学的大力支持,在此表示衷心感谢。

参考文献:

[1] Anna Tzanakaki, Ioannis Zacharopoulos, Ioannis Tomkos. Broadband building blocks [J]. IEEE Cir-

cuits & Devices Magazine, 2004 (3/4): 32-37.

[2] 黄兆祥,张阳安,黄永清,等.可重构光分插复用器 (ROADM)的技术实现与性能评估 [J].光通信技术,2004(12):4-9。
[3] 刘文,毛谦.简化的 ROADM 模块及其在传送网络升级改造中的应用 [J].光通信研究,2005(2):1- 4。
[4] Michael Vasilyev. Transparent ultra-long-haul DWDM networks with “broadcast-and-select” OADM/OXC architecture [J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(11): 2661-2669.
[5] 邱海军,刘育梁,杨林.集成化光上下路复用器的研究进展 [J].半导体光电,2002,23(6):377-381。

(上接第 31 页)

入,作为其核心的组播技术不断发展,由于组播技术良好的表现和广阔的应用前景,许多服务提供商先行一步,获利不菲。一般运营商提供电话会议、电视和视频点播服务,向商业用户提供视频会议等服务。在实践中,组播情况下可以向 3 万个用户传送电视节目,而不会引起网络流量的激增。如果使用单播技术,所需的网络带宽是难以想象的。目前,IP 组播技术在商业应用中还面临着一些需要解决的问题,如组播服务的收费方式和方法、组播网络的监控;组播成员的身份认证、如何保证组播的服务质量(QoS)、采用何种商业模式向用户推销组播服务等。但可以预见的是,人们日益认识到组播技术所带来的优点和长处,组播技术必将成为人们工作和生活不可缺少的网络技术之一。

参考文献:

[1] Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol specification (Revised) , Bill Fenner/

AT&T , Mark Handley/UCL, Hugh Holbrook/Cisco, Isidor Kouvelas/Cisco [DB/OL]. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-pim-sm-v2-new-11.txt>,2004-10.

[2] Bi-directional Protocol Independent Multicast , MarkHandley/UCL, IsidorKouvelas/Cisco, Tnoy Speakman/Cisco, Lorenzo Vicisano/Cisco [DB/OL]. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-pim-bidir-07txt>,1997-07.
[3] Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol specification [DB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2117.txt?number=2117>, 1997- 06.
[4] Douglas E. Comer [美] (著),林瑶,蒋慧,杜蔚轩,等(译),谢希仁审校.用 TCP/IP 进行网际互连,第一卷:原理:协议与结构(第四版) [M].北京:电子工业出版社,2001。
[5] 岩延,郭江涛.组播路由协议设计与应用 [M].北京:人民邮电出版,2002。