波带交换中一种新型的多颗粒光交叉连接结构

张 鹏[1,2]，阎 阔[2]，张文松[3]
（1. 香港科技大学 电子与计算机工程系，香港；2. 武汉邮电科学研究院，湖北 武汉 430074；
3. 中国科学院 西安光机所 瞬态光学与光子技术国家重点实验室，陕西 西安 710068）

摘要：随着波分复用（WDM）技术的迅速发展和广泛应用，光网络中交叉连接的规模不断增大，网络结构也越来越复杂。为了降低 WDM 网络中光域传输和交换的成本，人们提出了波带交换（WBS）技术，并对此进行了大量的研究。文章介绍了部分 WBS 和多颗粒光交叉连接（MG -OXC）的基本概念，并提出了一种新型的 MG -OXC 结构。

关键词：波分复用；波带交换；多颗粒光交叉连接
中图分类号：TN915 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-8788(2006)06-0014-03

Current study of waveband switching in optical networks

Zhang Peng[1,2], Yan Kuo[2], Zhang Wensong[3]
(1. Department of Electronics and Computer Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China; 2. Wuhan Research Institute of Post and Telecommunications, Wuhan 430074, China; 3. State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Science, Xi'an 710068, China)

Abstract: The rapid advance and extensive applications of WDM technology have brought about a constant increase in the size of the cross-connection in optical works as well as the complexity of their structure. In order to reduce the switching and transmission cost in the optical domain of WDM networks, WaveBand Switching (WBS) has been proposed, for which considerable research has been conducted. In this paper, we introduce some basic concepts of WBS and Multi-Granular Optical Cross-connect (MG -OXC) and present a new type of MG -OXC structure.

Key words: WDM; WaveBand Switching (WBS); Multi-Granular Optical Cross-connect (MG-OXC)

随着光纤通信的普遍应用和波分复用（WDM）技术的成熟与发展，光网络中光交叉连接的规模不断增大，需要更多数量的端口，因此成本不断增加，这使得管理如此大规模的交叉连接变得越来越困难。为了降低光网络中交换和传输的成本，作为一种有效的解决方案，文献[1～3]中提出了波带交换（WBS）的概念。WBS 就是将一系列波长在源光交叉连接（OXC）中聚合在一起形成一个波长束，称为波带，波带在中间节点 OXC 中作为一个整体进行传输和交换，到达此波带的宿节点或者此波带中某个波长的宿节点时，才将波带解复用为波长。波带沿着 OXC 节点传输，减少了光交叉连接中的端口数量，同时也降低了全交叉连接的复杂度，正因为如此，WBS 技术作为降低光网络成本的有效解决方案，受到了越来越多的关注并被广泛研究。

1 WBS 的基本概念

WBS 的机制：根据光纤中波带数目是否可变可分为：固定数目波带和可变数目波带（见图 1）。而可变数目波带又根据波带内光波长的数目是否可变分为可变数目的波长和固定数目的波长两类。同时，一个波带内的波长又可分为连续波长号波长和可动态调整波长号波长（见图 2）。假设 1 个波带由 5 个波长组成，由连续波长号波长组成的波带为 $\{\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,\lambda_4,\lambda_5\}\in B_{FIX}$，在这个波带内的波长号是一组连续的号码。由可动态调整波长号波长组成的波带为 $\{\lambda_1,\lambda_5,\lambda_{13},\lambda_{14},\lambda_{15}\}\in B_{ADP}$，在这个波带内的波长号可以根据需要进行配置。

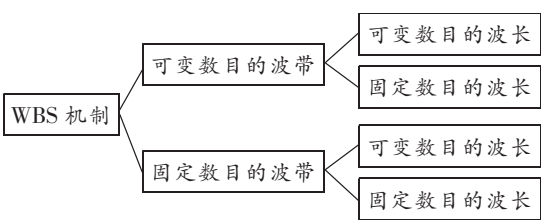

图 1 波带交换机制分类

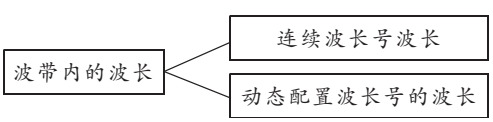

图 2 波带内波长分布分类

波长分组策略：WBS 波长分组策略是指根据一

收稿日期：2006-04-25
作者简介：张鹏（1978-）男，河北邢台人，硕士，主要研究方向为光网络。

定的方式把具有相似特性的一系列波长分为一组，复用成一个波带。通常所使用的波长分组策略有3种：第1种是端到端的分组策略，即将具有相同的源和宿的波长业务作为一组；第2种是终端分组策略，即将在同一个源节点或者宿节点上下路的波长作为一组；第3种是子通道分组，即将从任何源到任何宿的具有相同子通道的业务分为一组。虽然第3种分组方式比前两种方式更复杂，但这种分组方式却可以最大限度地体现WBS的优势。

波长路由与波带路由的区别：对WBS来说，波长路由是基础，但是从WBS和波长路由网络(WRN)的研究各自所要达到的目标来说，两者又是有区别的。例如，设计一个波长网络的目标是减少所要求波长的数量或者所使用波长的跳数，然而WBS所要达到的目标却是使交叉连接中所使用的端口数最小化。已有研究[4]表明，波长数和波长跳数最小化并不能使交叉连接中的端口数最小化。因此，目前所发展起来的WRN技术还不能直接用来解决WBS的问题[4]。

2　多颗粒光交叉连接结构

传统的WDM网络是基于波长路由的网络，OXC中的交叉颗粒是波长级别的，且在OXC中每一个波长要占用一个端口。在WBS网络中，一组波长被聚合成一个波带，作为一个整体参与其中的交叉连接，每个波带在交叉连接中使用一个端口。这个波带中的波长只是在上下路节点处才被复用或解复用。为了完成这种功能，提出了一种多颗粒光交叉连接(MG-OXC)结构[2~5]。MG-OXC可以完成不同颗粒的光交叉连接(波长级别、波带级别和光纤级别)，同时完成多颗粒中的上下路业务以及业务从一个级别到另一个级别的复用和解复用。

如图3所示，MG-OXC主要由3部分构成，即光纤级交叉连接(FXC)、波带级交叉连接(BXC)和波长级交叉连接(WXC)。从图3中可以看出，WXC层和BXC层是由交叉连接、复用和解复用组成。波长级的交叉连接在WXC层完成。波带—波长(Waveband To Wavelength，BTW)解复用器用于把波带信号解复用为波长，相反，波长—波带(Wavelength To Waveband，WTB)复用器用于将一系列波长复用为波带。光纤到波带(Fiber To Waveband，FTB)解复用器用于将一根光纤内的信号解复用为波带级别，波带到光纤(Wavebande to Fiber，BTF)复用器则用于将一组波带信号复用到光纤。FXC层完成光纤级信号的交叉连接及光纤级业务的上下路。为了减少光交叉连接中所使用的端口数量，如果一根光纤中没有波长信道需要上下路，则在交叉结构中只需要占用与其相连接的一个端口。如果有波长或波带需要上下路或者交叉连接，则光纤内的信号需要通过FXC解复用为波带，再通过BXC解复用为波长来完成此操作。

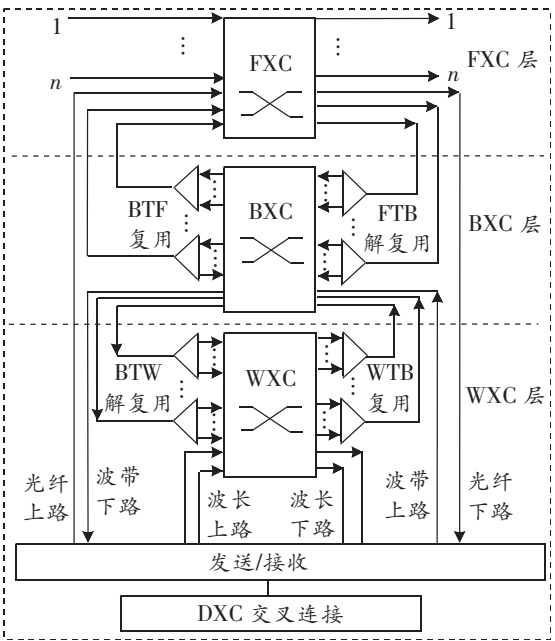

图3　多层MG-OXC结构框图

3　新型的MG-OXC结构

当WDM群路光纤中的多个波长需要交换时，文献[2～5]中提出的MG-OXC结构(见图3)由于WXC必须经过BXC层复用/解复用，因此，在一定程度上增加了BXC层的端口数量，同时交叉连接的效率也比较低。其次，在该结构中，如果波长直接上下路到波带或光纤，也必须经过WXC层和BXC层的交叉连接，因此，在一定程度上浪费了交叉连接的容量。再次，传统的MG-OXC结构是基于链型的，波带交换层处于此结构的中心，当FXC层或WXC层到BXC之间的端口用尽或BXC的交叉容量已满的情况下，尽管FXC层和WXC层有多余的交叉容量，仍然会出现交叉阻塞，无法进一步完成交叉连接。由此可见，该结构中的BXC层是一个直接影响到整体交叉能力的“瓶颈”，而且如何平衡FXC到BXC以及BXC到WXC之间的连接端口数，也是非常困难的一个问题。基于以上分析，本文提出了一种新型的MG-OXC结构(如图4所示)，该结构可弥补现有结构的不足，实现高效的光交叉连接。

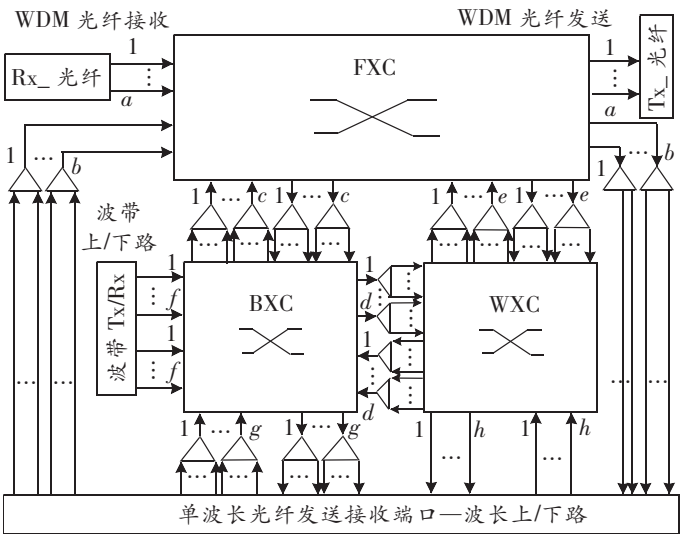

图 4　新型的 MG-OXC 结构框图

新的 MG-OXC 结构同样可以实现 3 个级别的光信号的交叉连接和上下路，3 层结构（FXC、BXC 和 WXC）之间是一种三角型关系，即任何两层之间都可以通过复用/解复用直接连通。在此结构中，每一层都设计了直接复用/解复用到波长的通道，以此将交叉连接层中相当于复用/解复用部分的功能彻底分离出来，减少了交叉连接层的端口数量，从而降低了 MG-OXC 的成本。

FXC 层实现的功能包括 WDM 群路光纤级从光纤到光纤的交叉连接，以及通过复用/解复用直接上下路到单波长。新型 MG-OXC 结构将其复用/解复用与光交叉连接分离，当一个 WDM 群路光纤中所有的波长需要上下路时，可直接通过 FXC 层然后复用/解复用即可完成，节省了交叉连接的容量，减少了交叉矩阵的端口数，从而降低了交叉连接的成本。此结构的另一优势在于，在 FXC 与 WXC 之间建立了联系。当一个 WDM 群路光纤内的某些波长需要交叉连接，且大部分需要路由的波长关系又不属于单个波带内，即交叉连接必须在波长级别才能完成的情况下，本结构可以直接将要交换的波长从 FXC 层送入 WXC 层，而不是采用传统 MG-OXC 结构中从 FXC 层到 BXC 层，再到 WXC 层的多级处理方式，从而解决了传统 MG-OXC 结构中 BXC 层作为中心而导致的“瓶颈”问题。同理，BXC 层的设计中也增加了直接到波长上下路的复用与解复用部分，以节省 WXC 层的端口数和交叉连接容量。

从以上分析可以看出，新型的 MG-OXC 结构比传统的结构更加灵活高效，且成本更低，更符合波带交换网络的设计思想。

4　结束语

近几年才发展起来的 WBS 技术受到了越来越多的关注和研究，并且取得了迅速的发展。具有波带交换功能的 OXC 结构仅是 WBS 技术的一个方面，WBS 技术还包含波带交换、波带路由、波带分配、波带聚合、波带转换、波带的控制和管理、波带网络的性能分析以及波带网络的保护和恢复等等，因此，还需要做大量的进一步的研究，WBS 才能最终走向成熟和网络应用。

参考文献：

[1] Suemura Y, Nishioka I, Maeno Y, *et al*. Hierarchical routing in layered ring and mesh optical networks [A]. Proceedings of IEEE ICC'02 [C]. New York, NY, USA: 2002. 5: 2727-2733.

[2] Izmailov R, Ganguly S, Kleptsyn V, *et al*. Non-uniform waveband hierarchy in hybrid optical networks [A]. Proceedings IEEE INFOCOM'03 [C]. San Franciso, CA, USA: 2003. 2: 1344-1354.

[3] Cao X, Anand V, Qiao C. Waveband switching in optical networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2003, (4): 105-112.

[4] Cao X, Anand V, Qiao C. Efficient design of waveband switched optical networks [J]. Optical Network Magazine, 2003, (2): 198-210.

[5] Cao X, Anand V, Qiao C. Multi-layer versus single-layer optical cross-connect architectures for waveband switching [A]. Proceedings IEEE INFOCOM'04 [C]. Hong Kong, China: 2004. 3: 1830-1840.