

一种带物理约束的光网络业务量疏导方法

曾 凌¹ 徐世中¹ 王 晟¹ 王 雄¹ 李乐民¹ 周开宇²

(¹ 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, 四川 成都 610054; ² 中国电信北京研究院, 北京 100035)

摘要 提出了基于最大收益的捆绑疏导算法(MRA)来解决光网络中具有多种物理约束的业务量疏导问题。MRA首先在物理拓扑上逐个放置业务,随后捆绑细粒度业务,实现管道实例化。即考虑业务的路由情况,将其在物理拓扑上的路由都视为单跳的细粒度管道,然后使用基于深度优先搜索的方法来检查哪些业务能够捆绑到一起形成多跳粗粒度的潜在管道,以节省中间节点的细粒度交换容量。再从这些粗粒度的潜在管道中,使用最大收益的方法遴选出具有最大成本收益的无冲突集合,并加以实例化。仿真结果显示,在处理多个物理约束时,MRA在容量和实现成本上均优于现有的算法,并且它能处理多达百个节点以上的大网络中的业务量疏导问题。

关键词 光通信; 业务量疏导; 基于最大收益的捆绑疏导算法; 物理层约束

中图分类号 TN915.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s2.0219

Traffic-Grooming in WDM Network under Physical Constraints

Zeng Ling¹ Xu Shizhong¹ Wang Sheng¹ Wang Xiong¹ Li Lemin¹ Zhou Kaiyu²

¹ Key Lab of optical Fiber Transmission and Communication Networks, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China
² China Telecom Co. Ltd., Beijing Research Institute, Beijing 100035, China

Abstract The traffic demands in optical networks are often irregular associated with various physical constraints such as SRLG disjoint, taboo link, taboo node and so on. The virtual topology design methods in the literature could hardly to solve traffic grooming problems with multiple kinds of constraints. We propose a packing grooming with max revenue algorithm (MRA). The traffic demands are placed directly in the physical topology, which are treated as low-granularity single-hop-pipes. To save the low-granularity switch capacity in the intermediate nodes, MRA checks which demands could be packed into high-granularity multi-hop potential pipes. Among the high-granularity potential pipes, we search the maximum set of potential pipes which do not collide with each other by a max-revenue approach and instantiate them. Numerical results show that MRA algorithm has better performance than existing algorithms in capacity and cost of network, and it could be used in large networks with more than one hundred nodes.

Key words optical communications; traffic-grooming; MRA; physical constraints

1 引 言

光网络中的波分复用(WDM)技术可以充分利用光纤的低损耗带宽,在一根光纤中的不同波长上异步、高速传输多种模式的信号^[1]。它不仅满足了现有因特网对于带宽的需求,也为将来可能在局域网和广域网中出现的具有巨大带宽需求的新应用提供支持。现在一条光纤链路利用波分复用技术能成倍地支持互不重叠的波长数目,其中每个波长都具有 10~40 Gb 的带宽容量。然而,很少有用户需要

使用如此大的带宽。一般只需要 OC-1、OC-3、OC-12 (51.84 Mb/s、155.52 Mb/s、622.08 Mb/s)大小的带宽即可。显然为单个用户提供一个波长的带宽是不经济的。因此,为了更好地提高网络(例如 IP+DWDM)性能和节约网络成本,将一些细粒度的业务会聚到一个粗粒度管道上进行传输显得越来越重要。

在实际网络中,很多业务并不仅仅是点到点之间的连接而且还会有其他各种不同的物理约束。例如,在可生存性的业务量疏导中,工作路路由和保护

基金项目: 国家 973 计划(2007CB307104)和国家 863 计划(2007AA01Z242)资助课题。

作者简介: 曾 凌(1984—),男,硕士研究生,主要从事光网络优化方面的研究。E-mail: zling1984@uestc.edu.cn

导师简介: 徐世中(1972—),男,博士后,副教授,主要从事光网络方面的研究。E-mail: xsz@uestc.edu.cn

路路由通常要求是节点分离、链路分离或者 SRLG 分离;可能由于安全问题,单个业务不得不要避开某条链路,称为禁忌链路;由于昂贵的再生信号的设备的成本,需要约束业务的物理距离,称为物理距离约束,还有一些其他的物理层约束。

文献[2~6]提出了虚拓扑设计方案以解决业务量疏导问题。但却无法很好地解决多种物理层约束。而文献[7,8]则在物理拓扑上能够很好地解决这些约束。

本文提出了采用基于最大收益的捆绑疏导(MRA)算法以解决光网络中多物理约束的业务量疏导问题。MRA 先将带约束的细粒度业务在物理层上路由,然后业务路由的中间节点将这些细粒度业务捆绑形成多跳的粗粒度管道,从而减少了中间节点的细粒度交换容量,最后再使用最大收益的方法选出无冲突的粗粒度管道集合,并将它们实例化。

2 相关工作

目前解决光网络中的带约束的业务量疏导问题的方法有两类:一类是使用设计虚拓扑的方法^[4~6];一类是针对业务本身的约束,路由成功后,将具有相同部分的细粒度业务组合到一起放到粗粒度的潜在管道中^[9]。文献[4,5]考虑了节点分离或链路分离。文献[6]考虑 SRLG 约束的虚拓扑设计,提出了一种利用禁忌搜索的启发式算法(TSGA),并与数学模型求解结果进行对比。由于数学模型的求解仅适用于 4 个节点的小网络,对大规模网络没有可用性。目前的设计虚拓扑的方法均只针对单一的物理约束,而很难解决多物理约束问题。在文献[9]中,由于业务和承载的管道都是规则的(承载管道的容量是业务容量的整数倍),生成的管道数目不多。而对于不规则的业务或承载管道来说,管道数目大增,全组合找到的无冲突管道集合数将成指数型增长并最终无法求解。MRA 算法可以在业务路由时针对每个业务不同的物理约束选择合适的路由,再进行捆绑从而解决多物理约束问题。在路由时尽量先塞满链路上已有的虚拟粗粒度管道,不新增虚拟管道。然后将各自的链路中有着相同部分的细粒度业务捆绑到一起放到粗粒度的潜在管道中,再从这些粗粒度的潜在管道中,使用最大收益的方法遴选出具有最大成本收益的无冲突集合,并加以实例化。由于最大收益找到的无冲突潜在管道集合数目的增长速度比全组合的慢得多,所以它能处理多达百个节点以上的大网络中的业务量疏导问题。

3 基于最大收益的捆绑算法

为了解决光网络中具有多物理约束的业务量疏导,以及业务和承载管道大小不一的问题,本文提出了 MRA 算法。该算法的复杂度低,即使在百个节点以上的大网络中也能求解。

整个算法分为两阶段,路由阶段与捆绑细粒度业务、实现管道实例化阶段。在路由阶段,按照带约束的最短路算法将业务摆放在物理拓扑上^[7],要同时确保工作路和保护路都满足物理约束。

在捆绑阶段,将把那些各自的路由中具有相同部分(单跳或者多跳的链路)的细粒度业务组合到一起放到粗粒度潜在管道中,然后将潜在管道中的最大无冲突集合在网络中实例化。

1)路由完成之后,所有的业务的路由都已经被放置在物理网络中,被视为单跳细粒度管道。然后检查哪些单跳细粒度管道能够捆绑到一起形成多跳粗粒度管道(或穿通粗粒度管道, BHGP),以节省中间节点的电交换能力和其他相关网络资源。叫做潜在管道的搜索。

2)从这些粗粒度的潜在管道中遴选出具有最大成本收益的无冲突集合,并加以实现。

在网络中的每个点,使用“基于深度优先搜索的原则”来搜索潜在管道。

如图 1 所示,图 1(a)为物理拓扑,对于图中的任一节点都能构造出一棵以它为起点的搜索树。图 1(b)为以一棵 R 点为起始点的搜索树。

用 D_{AB} 表示链路 AB 上的业务集合;收益用 BHGP 节省的中间节点的交换容量(通常是电交换能力)以及相关网络资源来表示。

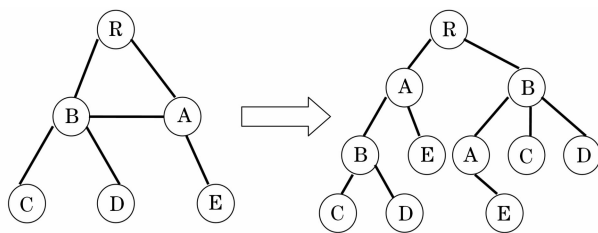


图 1 深度优先搜索树。(a)物理拓扑,(b)以 R 为起点的搜索树

Fig. 1 Depth-first searching tree. (a) Physical topology, (b) searching tree rooted at R

假设从 R 点开始检查。首先沿着 RA 进行深度优先搜索。由于至少两跳的管道才有穿通增益,因此第一次检查的就是 D_{RA} 与 D_{AB} 的交集 D_{RAB} 。如果该交集非空,则计算 RAB 这条路径上用 BHGP 来承载 D_{RAB} 上面的业务得到的收益。如果该收益

是非负的,则将该潜在管道 MR_{RAB} 加入备选集合。然后进一步延伸,检查 D_{RAB} 与 D_{BC} 的交集,计算成本收益,并判断是否将 MR_{RABC} 加入备选集合。随着管道的延伸,里面承载的业务会越来越少。最终将搜索完整棵以 R 为起点的搜索树。

在拓扑中的每个点都可以建立一棵类似的搜索树,当潜在管道搜索阶段结束时,将得到一个包括所有正收益的 BHGP 集合。它们将作为潜在管道被应用在下一个阶段。显然一条 BHGP 包含了多个业务,这将使得它会与其它 BHGP 发生冲突。现在需要找出一个潜在管道子集,它内部的管道都是无冲突的,并且该子集是具有最大成本收益的。这个子集中所有这些无冲突的管道都会被实例化。

逻辑上最完备的方法是全组合的方法,它能找出所有可能的不冲突的潜在管道的组合方式并从中找出具有最大收益的子集。

全组合虽然是完备的,但复杂度很高。最坏情况下,每次循环都会导致无冲突集合的数目 M 加倍。它的复杂度为 $O(2^N)$ 。如果再考虑到受到不规则的业务和承载管道的影响,备选的潜在管道数目 N 在一个中规模的网络中就达到了 56。在第四节的仿真中显示一个 27 节点的网络中, N 的数目达到了 516。

由于全组合甚至不能在一个中型网络中求解。本文提出一种新的方法:最大收益。它每次实例化时只选出潜在管道集合中收益最大的。

它的复杂度为 1。每次都选出潜在管道中收益最大的,再重新捆绑、实例化。同时由于在初始化中,潜在管道都是按照收益进行了排序,所有它基本上不会丢失那些在全组合方法里面可能找到的大组合。

4 仿 真

在 IP+DWDM 网络中考虑的是 IP 层和 WDM 层的容量对比。IP 层和 WDM 层的容量都是以 Gb/s 为单位。运行环境为 CPU: Intel Pentium 4, 1817 MHz, 内存: 512 M。假设每个节点都有足够的疏导能力。业务量是不规则的且是随机生成的。假设每 10 G 容量的花销在 IP 层远比 WDM 层贵得多,这也与现实情况相符合。目标是尽量节省开销。

首先对比 MRA 算法内部的全组合和最大收益的方法,然后在 USA 网络中对比仅考虑 SRLG 分离约束的 TSGA 算法和 MRA 算法。

4.1 全组合与最大收益

一共使用四个用例,用例的网络和业务特性如表 1 所示。仿真结果如表 2 所示。

表 1 测试用例

Table 1 Test cases

Test case	Number of nodes	Number of links	Number of demands	Number of potential pipes
1	5	6	10	16
2	8	16	28	56
3	11	26	55	102
4	27	41	175	516

表 2 仿真结果

Table 2 Simulation results

		1	2	3	4
Capacity in IP layer	Total-combination	36	*	*	*
	Max revenue	34	86	2616	2070
Capacity in WDM layer	Total-combination	68	*	*	*
	Max revenue	65	172	5532	4195
Running time /s	Total-combination	9.609	*	*	*
	Max revenue	0.39	0.984	15.156	35.5

* Stand for no solutions

如前所示,全组合的复杂度为 2^N 。在表 1 中,一个仅有 8 个节点的拓扑中,28 个业务形成的潜在管道 N 的数目就到达了 56 个。这使得最后形成的潜在管道的组合数目太多而导致计算机的内存溢出。

例 2.3.4 中,只有最大收益可以解,全组合不行。看表 2 中例 1,在很小的网络中全组合和最大收益都可以解,且结果很接近。这说明在表 2 中的 2.3.4 的大网络中,利用最大收益能够得到和全组合差不多的结果。因为最大收益基本不会丢弃那些具有很大收

益的组合。

4.2 TSGA 与 MRA

图 2 所示为 24 点美国网络拓扑,图中由同一虚椭圆围住的链路表示属于同一 SRLG 风险组。

为了进行对比,业务均为专有保护,且只有 SRLG 约束。图 3、图 4 显示的是 TSGA 与 MRA 在专有保护下,不同业务数所需的 WDM 层容量和 IP 层容量。图 5 显示的是它们所需的网络的整体代价。

可以看出,为了节省昂贵的 IP 层交换容量,

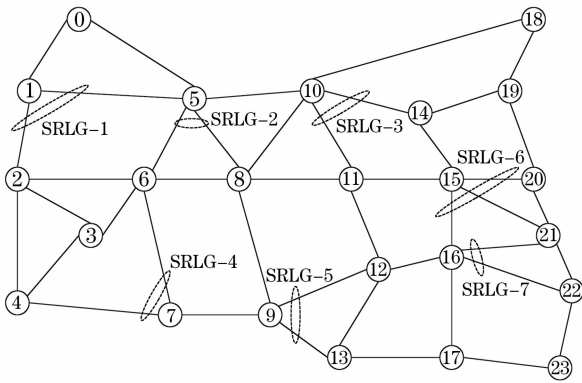


图 2 带 SRLG 的 USA 网络

Fig. 2 USANET with SRLG constraints

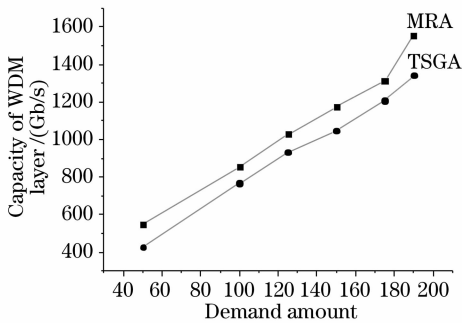


图 3 WDM 层容量

Fig. 3 Capacity of WDM layer

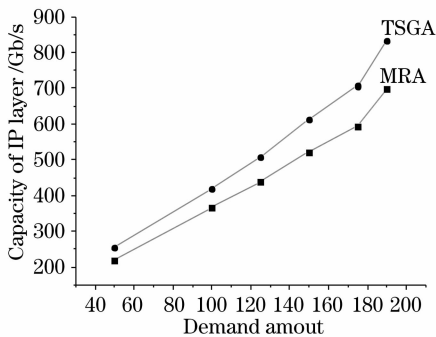


图 4 IP 层容量

Fig. 4 Capacity of IP layer

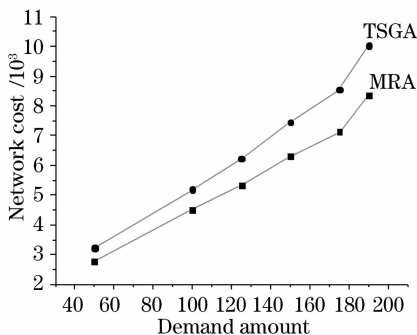


图 5 网络总代价

Fig. 5 Total cost of network

MRA 中尽量捆绑细粒度的业务 (IP 业务) 成多跳的粗粒度管道 (光路)。为了节省 IP 层容量, MRA 尽量去利用 WDM 层中的剩余容量而导致多绕路。所以对于 WDM 层的使用容量而言, MRA 使用会多于 TSGA。但 WDM 层交换容量的代价远小于 IP 层交换容量的代价, 所以尽管 MRA 对于同样的业务多用了 WDM 层交换容量, 但是总代价中, MRA 更小。

5 结 论

本文提出了基于最大收益的 MRA 算法来解决多个物理约束的业务疏导问题。为了充分利用光网络中的巨大带宽资源, 业务量疏导被广泛地研究和应用。虚拓扑设计就是其中一种可以解决业务量疏导问题的实用方法。但它很难处理有多个物理约束的业务。在仿真的所有用例中, MRA 算法均得到了更好的解。而且利用适当的路由, 还可以处理其他的物理约束例如节点分离与链路分离。

参 考 文 献

- 1 Wei Leping. Evolution to terabit backbone [J]. *International Networks & Multimedia*, 2001, **9**(9): 45~47
韦乐平. 向 3T 级骨干网络演进 [J]. *世界网络与多媒体*, 2001, **9**(9): 45~47
- 2 E. Modiano. Traffic grooming in WDM networks [J]. *Communications Magazine*, *IEEE*, 2001, **39**(7): 124~129
- 3 R. Dutta, G. N. Rouskas. A survey of virtual topology design algorithms for wavelength routed optical networks [J]. *Optical Networks Magazine*, 2000, **1**(1): 73~89
- 4 C. Ou, K. Zhu, B. Mukherjee *et al.*. Survivable traffic grooming in WDM mesh networks [C]. *Optical Fiber Communications Conference*, 2003, **2**: 624~625
- 5 Jing Fang, A. K. Somani. Enabling subwavelength level traffic grooming in survivable WDM optical network design [C]. *Global Telecommunications Conference*, 2003, **5**: 2761~2766
- 6 W. Yao, Ramamurthy Byrav. Survivable traffic grooming in WDM mesh networks under SRLG constraints [C]. *IEEE International Conference on Communications*, 2005, **3**: 1751~1755
- 7 Sheng Wang, Limin Li. Impairment aware optimal diverse routing for survivable optical networks [J]. *Photonic Network Communications*, 2007, **13**: 139~154
- 8 E. Bouillet, G. Ellinas, J.-F. Labourdette *et al.*. *Path Routing in Mesh Optical Networks* [M]. Wiley Press, 2007. 126~135
- 9 M. H. MacGregor, W. D. Grover. Distributed partial-express routing of broad-band transport network demands [C]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1997, **5**(6): 981~988