

MPLS 流量工程中基于约束的路由选择技术研究

张百生, 孟相如, 马志强, 马祥杰
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:在介绍 MPLS 流量工程基本概念的基础上,对流量工程的核心技术——基于约束的路由选择进行了系统的研究,并重点对基于约束路由研究的难点、计算方式、度量参数的选择作了深入的探讨,结合存在的问题,提出了今后基于约束路由可能的发展方向。

关键词:流量工程;基于约束的路由选择;度量参数;分布式路由

中图分类号:TN915 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)06-0060-05

以 IP 技术为基础的 Internet 正朝着宽带化、业务综合化的方向发展。但传统的网络路由体系如内部网关协议(IGP)与外部网关协议(EGP)等,只提供数据传输的尽力而为服务,不具备全网资源利用的调节能力。相应的算法在很大程度上会导致网络中传输的数据流汇聚到同一链路上或者说是同一节点的同一路口上去,从而引起网络局部严重拥塞和网络资源利用率大大下降。而流量工程(Traffic Engineering-TE)是一种可用来控制网络资源,提高网络性能,解决上述问题的网络资源调控技术,它能够是一种能将业务流映射到实际物理通路上,同时又可以自动优化网络资源以实现特定应用程序服务性能要求、具有宏观调节和微观控制能力。其主要目的是将业务流合理分配在现有的网络拓扑结构上,以优化网络资源的合理使用,提高网络性能。

多协议标签交换(MPLS)技术是 Internet 网络工程组(IETF)正在大力推广和进行标准化工作的一种新的数据转发机制,它处于数据链路层(L2)和网络层(L3)之间,特别适合于作为 IP 与 ATM 的融合技术在广域网和骨干网使用。MPLS 技术可以对业务流量提供很强的控制能力,使流量工程的实施十分便利。因此,基于 MPLS 的流量工程技术成为当前相关研究领域的热点之一,受到业界的普遍关注。流量工程的核心技术是基于约束的路由选择,本文首先对该技术做了介绍,并重点对基于约束路由研究的难点、计算方式、度量参数的选择作了深入的探讨,最后结合存在的问题,提出了今后基于约束路由可能的发展方向。

1 基于约束的路由技术概述

基于约束的路由选择既是流量工程的核心技术,同时也是实现 QOS 业务的关键。它可以根据多个约束条件计算出所有的可行路径,并根据一定的优选策略从中选择出一条最优的路径,以提高网络资源的利用率,实现网络性能的优化。目前研究基于约束的路由选择,主要是通过节点控制或整网和局部网络控制来提高 QOS。节点控制在单节点或单链路完成,节点控制主要的策略包括:业务流整形、业务调度、业务缓冲区管理。整网和局部网络控制是通过路由与信令的控制,使业务流或业务连接在网络中直接控制传输。

基于约束路由选择的主要目标是为业务选择满足其质量要求的传输路径。同时保证网络资源的有效利用。路由选择由两方面组成:一是发送数据包时依据哪些度量参数作为寻路标准,称为度量参数选择问题;二是在参数标准确定后,如何找到满足业务需求的路径,并保证数据经由选定路径传输到目的节点,称之为约束路由的计算问题。

基于约束路由研究中需要解决的主要难点包括:

收稿日期:2003-06-16

作者简介:张百生(1969-),男,河北唐山人,硕士生,主要从事程控交换与 ISDN 技术研究;

孟相如(1963-),男,陕西蓝田人,教授,博士生导师,主要从事宽带通信网络技术研究。

1) NP - Complete 问题:即要满足端到端时延,又要使网络利用率达到最大,还要减少计算的复杂度,实时应用往往会对延时、延时抖动、带宽、丢失率、业务代价等多个参数同时提出性能要求。这些参数相互独立时,选择满足多个参数限制的路由就成为 NP - Complete 问题。

2) 多业务并存:可承载多种不同 QOS 要求的业务,网络可靠性差、扩展困难。尤其是 QOS 和尽力而为 Best - Effort 业务独立共存时,难找到最优的参数作为标准。

3) 路由节点状态信息量大:节点需要记录的状态参数量将增加,如果状态信息的存储量随网络节点个数的增加而指数性增加,将限制网络的扩展。

2 基于约束的路由计算

目前,路由选择的计算方法往往采用改进 Dijkstra 或改进 Bellman - Ford 的算法,根据参数选择的标准不同,改进方法也不同,设计的算法复杂度也不相同。路由选择可以由业务源节点单独完成,也可以由网络中的多个节点协同完成。由源节点完成的路由选择称为源路由计算,多个节点协同完成的为分布式路由计算^[1]。

2.1 源路由计算

在源路由计算中,路由计算由一个节点(通常是网络的边缘节点或者源节点)集中完成。该节点必须具有全网的拓扑结构及链路状态信息,当采用预计算方式生成路由表时,路由表需要存储通往所有目标节点的完整路径。因此,进行源路由计算的节点需要具有较强的处理能力和较大的存储空间。传统的 IP 网络采用源路由方式时,每个 IP 分组需要完整的路径信息,增加了网络通信的开销。但在 MPLS 流量工程机制中,入口节点只需在建立 LSP 时把源路由计算结果嵌入标记请求消息的指定路由对象中,使 LSP 按照指定的路径建立起来。当数据分组到来时,入口节点根据分类结果给数据分组赋予适当的标记,就可使数据分组进入相应的 LSP 中,沿着指定的路径传输。因此,源路由在 MPLS 流量工程机制中引入的附加通信开销相当少,而且该方式也适合于系统对业务流的传输路径进行集中控制和全局优化,能够满足流量工程技术实施的要求。源路由计算简单灵活,源端可以独立选择路由计算路由,不需要有多个节点协同进行路由选择,可以避免分布式路由中的死锁和环路等现象。在基于源端的发送策略中,更容易设计出可实现的低复杂度寻路算法。源路由计算主要问题是选择费用大,状态信息不够准确,网络扩展难。

文献[5~7]探讨了通过预先计算路由的方法减少源路由的计算和延时开销,但预计算路由、每个节点仍需要保留全网状态信息,因此更新开销和不确定性问题仍然存在。为了减少节点状态信息存储量,人们提出了分层路由,分层路由是将多个节点会集成一个组。多个组又可以会集成更高的组,通过会集,整个网络可以建立分层网络。网络中每个节点仅了解自己所属组的节点特性和和会集组的总体特性。寻路过程中,每个节点将其它会集组看成为一个逻辑节点进行寻路,分层路由虽然可以减少节点信息更新和路由计算开销,但是,节点状态信息的不准确性仍然存在,而且,会集成组后,组外的节点无法完全获知组内节点的状态信息,更加重了信息的不准确性,因此需要对会集组的特性标识进行研究。

2.2 分布式路由计算

分布式路由计算中,路由选择由多个节点协同完成,每个节点存有到所有目的节点的下一跳列表,当收到一个数据包时,路由节点仅查表确定下一跳节点,然后发送数据包。这样,数据包每经过一个节点一跳接一跳向前发送。分布式路由的计算和信令发送一般是在业务到达前预先进行的,因此路由建立的响应比源路由快。文献[8]提出的基于探测(Probing)的分布式路由算法是一种典型的分布式 QOS 路由算法。这种算法的基本思想是沿多条路径为业务发送探测包,选择探测算法规则是业务由源节点出发沿多条路径发送寻路的探测包,接收到探测包的节点,向多个节点转发该数据包,每个数据包负责搜集所经路径的状态信息,目的节点收到探测包后,沿选定路由反向发送确认包,选定满足 QOS 要求的最优解返回到源节点启动资源预流过程,各个节点间就建立了基于业务的联系。基于探测包的算法不需要每个节点都保存全网状态信息,可以减少路由节点的状态存储量和节点计算开销,同时可以减少网络状态信息更新量,为网络扩展提供了良好的基础,因此得到了广泛的关注。

目前基于约束路由中研究比较多的蚂蚁路由算法^[9],就是一种由目的节点发起探测的寻路方法,基于探测包的分布式路由的主要开销是探测包开销,所选路径的可靠性越高、越接近最优路径,需要的探测包越

多,但是,探测包过多会加大网络负荷,降低网络的效率。因此,寻路探测包的数量与网络效率的折中点是该算法中需要解决的一个主要问题。另外在不同的探测包发送方式下,寻找到最佳路经所消费的探测包开销不同。因此,还需要考虑如何保证寻路过程在小探测开销下快速收敛到最佳路径。

分布式路由计算存在环路和多个路由节点的有效协同问题。网络中各个节点保留的其他节点的状态信息不一致或者节点路由信息不准确,都可以引起环路。如果路由节点间不能很好的协同,对整个网络的性能、路由协议的动态特性及路由结构的扩展性都会有负面影响。

2.3 两种计算方式比较

为了保证基于约束的路由,源路由与分布式路由有时都可能进行资源预留,预留过程中,其他业务无法占用被预留的空闲资源,造成资源利用率下降。如果预留过程中,某节点资源不能满足标准,预留失败,则已经预留的资源将完全浪费,也会降低链路的利用率。针对这个问题提出软预约与硬预约相结合的方法。其基本思想是:处于软预约状态的资源不再被其他业务预约,但是仍然可以被其他业务使用,如果软预约状态的资源收到反向确认信息,则转入硬预约状态,其他业务不可以再使用该资源,资源预约的主要缺点是会在一定程度上降低路径利用率。网络扩展问题也是二者共同面对的一个问题,如何降低节点状态存储量,减少路由节点个数对节点状态信息的存储量的影响,消减路由开销是提高网络扩展性的关键点。表1是源路由与分布式路由的比较。

表1 源路由和分布式路由的比较

	选路开销	开销量	节点保存的状态信息
源路由	更新信令	大	保存整个网络中所有节点所选参数特性
	计算路径	大	
	建立链路信令	较小	
	预约延时	大	
分布式路由	更新信令	较小	保存整个网络中所有节点所选参数特性或者仅保存相对于某个业务的下一跳节点
	计算路径	较小	
	建立链路的探测	大	
	预约延时	较小	

3 基于约束路由选择的度量参数

路由选择的度量实际上是与链路相联系的一种权值,它既可以作为路径选择的约束条件,也可以作为衡量路径优劣的一种重要判据。路由度量根据其特性,大致分为3类^[2]。设 $d(i,j)$ 是链路 (i,j) 的度量,则对于任意的路径 $P=(i,j,k,\dots,m,n)$,

1)当路径 P 的度量满足 $d(P)=\min\{d(i,j),d(j,k),\dots,d(m,n)\}$ 时,称度量 d 为凹性度量。链路的可用带宽(或者可预留带宽)就是典型的凹性度量。

2)当路径 P 的度量满足 $d(P)=d(i,j)+d(j,k)+\dots+d(m,n)$ 时,称度量 d 为加法度量。节点数、时延、时延抖动、通信费用等都属于加法度量。

3)当路径 P 的度量满足 $d(P)=d(i,j)\times d(j,k)\times\dots\times d(m,n)$ 时,称度量 d 为乘法度量。链路的可靠性就属于乘法度量。

在基于约束的路由选择算法中,希望寻找一个同时满足两个或两个以上加法或者乘法度量约束的路径,因此,比较可行的路由选择方案是从上述加法或者乘法度量中选取一个度量,并结合带宽、资源类别等非加法和乘法度量,共同作为约束条件来进行路径选择。

3.1 选取主度量参数

基于约束的路由算法不仅要能够找出满足多种约束条件的可行路径,而且还要能够从这些可行路径中筛选出相对优良的路径,以提高网络资源利用率,实现优化网络性能的目的。在满足约束条件的前提下,对业务流传输路径进行优化的目标主要有两个:一是节省网络传输的资源,即路径所需的预留资源尽可能少,或者路径所通过的节点数尽可能少;二是流量负载在网络中尽可能均匀分布,以减少拥塞发生的概率。但这

两个路由优化目标通常不能同时实现,因此在路由选择时,常常是根据一个方面的要求来寻找最优解。当存在多个最优解时,再根据其他方面的要求作进一步的优化,或者通过选择一种合适的度量参数将这两方面的要求结合起来进行综合优选。在基于约束的路由选择算法中,可以采用以下的几种路径优选算法^[3]。

1) Minimum - Bandwidth Path——寻找一条所需预留带宽最小的可行路径。如存在多条这样的路径,则选择其中经过节点数最少的一条路径。这种路径优选算法主要是为了节省网络资源。

2) Widest - Shortest Path——寻找一条具有最少节点数的可行路径。当存在多条这样的路径时,则选择其中最宽的一条路径。这种路径优选算法在考虑网络资源节省的前提下,兼顾考虑负载的均匀分布。

3) Shortest - Widest Path——寻找一条最宽的可行路径。当存在多条这样的路径时,则选择其中经过节点数最少的一条路径。这种路径优选算法在考虑负载均匀分布的前提下,兼顾考虑网络资源的节省。

4) Shortest - Delay Path——寻找一条在按照路径的最大可预留带宽进行资源预留时,具有最小端 - 端时延的可行路径。当存在多条这样的路径时,选择其中经过节点数最少的一条路径。这种路径优选算法同时考虑了网络负载均匀和网络资源节省两方面的需求。如何在通信资源节省、网络负载均匀以及计算复杂度之间取得最佳的平衡点,这是基于约束的路由算法中的一个研究重点。

基于以上路径参数选择的算法在拓扑和负荷不同时,有很大的差异。网络的对称性和连通性越好,以传输延时为主要参数的算法 Widest - Shortest 性能越好,反之以带宽为主要参数的算法 Shortest - Widest 性能越优。业务负荷越重,以传输延时为主要参数的算法在业务阻塞率方面的性能更优。因为负荷越重时,可能找不到满足带宽要求的路径,导致寻路失败,业务阻塞。选主度量参数的参数选择方法简单易于实现,但是相关的路由算法一般仅考虑两个参数要求,当参数增多时,需要对参数选择的主次进行扩展。按照这个扩展,随着参数个数的增多,选择到完全满足要求的路由的概率随之减少,业务接入率逐渐减少,算法性能下降。

3.2 具有相关性的多个参数

这是一种与调度控制协调的路由选择方法。文献[2]将路由调度与基于速率的调度策略相结合,为经过节点控制的业务选择路由。基于速率的调度策略根据各个业务流输入速率大小按比例分配信道带宽,如加权公平排队 WFQ (Weighted Fair Queuing) 调度策略,经过节点控制业务在节点或网络中的某些特性有确定性和相关性,利用这些确定性及相关性可以减低路由算法的复杂度,提高算法可实现性。

3.3 量化参数

按照一定的精度量化参数可以减少算法复杂度和路由信息的开销,并能够在一定程度上保证所选路由的可用概率。

路径度量参数的选择中还需要考虑多种业务并存问题,既如何同时满足不同业务的服务质量要求,文献[10]和[11]分别对此问题进行了研究。研究表明,各个算法在不同网络拓扑特性和业务特性下性能差别较大,而现有动态路由算法在业务动态变化的特性都无法预知,从全网性能考虑,解决多业务并存问题还需要将路由与公平调度相结合。

4 结束语

随着网络流量的爆炸性增长,网络规模日益膨胀,实现复杂度高,多业务并存是基于约束路由研究中需要解决的基本问题,本文从两个方面介绍了解决方法,从各种性能比较上看,这些算法在一定程度上改善了网络的服务质量,但现有的研究还普遍存在以下几个主要问题^[13]。

1) 缺乏路由模型,理论研究困难。由于网络拓扑和业务特性复杂多样,协议数学描写困难,因此,目前多数路由研究主要是针对某个问题设计启发算法,而不是基于某种模型从理论上推导算法的特性和性能,因此尚缺乏系统的理论支持。

2) 选择业务不同,评估标准不一致。由于解决的问题不同,优化目标往往不相同,评估标准不一致,因此制定出统一的路由评估对研究具有重大意义。

3) 业务的要求对网络状态影响大。现有的基于约束的路由依据用户业务对服务质量的要求进行选路,一旦存在满足要求的路径就会将业务接入,没有考虑该业务的接入对网络状态有多大的改变。如果业务特性变化过快,网络急剧变化,网络效率、阻塞率等特性都会受到很大影响。

4) 节点控制与路由过程脱离。网络业务提供 QOS 服务时,节点控制和路由控制是相辅相成,缺一不可

的。

基于约束路由的主要目标是:高效、灵活、可靠、简单、可扩展性、互操作性以适应不同网络拓扑和业务的环境,对该技术的研究目前正是相关领域的热点之一。本文所介绍的路由算法各有针对,各有优缺点,通过对各种算法的比较,在基于约束的路由选择中,以下几项技术更具有发展潜力。

度量参数与节点控制相结合的选路方法。通过对业务的预处理,界定参数、加大参数间的相关性,便于扩展参数个数,并且可以灵活区分业务类型,有助于设计低复杂度的有优先级保证的基于约束路由算法,可以作为提高 QOS 路由的算法。

基于约束路由中,分层式路由和分布式路由扩展性相结合可能会成为未来选路发展的方向。

根据统计信息选择路由,可以均衡网络负荷,提高网络效率。

参考文献

- [1] Richard Rabbat. Traffic Engineering Algorithms Using MPLS for Service Differentiation[EB/OL]. <http://intl.ieeexplore.ieee.org>. 2001-05-04.
- [2] LIU Yu-heng, ZHANG Guang-zhao. Research on MPLS Traffic Engineering [J]. Data Communication, 2000, (2): 1-4.
- [3] Wang Z, Crow Croft J. Bandwidth-Based Routing Algorithms [EB/OL]. <http://intl.ieeexplore.ieee.org>. 2001-05-15.
- [4] 石晶林, 丁 炜. MPLS 宽带网络互联技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [5] Chotipat Pomavalai, Goutam Chakraborty, Norio Shiratori. QOS Routing Algorithms for Pre-Computed Paths[A]. Proceeding of The International Conference on Computer Communications and Networks[C]. LAS Vegas, USA: Icccn, 1997.
- [6] Apostolopoulos G, Tripathi S K. On The Effectiveness of Path Per-Computation in Reducing The Processing Cost of on-Demand QOS Path Computation[A]. Proceedings IEEE Symposium on Computers and Communication[C]. GREECE: IEEE, 1998.
- [7] Shaikh A, Rexford J, Shin K. Efficient Precomputation of Quality-of-Service Routes[A]. NOSSDAV, 98[C]. Cambridge, UK: NOSSDAV, 1998. 15-27.
- [8] Orda Ariel, Sprintson Alexander. QOS Routing: The Precomputation Perspective[A]. TNFOCOM, 2000. [C]. Tel-Aviv, Israel: INFOCOM, 2000. 128-136.
- [9] Chen S, Nahrsted K. Distributed QOS Routing With Imprecise State Information[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Communications and Networks [C]. Lafayette LAUAS: IEEE, 1998.
- [10] Schoonderwerd R, Hollaand O, Bruten J, et al. Ant-Based Load Balancing in Telecomm-unications Networks [J]. Adaptive Behavior, 1996, 5(2): 169-207.
- [11] Ariel Orda. Routing With End to End QOS Guarantees in Broadband Nnet-Works [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 17(3): 365-374.
- [12] Danny Raz, Yuval Shavitt. Optimal Partition of QOS Requirements With discrete Cost Functions[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(2): 2593-2606.
- [13] 杨建军, 龙光正, 高虹霓. 启发式最短路算法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(6): 68-74.

(编辑: 门向生)

A Study of Constraint-based Routing Technology in MPLS Traffic Engineering

ZHANG Bai-sheng, MENG Xiang-ru, MA Zhi-qiang, MA Xiang-jie

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: In view of the introduction to the basic concept of traffic engineering, the core technology in traffic engineering is studied systematically, and then difficult points, methods in calculating and selection of metric parameters are discussed deeply in constraint-based routing technology. And feasible further advances in the constraint-based routing are proposed based on the analysis of the existent problems.

Key words: traffic engineering; constraint-based routing; metric parameters; distributed routing