

ASON中的多粒度光交叉连接技术

谢 军, 武保剑, 李兴明

(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】自动交换光网络是光传输技术的下一个发展方向,通过引入智能化的控制平面,使光传送网能提供连接的动态建立和拆除。多粒度光交叉连接设备是自动交换光网络中传送平面的关键设备,直接为自动交换光网络提供光通道连接功能。该文介绍了多粒度光交叉连接设备的两种结构方案,并对两种方案进行比较。分析了多粒度光交叉连接设备相对常规光交叉连接设备的优点,以及对自动交换光网络中控制平面的功能支持。最后介绍了多粒度光交叉连接设备网络的波长绑定和路由算法的研究进展及发展趋势。

关键词 自动交换光网络; 多粒度光交叉连接; 波带

中图分类号 TP929.11 文献标识码 A

Study of Multigranular Optical Cross-Connect in ASON

Xie Jun, Wu Baojian, Li Xingming

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract ASON is the next step in the progress of optical transmission technology. It provides the ability of connection's dynamic setup and release by introducing the intelligence control plane. The multigranular optical cross connect is the key equipment in ASON. It provides the connection function for optical channel. The two structure of MG-OXC are introduced and compared in this paper. The advantage of MG-OXC comparing to the ordinary OXC is introduced. It's ability to support the control plane of ASON is also introduced. The evolution and trend of waveband and routing algorithm research are introduced in the last part.

Key words ASON; MG-OXC; Waveband

光传送网在经历了早期的点对点系统、波分复用(WDM)链路、WDM环网向WDM网状网发展,同时吸取了以IP技术为代表的通信网的智能控制技术,从固定的静态配置的光传输网络向动态智能化的光交换网络发展,从而让通信中的传输和交换两大技术有机的结合在一起。自动交换光网络(ASON)就是国际电联(ITU)顺应光通信发展趋势而提出的下一代光网络。通过在传统的光传送网络的传送平面和管理平面的基础上加入控制平面,通过智能化的控制平面技术,可以有效的支持连接的动态建立和拆除,提供流量工程和服务质量分类保证及电信级的保护和恢复功能。ASON使光传送网从简单的底层传输通道成为可直接提供业务的智能网络,代表了光通信网络技术发展的新阶段和演进方向。

光交叉连接(OXC)技术的出现是随着WDM技术向更多的波长复用、更密的波长间隔发展而出现的,它提供了波长级交换能力和灵活的组网功能,使WDM光网络能组成更复杂的网状网。ASON的动态连接机制要求传送平面必须要提供复杂的网状网结构,OXC是其传送平面的关键设备。而ASON直接提供动态业务的特性使得直接在光上提供多粒度业务交换是一种现实的需求。多粒度光交叉连接(MG-OXC)的出现最初是为解

收稿日期:2004-07-06

作者简介:谢 军(1971-),男,博士,副教授,主要从事智能光网络与光通信技术方面的研究。

决光传送网日益增加的容量对光交换矩阵的高要求而提出的^[1]。它通过引入多粒度的交换机制,有效的减少交换机的端口,节约交换节点的成本和减少体积、功耗等。配合ASON中采用的通用多协议标签交换技术(MPLS),更灵活的提供多粒度交换能力,构建适应下一代光传送基础网络。

1 MG-OXC的结构方案

MG-OXC与常规OXC的区别在于引入了波带交换。波带是指一组连续的波长通道,波带中包含的波长数目可以是固定的,也可以是变化的。由于可调的光滤波器技术还不成熟,因此通常将波带中的波长数目固定。在MG-OXC组成的多粒度光交换网络中,光纤交叉连接(FXC)完成光纤通道的空分交换(即光纤配线架的功能),波带交叉连接(BXC)完成波带级的交换,由于波带是由一定数目(如 n 个)的波长通道组成,一个波带端口可以完成 n 个波长的交换。波长交叉连接(WXC)完成波长级的交换。一个波段只有在其中有波长需要交换的时候才需要解复用到波长级。MG-OXC有以下两种结构形式。

1.1 单层(集成)MG-OXC

图1是单层MG-OXC结构示意图。其核心是一个光交叉连接矩阵,这个交叉连接矩阵在逻辑上分成FXC、BXC、WXC三个部分。它的解复用器包含两级,最外面的是波带解复用器,将光纤中的信号解复用为波带信号,第二级为波长解复用器,将波带信号解复用为单个波长。工作原理如下:进入端口的光纤中包含直通信号的直接通过FXC选路输出,含有波带或波长交换信道的光纤则通过波带解复用器解复用为单个的波带信号,只有波带交换的信道通过BXC选路输出,含有波长交换的信道则通过波长级解复用器进一步解复用为单个波长,通过WXC选路输出。每个交换层面都能提供上下路功能。

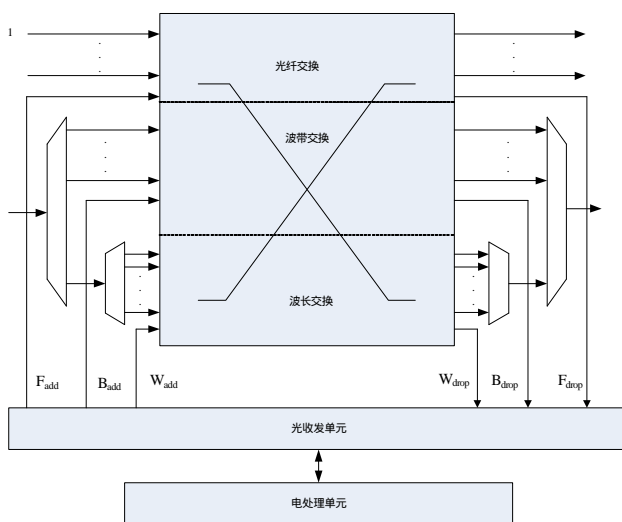


图1 单层MG-OXC结构示意图

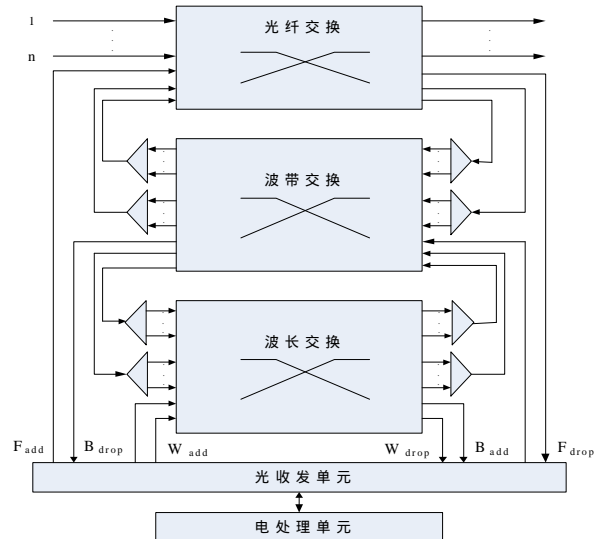


图2 多层MG-OXC结构示意图

1.2 多层MG-OXC

图2是多层MG-OXC结构示意图,它的核心部分是FXC、BXC、WXC三个交换矩阵。与单层MG-OXC的区别是它的三个交换矩阵之间有端口连接。FXC与BXC直接通过波带复用/解复用器连接,BXC与WXC直接通过波长复用/解复用器连接,每个交换矩阵提供上下路端口。工作原理与单层MG-OXC基本相似,不同的地方是下层的交换必须先经过上层的交换矩阵。如果光纤中有两个波长要进行波长级的交换,先在FXC交换矩阵中交换到FTB(Fiber to Band)端口,通过波带解复用器解复用成单个波带在BXC交换矩阵中交换到BTW(Band to Wavelength)端口,通过波长解复用器解复用成单个波长在WXC中完成交换。如果信号继续向下游传输,则经过相反的过程从下层交换矩阵逐层返回光纤输出端口。

1.3 多层与单层MG-OXC的比较

单层MG-OXC具有更简单的结构,从它的结构图和工作原理可知,各层交换矩阵之间没有端口连接,每一层交换只经过一个交换矩阵。而多层MG-OXC中,波长级的交换最多要经过三个交换矩阵,如果向下

游传输, 还需向上通过3次交换, 中间也会经过4个复用/解复用器, 因此信号的插损会比较大。

多层MG-OXC具有更灵活的结构。单层MG-OXC中, 光通道的选择具有很大的局限性, 某一波长信号如要进入波长交换矩阵, 必须在路由和波长指配时就选定特定的光纤, 特定的波带。对于简单的网络而言, 在网络规划时考虑全面就能满足业务调度的需求, 不会有太大的困难, 但是对大规模复杂的ASON网状网, 单层MG-OXC就很难满足其灵活的流量调度需求。

2 MG-OXC的特点

通信技术特别是以IP为代表的业务数据的飞速发展, 对光传送网提出了巨大的带宽要求, 现在的DWDM技术能在一根光纤中传输成百上千个波长, 基础传送网的瓶颈已经转移到光交换节点。常规OXC采用波长交换矩阵, 使得核心节点的交换矩阵很容易就达到1 000 × 1 000的规模, 而这么大型的光交换矩阵无论从成本、体积、功耗和管理等方面都是一个巨大的挑战。MG-OXC的出现提供了一个有效的解决方法。MG-OXC的核心技术在于引入了波带交换(Waveband Switching, WBS), 因为在核心节点通常有多达60%以上的流量是直通流量, 不需要在本地下路, 通过将一定数目的波长组成波带, 可以极大的减少光端口数, 从而降低成本。而多粒度的交换能力正好与ASON的多粒度交换需求相适应, 能更好的适应ASON的传输平面的功能要求。

2.1 MG-OXC能减少交换矩阵的端口, 降低成本

以图2所示的多层MG-OXC为例。假设 n 为输入的光纤数, 每根光纤中的波带数固定为 B , 每个波带有 W 个波长。各层交叉矩阵的端口数如下

$$\begin{cases} F_{FXC} = n + F_{add/drop} + F_{fjb} \\ F_{fjb} = a_{fjb} \times n \\ F_{BXC} = F_{fjb} \times B + B_{add/drop} + F_{btw} \\ F_{btw} = a_{btw} \times F_{fjb} \times B \\ F_{WXC} = F_{btw} \times W + W_{add/drop} \end{cases} \quad (1)$$

式中 F_{FXC} 为FXC矩阵的端口数; F_{BXC} 为BXC矩阵端口数; F_{WXC} 为WXC矩阵端口数; $F_{add/drop}$ 为直接下路的光纤数; $B_{add/drop}$ 为直接下路的波带数; $W_{add/drop}$ 为直接下路的波长数; F_{fjb} 为到BXC的光纤端口数; a_{fjb} 为需要解复用到波带的光纤比率; a_{btw} 为需要解复用到波长的波带比率。

为与常规的OXC比较, 假设 $a_{fjb} = a_{btw} = a$, $F_{add/drop} = B_{add/drop} = 0$, $B=10$, $W=10$, 则比较结果见表1。

表1 常规OXC与MG-OXC端口数比较

n	$W_{add/drop}$	OXC		MG-OXC				$\frac{Total}{F_{OXC}} / \%$
		F_{OXC}	a	F_{FXC}	F_{BXC}	F_{WXC}	$Total$	
5	50	550	0.2	6	12	70	88	16
			0.4	7	28	130	165	30
			1.0	10	100	550	660	120
10	100	1 100	0.2	12	24	140	176	16
			0.5	15	75	350	440	40
			1.0	20	200	1 100	1 320	120
100	1 000	11 000	0.2	120	240	1 400	1 760	16
			0.5	150	750	3 500	4 400	40
			1.0	200	2 000	11 000	13 200	120

表1中 $a=1$ 的情况是每一根光纤都先进行波带解复用, 所有波带都解复用到波长进行交换, 所以反而会比起直接解复用到波长交换的常规OXC用更多的端口。文献[6]中的研究表明, $a > 0.5$ 以后网络的阻塞率改善

不大, 在上面的例子中, 采用MG-OXC可以将交换矩阵的规模减小到原来的40%, 从而大大的降低交换节点的成本、体积、功耗。文献[5]的研究表明, 在光传送网中采用MG-OXC可以将核心的光交换矩阵规模控制在 $1\ 000 \times 1\ 000$ 以下。

2.2 MG-OXC更适应ASON对交换节点的要求

ASON中采用扩展的通用多协议标签交换(GMPLS)作为其控制平面的核心协议族^[7]。与MPLS相比, GMPLS不仅定义了分组交换接口和二层交换接口, 而且根据光传送网的发展趋势增加了新的多粒度交换接口。GMPLS支持以下接口:

- 1) 分组交换能力接口(PSC), 采用20 b标签编号;
- 2) 二层交换能力接口(L2SC), 标签为帧/信元头;
- 3) 时分复用能力接口(TDM), 标签为时隙的序列号;
- 4) 波长交换能力接口(LSC), 标签为光路的波长编号;
- 5) 波带交换能力接口(WBSC), 标签为本地端口的波带号;
- 6) 光纤交换能力接口(FSC), 标签为本地端口的光纤号;

从上面的接口类型可以看出, GMPLS增加了对时隙交换、波长交换、波段交换和光纤交换接口的支持。GMPLS中规定连接只能在同种类型的接口间建立, 称为G-LSP, 并允许G-LSPs的复用, 称为业务流的嵌套。从高到低的接口层次依次是:FSC、WBSC、LSC、TDM、L2SC、PSC。前面三种接口是针对光交换节点的多粒度光业务流, 而后面三种接口则需在电层上处理(目前技术尚不能在光上处理)。MG-OXC与GMPLS技术相配合, 能完成从包、时隙到波带、光纤级的业务的连接建立和调度, 更好的实现ASON的功能。

3 MG-OXC网络的波长绑定和路由

MG-OXC由于引入多粒度的多层交换功能, 它比光波长路由网络(WRN)中采用路由和波长指配(RWA)算法有新的内容, 更复杂了一些。MG-OXC中主要是引入了波带的概念, 因此引入了波长绑定算法, 给MG-OXC中的RWA算法增加了新的内容。文献[6~8]的研究表明, 采用原来的波长路由网络的算法不能满足其需要。WRN网络中的算法通常以减小总的波长跳数或波长数目为目标, 而在MG-OXC网络中以减少交换节点的端口数为目标^[6], 必须研究新的路由及波长指定算法。针对静态业务流MG-OXC网络的研究通常采用整数线性规划(ILP)的方法^[2], 假设网络拓扑及业务流量分布已知, 其缺点是对于大型复杂结构的网络, ILP算法的求解非常困难。目前的研究多采用启发式算法^[3,4,6~8], 适应动态的网络结构和业务分布。

波长绑定是其中比较关键的问题, 开始仅考虑简单的汇聚方案, 源和目的地址相同的波长业务进行绑定^[7], 而后又将具有相同的子路径的业务也考虑进去^[3]。文献[4]中将波带的路径类型进行更详细的划分:B-B路径用于源和目的相同的波长信道, B-W用于同源但目的地不同的信道, W-B用于源地址不同目的地址相同的信道, W-W用于源和目的地都不同的信道, 所有的信道具有相同的子路径。

由于在光的3R(定时、整形、再生)技术目前还不成熟, 光信号仍以模拟信号的形式传输, 因此全光传输距离是受到色散、非线性调制、光放大器噪声积累的限制。目前无电再生的超长传输距离最远也就3 000 km左右。因此在路由中也必须要考虑到光路由的物理限制。文献[4,8]已经在开始考虑光路由的物理限制, 利用节点的电处理部分将信号再生。

4 结束语

ASON已经成为光传送网的发展方向, MG-OXC由于能极大的降低光交换节点的端口数, 从而降低网络的成本, 适应大容量的DWDM技术的需求, 正在得到越来越多的关注。MG-OXC所带来的多粒度交换给RWA提出了新的要求, 给网络的管理和控制提出了新的问题, 这些问题已经在逐渐的开展研究, 但总体来说研究还不够全面系统。下一步的研究方向包括考虑波长连续性和距离限制下的RWA算法, 多粒度的保护和恢复, 多粒度情况下网络的管理和信号检测等。

(下转第685页)

4 结论

在高速WDM光纤传输系统中,利用DCF色散补偿技术可以有效地减弱光脉冲的展宽,提高传输系统的性能。对基于光纤喇曼放大器FRA的宽带WDM系统而言,最佳的DCF色散补偿方案是集总式后置略欠补偿,该方案与DCF的其他补偿方案相比误码率降低了几个数量级, Q 值也有明显的改善;不足之处是DCF光纤成本较高,当传输速率进一步提高,传输距离进一步增大时,其非线性的影响就特别突出了。

参 考 文 献

- [1] 孙学康, 张金菊. 光纤通信技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001
- [2] 毛幼菊, 汪学强. WDM+EDFA+DCF光纤传输系统中色散补偿方案的分析[J]. 激光杂志, 1999, 20(6): 28-31
- [3] 薛 飞, 邱 昆. 一种宽带光纤喇曼放大器的设计[J]. 光电子激光, 2003, 14(4): 372-374
- [4] Masuda H, Kawai S. Wide-band and gain-flattened hybrid amplifier consisting of an EDFA and a multiwavelength pumped raman amplifier[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1999, 11(6): 647-649
- [5] Chang S H, Kim S K, Chung H S, *et al.* Transient effects and gain-control method in low-noise dispersion-compensating hybrid fiber amplifier[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15(7): 906-908

编 辑 熊思亮

(上接第646页)

参 考 文 献

- [1] Ciaramella E. Introducing wavelength granularity to reduce the complexity of optical cross connects[J]. IEEE Photon Technol. Lett., 2000, 12(6): 699-701
- [2] Yao S, Mukherjee B. Design of hybrid waveband-switched networks with OEO traffic grooming[C]. OFC 2003, WH3, Ftp://166.111.172.77
- [3] Cao X, Anand V, Qiao C. A waveband switching architecture and algorithm for dynamic traffic[J]. IEEE Communications Letters, 2003, 17(8): 397-399
- [4] Zheng Xiaoping, Qin T, Zhang Hanyi. Dynamic routing and wavelength assignment for two-stage multi-granularity WDM optical networks[J]. Optics Communications, 2004, 229: 191-196
- [5] Noirie L, Blaizot C, Dotaro E. Multi-granularity optical cross-connect[C]. ECOC' 2000, paper 9.2.4 Ftp://166.111.172.77
- [6] Cao X, Anand V. A Study of waveband switching with multilayer multigranular optical cross-connects[J]. IEEE J. Select. Areas Commun., 2003, 21(7): 1081-1095
- [7] Ho P H, Moutfah H T. Routing and wavelength assignment with multigranularity traffic in optical networks[J]. J. Lightwave Technology, 2002, 20(8): 1292-1303
- [8] Izmailov R, Ganguly S, Wang T. Hybrid hierarchical optical networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 8: 88-94

编 辑 徐安玉