

# 光纤 Mesh 网络动态组播业务疏导算法

彭利民

(广州体育学院计算机应用教研室, 广州 510500)

**摘要:** 针对当前低速组播业务请求与光网络高速波长传输容量的问题, 基于光网络组播业务疏导模型, 提出动态组播业务疏导算法, 将新的组播业务请求疏导到已建立的光组播树上, 达到提高网络资源的利用率、降低组播业务连接阻塞概率的目的。仿真结果表明, 该算法可有效地改善网络性能。

**关键词:** 光纤 Mesh 网络; 波分复用; 组播; 业务疏导

## Algorithm for Dynamic Multicast Traffic Grooming in Optical Mesh Networks

PENG Li-min

(Computer Application Teaching Department, Guangzhou Sports University, Guangzhou 510500)

**【Abstract】** Aiming at the problem of the huge bandwidth gap between low capacity requirement of an individual multicast connection and high capacity offered by a wavelength channel in current optical networks, a multicast traffic grooming algorithm based on the multicast traffic grooming model is proposed by grooming new multicast traffic onto the optical multicast trees which have been built, in order to improve network resource utilization efficiency and reduce multicast traffic blocking probability. Simulation results show that the network performance can be improved significantly by the algorithm.

**【Key words】** optical Mesh networks; Wavelength Division Multiplexing(WDM); multicast; traffic grooming

### 1 概述

随着光纤波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)网络的发展, 每个波长具有巨大的传输容量(如 40 Gb/s), 但用户的连接请求带宽远远小于整个波长的传输容量, 因此, 为每个连接请求分配一个波长势必会造成网络资源的巨大浪费。在 WDM 网络中, 业务疏导可以将多个低速业务复用到一个大容量的光路上传输, 从而提高网络资源利用率, 降低网络运营成本。

随着多媒体技术的发展, 网上直播、网络视频会议、视频点播等组播业务越来越多, 组播业务疏导问题已成为业务疏导研究的一个重要方面。在组播业务疏导研究中, 文献[1]通过基于光组播树的机制, 提出了动态改变组播光树大小的业务疏导算法。文献[2]研究了 WDM 网状网中单播和组播业务的混合疏导问题, 给出一种支持组播业务疏导交换的节点结构, 并提出支持动态组播业务疏导单跳和多跳算法。文献[3]研究组播业务疏导的优化设计问题, 以减少疏导业务所需的波长链路总数和网络电设备的总数为目标, 提出混合整数线性规划(MILP)模型。文献[4]基于单跳和多跳的策略研究了动态组播业务疏导的问题, 提出支持组播业务疏导的 LTIG 算法。

本文针对光纤 Mesh 网络节点具有全分光 and 全疏导能力, 但无光域波长转换能力的情况, 研究 WDM 网状网中动态组播业务的疏导问题, 旨在减少疏导业务所需的网络高层电设备(如 SONET ADM, IP 或 MPLS 路由器端口)使用数, 使组播业务疏导中的网络代价最小, 从而降低网络业务连接请求的阻塞概率。

### 2 光网络组播业务疏导模型

为支持组播业务, 网络中的业务数据必须使用相关的设备进行业务数据复制, 这些设备可能是电、光或两者的组合。文献[3]提出一种基于缓冲和复制的硬件设备支持业务数据复制, 但当业务数据聚集到 1 Gb/s 以上时, 业务数据缓冲和复制使硬件代价和复杂度增加。文献[2]在考虑网络业务数据的前提下, 综合疏导性能、代价和复杂性等因素提出一种支持组播业务疏导的光节点结构。本文根据动态组播业务疏导需要, 选用该结构作为网络的节点结构。为支持动态组播业务量疏导, 网络节点须具有组播和光疏导交换结构(Multicast Capable and Optical-Grooming Switch, MC-OGSW), 采用 2 级光交换结构(OSW)、一组分光 and 放大装置(Light Splitter and Amplifier)、一个电疏导矩阵(GF)以及若干可调谐光收发器(Transceiver)。其中, 信号的分光和交换在光层完成; 低速业务的疏导由疏导矩阵在电域实现。组播和光疏导交换结构如图 1 所示。

网络节点连接输入光纤和输出光纤, 每个输入光纤首先通过解复用器分成若干独立的波长通道, 这些波长通道可以直接通过波长交换矩阵交换到输出光纤上相应波长通道, 经过复用器输出或经由光接收器转变为电信号进入低速业务疏导矩阵, 属于本地的业务交换到低速业务数据流端口, 非本

**基金项目:** 广东省自然科学基金资助项目(05011896)

**作者简介:** 彭利民(1976 - ), 男, 讲师、博士研究生, 主研方向: 光通信网络

**收稿日期:** 2008-12-10      **E-mail:** penglm86@126.com

地业务通过相应光发送器进入光交换矩阵。如果该输入信号不含本地业务,它将直接通过 OSW1 送往相应输出端口的光纤波长信道,全光通过该节点,即光旁路(bypass)技术。输入信号也可以送至相应分光器进行分光,分光后的多个信号可以通过 OSW2 由不同输出端口波长通道送往下一跳节点或下到本地。由于输出光信号经过分光可能造成信号功率衰减,因此需要配备一定数目的光放大器。GF 通过一组光收发器和 OSW 或分光器相连,通过上/下(adding/dropping)业务流,终止已达目的节点的业务,并把新加入业务汇集到波长通道上传输。网络节点可上/下的光路数目受限于可调谐光收发器的数目。如果节点具有波长变换能力,可以降低网络业务阻塞概率,否则,疏导路由时必须满足波长连续性(wavelength continuity)的要求。在图 1 中,从端口 1 输入的波长信号直接通过该节点,而从端口 2 输入的波长信号送入光分裂池,将信号分成 4 份,其中一份本地下载,一份进入疏导矩阵进行交换,其他 2 份分别从端口 1 和端口 2 交换输出。

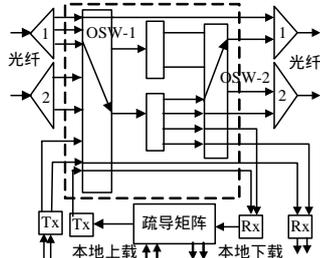


图 1 组播和光疏导交换结构

### 3 动态组播业务疏导算法

为建立一个低速组播业务请求连接,须为组播业务请求在逻辑拓扑上进行路由计算,并查找适合的光树(或新建光树)并建立业务请求连接。与 WDM 光网络单播业务疏导类似,组播业务疏导是将低速的组播业务流汇聚到一个全光的通信信道中进行传输,不同之处在于单播业务的路由是基于光路(Light-path)结构,而组播业务的路由是一个光树(Light-tree)结构。文献[5]通过圈构造和圈疏导方法在 Ring 结构上有效地减少了单播业务疏导中波长和高层电设备(如 ADM)的数目,其实质就是尽量将业务流疏导到已存在电疏导的节点上,从而有效减少电疏导设备的使用量。虽然 Ring 网的结构与 Mesh 网结构有明显的区别,但同样可以借鉴文献[5]的思想,在光纤 Mesh 网中也尽可能地使组播业务流在已建立的光树上进行路由,从而使组播疏导业务中的电疏导设备减少。

根据新的组播业务请求节点的实际特点,本文提出最小资源(MinRes)疏导策略,即建立最小数目的光树来路由新的组播业务请求,从而减少组播业务请求使用的网络资源数量,MinRes 算法的具体步骤描述如下:

(1)对于新的组播业务请求,检查当前是否存在组播源节点相同的情况,且目的地节点集合包含在已建立的光树中,并检查这些光树上剩余的带宽是否满足新的业务请求,如果有多棵这样的光树存在,则选用目的地节点集合个数和新的组播业务请求目的地节点个数相差最小的一个;如果存在,则跳到步骤(6),否则继续查找。

(2)将新的组播业务请求节点分解到已建立的光树上,并检查这些光树剩余的带宽是否满足新的业务请求,如果这样

的光树存在,则将新的组播业务请求分别路由到各子树上,并跳到步骤(6),否则继续查找。

(3)对于新的组播业务请求,检查当前是否存在组播源节点相同,且目的地节点集合包含已建立的光树上的节点,并检查剩余的带宽是否满足新的业务请求,如果有多个这样的光树存在,则选用目的地节点集合个数和新的组播业务请求目的地节点个数相差最小的一棵,然后通过扩展该光树的方式完成新的组播业务请求路由,如果存在,则跳到步骤(6),否则继续查找。

(4)将新的组播业务请求节点部分分解到根据已建立的光树,并检查这些光树剩余的带宽是否满足新的业务请求,如果这样的光树存在,则将新的组播业务请求分别路由到各子树上,然后将剩余的业务节点通过建立新的光树方式进行路由,如果存在,则跳到步骤(6),否则继续查找。

(5)对于新的组播业务请求,如果不能利用已建立的光树进行路由,则使用最短路径 Dijkstra 算法建立新的光树进行路由,如果新的光树建立成功,则跳到步骤(6),否则阻塞该业务。

(6)为组播业务请求分配资源,更新网络上已经建立的光树剩余波长带宽,删除建立光树而使用的物理链路波长资源和更新节点空闲光收发器资源等。

基于最小光树数(MinTN)动态组播业务疏导算法,其疏导策略总是尽量使用最小的光树数路由新的组播业务请求,当网络中不存在这样的光树时,则建立新的光树完成路由,当网络中不存在足够的网络资源用于建立新的光树的时候,则使用多棵光树的方式满足组播业务请求,与 MinRes 算法的区别在于步骤(1)失败后,则进行步骤(5),然后进行步骤(3)、步骤(4)、步骤(2),2 个算法的计算复杂度主要取决查找网络中已建立的光树和在已查找到的光树中匹配目的节点,其时间复杂度为  $O(|N|^2 \cdot |W/m| \cdot |D|)$ ,其中,|N|为网络节点个数;|W|为网络链路支持的波长数;业务请求带宽宽度为  $m$ (假设  $m$  为各组播业务请求最小的带宽);|D|为组播业务的目的地节点个数。

### 4 仿真与分析

采用由 14 个节点,21 条链路构成 NSFNet 网络拓扑,对提出的动态组播业务疏导算法进行仿真分析。假设网络中的每个节点都是 MC-OGSW 结构,具有全分光 and 全疏导能力,但无波长转换能力。每个相邻节点对通过一对光纤(双向)进行连接,且每个光纤上的波长数为 64,型号为 OC-192。组播连接请求的源和目的节点随机选定,组播业务请求随机到达网络,服从参数  $\lambda$  的泊松分布,每个业务请求的持续时间服从  $1/\mu$  的负指数分布。根据不同的网络负载调整连接请求到达率  $\lambda$ ,每个组播业务连接请求节点个数服从区间  $[2, N]$  上的均匀分布,假设业务请求带宽粒度型号均为 OC-48,如果算法找不到合适的路由疏导组播业务请求,则拒绝该业务,即该业务被阻塞。组播业务阻塞概率越小,说明被拒绝的组播业务请求越少,网络接纳并获得服务的业务数越多,因此,网络吞吐量越大,组播疏导算法的网络性能也越好。

为验证本文算法的可行性,分别在不同网络负载下对 LFSEQMH 算法<sup>[2]</sup>和本文的 MinTN 与 MinRes 算法进行模拟比较。在不同网络负载下的组播业务阻塞概率关系曲线如图 2、图 3 所示。

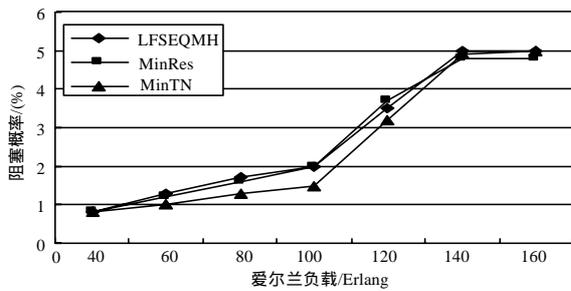


图2 低负载下的组播业务阻塞概率

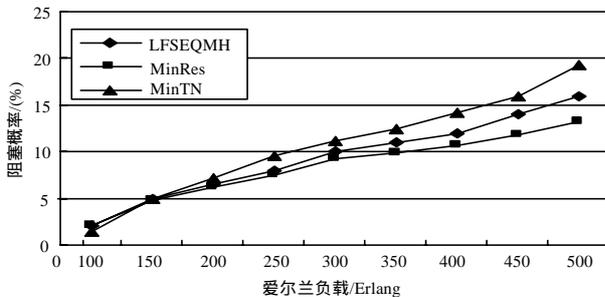


图3 高负载下的组播业务阻塞概率

在网络负载比较低的情况下, MinTN 算法的组播业务阻塞概率较低, 而在网络负载比较高的情况下, MinRes 算法的组播业务阻塞概率较低, 这是因为在网络负载比较低的情况下, 一旦组播业务请求到达, MinTN 算法总是试图在现有网络中查找源和目的节点相同的光树(或子树)上建立组播业务连接。当网络中没有这样光树存在的时候, 低负载下网络中有足够的网络资源建立新的光树, 然而在网络负载比较高的情况下, 网络中的资源利用受到限制, 不存在足够的网络资源为新的组播业务建立光树, 因此, 随网络负载增大, MinTN 算法的组播业务阻塞概率也变大。而对于 MinRes 算法则不同, 一旦组播业务请求到达, 该算法总是试图利用网络中已建立的光树(或子树)实现路由。当网络负载增大的时候, MinRes 算法由于总是使用最小的网络资源满足组播业务请求, 因此, 在网络负载比较高的情况下, MinRes 算法组播业务阻塞概率较 MinTN 算法理想。同样, 由于 LFSEQMH 算法只考虑了组播源和目的节点完全相同使用单跳满足组播业务

(上接第 107 页)

由图 5 可知, 在发生节点失效时, 双端协作节点选择算法的聚合流速率几乎不受影响, 依然能够提供 1.02 Mb/s 左右比较稳定的聚合流速率, 这是因为本文算法充分考虑了对节点失效问题的处理, 在其中融入了动态冗余思想, 使系统的健壮性得到了明显改善。而带宽优先算法的聚合流速率已有明显波动, 随机选择算法的聚合流速率则波动幅度最大。

## 5 结束语

针对现有节点选择算法存在的问题, 本文提出一种双端协作的节点选择机制, 在超级节点端进行候选节点的快速初步筛选, 并以此为基础, 在请求节点端进行服务节点的进一步选择确定。仿真结果表明, 相比于现有算法, 本文提出的节点选择机制能更好地改进系统的网络拓扑聚集性、流服务质量和健壮性等多方面性能。在本文算法中, 服务节点集的大小  $m$  需要设定一个最大值  $M_{max}$ , 如何确定该值是下一步的研究方向。

请求, 以及在组播源不同而目的节点完全相同情况, 通过在组播源之间新建立光路使用多跳满足组播业务请求, 当网络负载增大时, 使得网络中已建立的光树(或子树)不能被很好地利用, 因此在网络负载比较高的情况下, MinRes 算法组播业务阻塞概率较 LFSEQMH 算法理想。

## 5 结束语

WDM 光网络中波长传输容量和业务请求带宽的巨大差距, 对网络资源合理分配提出了新的挑战, 因此, 研究如何将多个低速业务连接聚合起来传输, 有效实现组播业务疏导成为一个重要课题。本文针对光纤 Mesh 网中动态组播业务的疏导问题, 通过分析组播分光和具有疏导能力的交叉连接节点结构, 根据光纤 Mesh 网组播业务疏导的实际问题, 提出基于光树的组播业务疏导 MinRes 和 MinTN 启发式算法。仿真结果表明, 在网络负载比较高的情况下, MinRes 算法能有效地为动态到达的低速组播连接请求进行疏导、选路和波长分配计算, 从而有效利用了网络资源, 降低了光纤 Mesh 网中组播业务的阻塞概率。

## 参考文献

- [1] Huang Xiaodong, Farahmand F, Jue J P. Multicast Traffic Grooming in Wavelength-routed WDM Mesh Networks Using Dynamically Changing Light-trees[J]. Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(10): 3178-3187.
- [2] Khalil A, Hadjiantonis A, Assi C M, et al. Dynamic Provisioning of Low-speed Unicast/Multicast Traffic Demands in Mesh-based WDM Optical Networks[J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(2): 681-693.
- [3] UI-Mustafa R, Kamal A E. Design and Provisioning of WDM Networks with Multicast Traffic Grooming[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(4): 37-53.
- [4] Liao Luhua, Li Lemin, Wang Sheng. Dynamic Multicast Traffic Grooming in WDM Mesh Networks[C]//Proc. of NGI'06. Valencia, Spain: [s. n.], 2006.
- [5] Zhang Xijun, Qiao Chunming. An Effective and Comprehensive Approach for Traffic Grooming and Wavelength Assignment in SONET/WDM Rings[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(5): 608-617.

编辑 顾姣健

## 参考文献

- [1] Liao Xiaofei, Jin Hai, Liu Yunhao, et al. AnySee: Peer-to-peer Live Streaming[C]//Proc. of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Barcelona, Spain: [s. n.], 2006.
- [2] Costa M, Castro M, Rowstron A, et al. PIC: Practical Internet Coordinates for Distance Estimation[C]//Proc. of the 24th Intel Conf. on Distributed Computing Systems. Tokyo, Japan: [s. n.], 2004.
- [3] Ng T S E, Zhang Hui. Predicting Internet Network Distance with Coordinates-based Approaches[C]//Proc. of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. New York, USA: IEEE Communication Society, 2002.
- [4] Ying Lihang, Basu A. Traceroute-based Fast Peer Selection Without Offline Database[C]//Proc. of the 8th IEEE International Symposium on Multimedia. San Diego, CA, USA: [s. n.], 2006.
- [5] Hefeeda M, Habib A, Xu Dongyang, et al. CollectCast: A Peer-to-Peer Service for Media Streaming[J]. Multimedia Systems, 2005, 11(1): 68-81.

编辑 顾姣健