

基于拓扑信息挖掘的动态流量疏导算法

陈 彬, 王 晖, 苏恭超

(深圳大学 信息工程学院, 广东 深圳 518060)

摘要:在迭加模型的 IP over WDM 网络中, 文章作者进一步利用饱和割集算法来提取 IP 层的有效拓扑信息, 利用该信息优化建立光路的方法, 降低了整个网络的阻塞率。仿真结果显示, 应用了双重饱和割集算法的网络比只用一种饱和割集算法的网络的阻塞率更低。

关键词:流量疏导; 光路; IP over WDM

中图分类号: TN919

文献标识码: A

文章编号: 1005-8788(2009)04-0004-03

Topological information exploitation-based dynamic traffic grooming algorithm

Chen Bin, Wang Hui, Su Gongchao

(Faculty of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: In IP over WDM networks in an overlay model, effective topological information in the IP layer is further extracted by using the saturated cut algorithm. With this information, the network lightpath setup is optimized so as to reduce the blocking ratio of the entire network. The simulation results show that the blocking ratio is even lower by using the double saturated cut algorithm than that by using the single saturated cut algorithm.

Key words: traffic grooming; lightpath; IP over WDM

随着光网络技术的日益成熟, IP over WDM 网络技术开始成为研究的热点。当前, 单波长传送数据的速率已经可以达到 40 Gbit/s 甚至 100 Gbit/s。波长带宽与各种典型的数据业务带宽之间存在着巨大的差距。而利用流量疏导技术^[1]可以将不同类型的低速业务组合成高速数据流, 复用到一个波长上, 从而提高网络带宽利用率。自动交换光网络(ASON)技术的出现极大地缩短了链路建立周期, 降低了成本, 因此动态提供带宽的按需带宽分配业务应运而生。为了支持此类突发型宽带业务, 动态流量疏导越来越为人们所重视。

依据波分复用(WDM)网络和 IP 网络节点间的关系, IP over WDM 网络被划分为对等模型(peer model)、扩展模型(augmented model)和迭加模型(overlay model)^[2]。迭加模型是当前技术条件下最可能实现的网络模型^[3], 本文将基于此模型研究动态流量疏导问题。在 IP over WDM 网络中, 我们主要考虑两种流量工程工具: 标签交换路径(LSP)^[4]和光路(Lightpath)^[5]。IP 网络的拓扑建立在由光路构成的虚拓扑(Virtual Topology)^[1]之上。光路的建立机制是流量疏导的一个关键问题, 这关系到是否能够及时优化 IP 网络的带宽分配从而接纳更多的连接请求。对于迭加模型, 国内外的

研究人员在动态流量疏导方面已经做了大量的工作, 提出了 IP 层优先(ILF)^[6]、单跳优先(OHF)^[7]、光层优先(OLF)^[6]和路径膨胀控制(PIC)^[8]等算法来建立光路, 高效使用网络资源, 取得了比其他算法更低的阻塞率^[8]。在文献[9]中, 我们把饱和割集算法应用到 PIC 算法当中去, 进一步降低了网络阻塞率。在本文中, 我们将继续研究饱和割集算法在流量疏导中的应用。

1 饱和割集算法

饱和割集方法是一种广泛应用的网络优化技术^[10], 该方法试图在网络中找到两个节点集 X 和 $\bar{X}$, 这两个节点集之间的带宽将要耗尽, 或者这两个节点集之间的连接使用效率不高。我们说在 X 和 $\bar{X}$ 之间存在饱和割。这时, 如果能够在两个节点集之间建立一个新的高效连接, 则会提高 X 与 $\bar{X}$ 之间的通信效率, 从而提高整个网络的效率。饱和割集可以根据不同的应用以不同的标准来定义。

在 IP over WDM 网络中, 我们假设 IP 网络中的业务为带宽保证型 LSP 连接请求 $r_i^{s,d}$, 其带宽需求表示为 $b_i^{s,d}$, i 表示该 LSP 连接请求在到达序列中为第 i 个, s 和 d 分别为源节点和目的节点。这时,

收稿日期: 2009-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60773203, 60602066, 60703112); 深圳大学科研启动基金资助项目(200865)

作者简介: 陈彬(1975-), 男, 湖南澧县人, 讲师, 博士, 主要研究方向为光网络设计优化。

如果在 IP 层存在剩余带宽 $\geq b_i^{s,d}$ 的路径连接源节点 s 和目的节点 d , 我们取最短路径并称该路径为 $r_i^{s,d}$ 的可行路径。剩余带宽 $> b_i^{s,d}$ 的光路被称为 $r_i^{s,d}$ 的可行光路, 由 $r_i^{s,d}$ 的可行光路构成的虚拓扑称为 $r_i^{s,d}$ 的可行虚拓扑。

文献[9]中是以网络带宽来定义饱和割,并将此方法应用于 PIC 算法的。对于连接请求 $r_i^{s,d}$ 来说,当源节点 s 和目的节点 d 之间没有可行路径时,在可行拓扑中连接源节点 s 和目的节点 d 的集合被分别称为 X_1 和 $\underline{X}_1$ 。我们定义此类饱和割为第 1 类饱和割。

在本文中,我们以路径长度作为标准来定义饱和和割。在 PIC 算法中,路径膨胀系数(PII)定义如下:在 t 时刻,当 LSP 连接请求 $r_k^{s,d}$ 到达网络时,如果可行路径存在,且最短长度为 $l_k^{s,d}$,则 PII 就是源节点 s 和目的节点 d 之间在 t 时刻的 LSP 的加权平均长度:

$$L_t^{s,d} = \frac{\sum_i l_i^{s,d} b_i^{s,d} x_{i,t}^{s,d} + l_k^{s,d} b_k^{s,d}}{\sum_i b_i^{s,d} x_{i,t}^{s,d} + b_k^{s,d}},$$

式中, $l_i^{s,d}$ 为第 i 条从源节点 s 到目的节点 d 的 LSP 使用的路径长度; $x_{i,t}^{s,d} = 1$ 表示第 i 条从节点 s 到节点 d 的 LSP 连接请求在 t 时刻还在网络中使用带宽; $x_{i,t}^{s,d} = 0$ 表示第 i 条从节点 s 到节点 d 的 LSP 连接请求在 t 时刻已经离开网络或者已经被拒绝服务, 不占用网络带宽。定义 $D^{s,d}$ 为物理拓扑中节点 s 到节点 d 的最小跳数。如果 PII 大于阈值 $\beta D^{s,d}$, IP 层希望光网络能够建立长度小于阈值的光路。将该 LSP 连接请求路由到该光路中, 避免拥塞扩散^[8]。这时我们称节点 s 和节点 d 之间存在第 2 类饱和割。这时, 包含 s 和 d 的节点集分别被命名为 X_2 和 $\underline{X}_2$ 。在 $r_k^{s,d}$ 的可行拓扑中, i 和 j 之间的最短路径的长度为 $l^{i,j}(b_i^{s,d})$ 。如果 $i=j$, 我们定义 $l^{i,j}(b_i^{s,d})=0$; 如果 i 和 j 之间不存在可行路径, 我们定义 $l^{i,j}(b_i^{s,d})=\infty$ 。如果 $l^{s,i} \leq \beta D^{s,i}$, $i \in X_2$ 。如果 $l^{j,d} \leq \beta D^{j,d}$, $j \in \underline{X}_2$ 。 X_2 和 $\underline{X}_2$ 之间也许会有交集, 这时我们采用如下方法去除交集: 如果交集集中的节点离 s 比离 d 近, 那么在 $\underline{X}_2$ 中删除该节点; 反之亦然。如果交集集中的节点距离 s 和 d 一样远, 那么就随机地在两个集合之一中删除该节点。假设 $H^{i,j}$ 是在 i 和 j 之间最短光路的长度。如果存在 $H^{i,j}$ 使 $(l^{s,i} + H^{i,j} + l^{j,d}) \leq \beta D^{j,d}$, 那么在 i 和 j 之间建立最短光路就会使 $l^{j,d} \leq \beta D^{j,d}$ 。在本文中, 我们将在 PIC 算法中为第 1 类和第 2 类饱和割建立光路。算法流程如图 1 所

示。

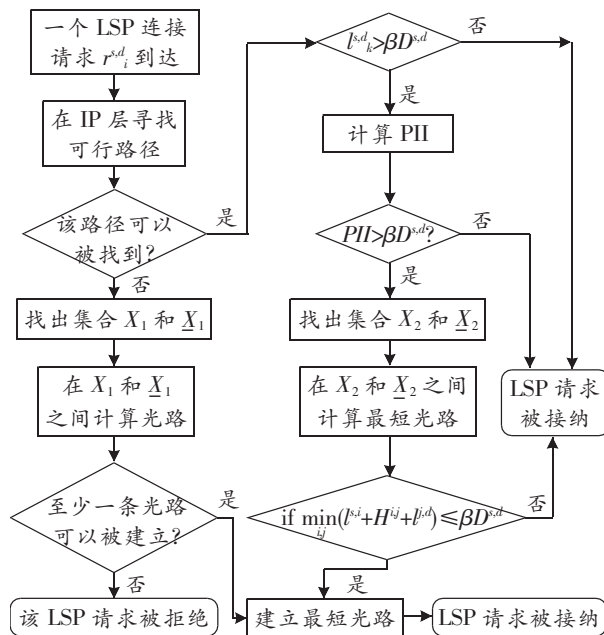


图 1 饱和割集算法流程图

2 仿真结果与分析

在仿真中我们选取两个常用的物理拓扑: NSF-NET 即美国国家科学基金会网络(见图 2)和 COST239 泛欧网络(见图 3)。NSF_{net} 有 14 个节

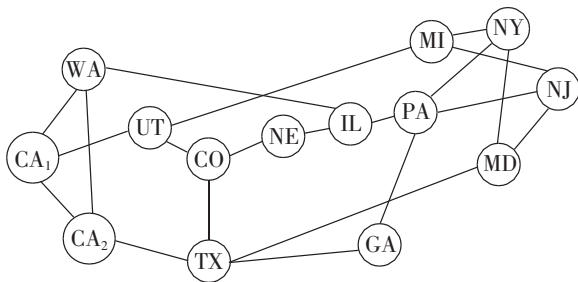


图 2 NSFNET 拓扑

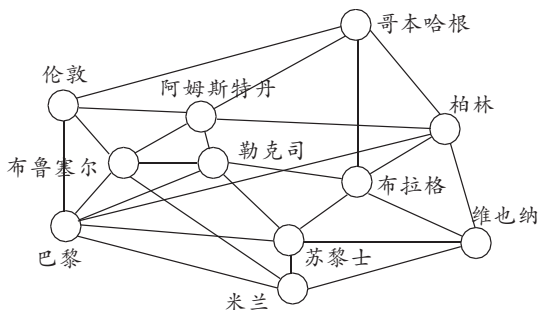


图 3 COST239 网络拓扑

点和 21 个连接。COST239 网络有 11 个节点和 26 个连接。COST239 网络是比 NSFNET 更稠密的网络。在网络中每个连接由两条向相反方向传输的光纤构成,每根光纤中容纳 8 个波长,每个波长的带宽

规定为 1。LSP 请求的带宽分布在区间 $[0.05, 0.4]$ 上。假设每个节点都具有波长变换能力,我们把文献[9]中所描述的方法称为 SCM1 (Saturated Cut Method 1) 算法,把本文中的算法称为 SCM2 (Saturated Cut Method 2) 算法。

图 4 和图 5 分别给出了应用 SCM1 和 SCM2 的 PIC 算法对网络阻塞率的影响。对于结合了饱和割集方法的 PIC 算法,我们发现,当 $\beta=1$ 时,两种网络都能得到最低的阻塞率。在仿真中我们取上述最佳的 β 值,结果显示 SCM2 算法可以得到比 SCM1 算法更低的网络阻塞率。相对于 SCM1 算法,SCM2 算法不仅可以在节点 s 和节点 d 之间没有可行路径的情况下使用饱和割集算法,它还可以在 s 与 d 之间的可行路径大于阈值造成拥塞扩散的情况下使用饱和割集算法,增加了建立光路的可能性,并能及时地防止拥塞扩散,从而优化了整个网络的性能。比较两幅图我们还发现,饱和割集算法对稀疏的 NSFNET 的性能的改善更加显著。这是因为相对于 COST239 网络,NSFNET 在光层的连接较少,建立光路的选择较 COST239 网络少,光路更容易被阻塞。

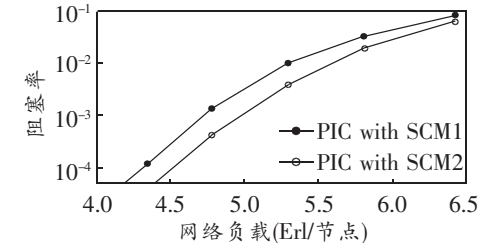


图 4 在 NSFNET 中比较流量疏导策略

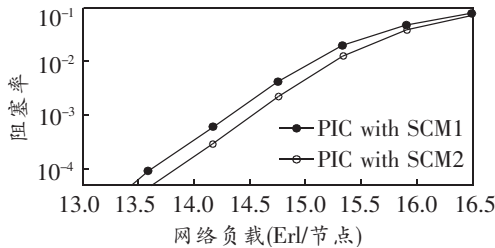


图 5 在 COST239 网络中比较流量疏导策略

3 结束语

本文在基于层叠模型的 IP over WDM 光网络的动态流量疏导中,进一步研究了饱和割集的使用

方法。在文献[9]提出的方法的基础上提出了另一种以路径长度判断饱和割集的方法。仿真结果显示,在文献[9]的算法基础上加入该方法后,网络可在需要建立光路的时候根据情况选择不同饱和割集方法,进一步降低网络阻塞率。该方法对稀疏网络尤其有效。

参考文献:

[1] Gencata A E, Mukherjee B. Virtual-topology adaptation for WDM mesh networks under dynamic traffic [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(2): 236-247.

[2] Rajagopalan B, Luciani J, Awduche D. IP over Optical Networks: A Framework [S/OL]. <http://www.isi.edu/in-notes/rfc3717.txt>, 2004-03.

[3] Ye T, Su Y, Zhu K, *et al.* SLEA: A novel scheme for routing in overlay IP/WDM networks [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(10): 2 934 - 2 944.

[4] Awduche D O. MPLS and traffic engineering in IP networks [J]. IEEE Communications Magazine, 1999, 37(12): 42-47.

[5] Chlamtac I, Ganz A, Karmi G. Lightpath communications-an approach to high bandwidth optical wans [J]. IEEE T Commun, 1992, 40(7): 1 171-1 182.

[6] Niu X M, Zhong W D, Shen G X, *et al.* Connection establishment of label switched paths in IP/MPLS over optical networks [J]. Photonic Network Communications, 2003, 6(1): 33-41.

[7] Assi C, Shami A, Ali M A, *et al.* Integrated routing algorithms for provisioning “sub-wavelength” connections in IP-over-WDM networks [J]. Photonic Network Communications, 2002, 4(3-4): 377-390.

[8] Chen B, Zhong W D, Bose S K. A path inflation control strategy for dynamic traffic grooming in IP/MPLS over WDM network [J]. IEEE Communications Letters, 2004, 8(11): 680-682.

[9] 陈彬,王晖. 一种新的动态流量疏导算法 [J]. 光通信技术, 2009, 33(1): 22-25.

[10] Bertsekas D, Gallager R. Data Networks [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1991.