

一种基于 DiffServ 的拓扑抽象算法*

贾志娟¹, 胡明生², 刘 思², 洪 流³

(1. 武汉理工大学 计算机学院, 武汉 430070; 2. 郑州师范学院 信息科学与技术学院, 郑州 450044; 3. 华中科技大学 系统工程研究所, 武汉 430074)

摘 要: 针对网络规模增长所引起的拓扑抽象可扩展性问题, 提出了一种新的 QoS 信息抽象算法(DSTA)。通过构建一种新的阶梯来表示原来的 QoS 信息阶梯, 新阶梯根据 DiffServ 由有限数量的点确定, 因而能够不依赖于网络规模的大小。OPNET 仿真结果表明, DSTA 算法具有较高的准确性和可扩展性。

关键词: 拓扑抽象; QoS 路由; DiffServ; 阶梯; 可扩展性

中图分类号: TP393; TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3071-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.070

DiffServ-based topology aggregation algorithm

JIA Zhi-juan¹, HU Ming-sheng², LIU Si², HONG Liu³

(1. College of Computer, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. College of Information Science & Technology, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou 450044, China; 3. Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at the scalability problem of topology aggregation caused by the rapid growth of network size, this paper proposed a novel algorithm (DSTA) for aggregating QoS information, which constructed a new staircase to represent the aggregated QoS information staircase. The new staircase was determined by a limited number of points according to DiffServ, so that could be independent of the network scale. Simulation results of OPNET show that the proposed algorithm has high accuracy and scalability.

Key words: topology aggregation; QoS routing; DiffServ; staircase; scalability

0 引言

随着互联网规模的不断扩大, 支持 QoS 的源路由和分布式路由都存在时空复杂性过高的问题, 因此支持 QoS 的层次路由开始成为新的研究热点。在层次结构的路由体系中, 通过引入拓扑抽象^[1,2] (topology aggregation, TA) 技术来实现 QoS 路由的可扩展性。

拓扑抽象最常见的方式是把一组节点作为一个逻辑节点来表示, 从而用少量具有代表性的逻辑节点和链路表示网络的详细拓扑信息。如图 1 所示, 网络由四个域 I、II、III 和 IV 组成, 其中白色小方框代表边界路由器, 域 I 中的黑色小圆点代表核心路由器, 这些路由器只能获得本域的详细拓扑信息, 而所能了解到的域 II、III 和 IV 的信息都是抽象后的结果(图 1 中黑色小六边形), 这样就能够显著减少路由器维护、信息交换和路由计算的复杂度, 有效解决大规模网络所带来的可扩展性问题。然而, 由于拓扑信息的准确性直接影响着路由算法的性能, 而拓扑抽象必然会导致一定量的信息损失, 并且这一失真问题通常会随着网络规模的扩大而愈发明显, 所以尽管拓扑抽象所追求的目标是用尽可能少的数据尽可能精确地描述大规模网络的拓扑信息, 但在本质上仍只是一种对网络可扩展性和拓扑信息精确性的权衡。

近年来, 随着互联网域间 QoS 路由研究的深入, 拓扑抽象问题, 特别是延时和带宽两个 QoS 状态的抽象问题受到了研究者广泛的关注。由于服务支持区域^[3]在延时-带宽平面上表示时有很明显的几何特征, 即阶梯状, 如图 2 所示。其中阶梯上的凸拐点称为代表点, 凡是落于阶梯之内(即阶梯下方)的延时-带宽路由请求都是可被满足的, 而凡是在阶梯之外的请求则不可被满足, 因此基于延时-带宽的拓扑抽象研究一般都着重于如何用几何压缩的方法对该阶梯进行近似表示。

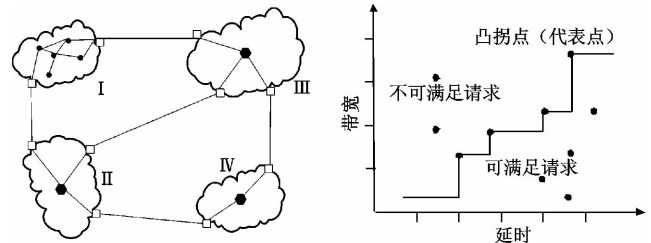


图1 拓扑抽象(域I视角) 图2 服务支持区域的楼梯状特征

但是现有的这些方法在网络规模进一步增大时, 则显得适应性不足。如拉伸因子法^[4] (stretch factor) 采用曲线模型来拟合阶梯凸拐点, 能够反映出路径参数和最优值的偏离度, 并可以有效地缩小被过高估计的区域, 但是随着网络规模的增加会存在很高的遇忙返回率。一般来说, 线段法^[5] (line segment)

收稿日期: 2011-11-18; **修回日期:** 2011-12-24 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60903174); 中央高校基本科研业务费资助项目(HUST:2010MS017, 2010QN016); 河南省基础与前沿技术研究项目(092300410042); 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2008C520009)

作者简介: 贾志娟(1973-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为无线通信技术(ukyokyo@yahoo.com.cn); 胡明生(1973-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为网络信息安全和智能控制; 刘思(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向为下一代网络; 洪流(1978-), 男, 副教授, 主要研究方向为复杂系统、交通基础设施网络等。

比拉伸因子法好,但是存在一些阶梯凸拐点偏离线段太远,所以失真率仍比较大。Tang 等人^[6]定义了三种逼近曲线(多项式曲线、三次曲线和多折线)来拟合原阶梯,它们的失真率比线段法小,然而空间复杂度却急剧增加。Hou 等人^[7]提出了一种扩展性较好的阶梯表示法来逼近抽象的 QoS 信息,但是随着网络规模的增加其时间复杂度依然很高。这些基于几何学的方法的主要目的是使原阶梯和拟合几何表示法之间的区域最小化,但是这个区域通常会随着网络规模的增长而急剧增大,从而导致拓扑抽象本身的可扩展问题。图3是对这个问题的图形解释,图3中一个是线段法,另一个是拉伸因子法。可见,当网络增大到相当大的规模时,拟合的误差和难度也变得越来越来。

本文提出了一种基于 DiffServ(区分服务)^[8,9]的阶梯表示法(DiffServ-based topology aggregation, DSTA)来实现拓扑抽象,它利用用户的服务请求等级来优化对 QoS 信息的抽象近似,并用一个新的简易阶梯来表示原来的延时-带宽阶梯。该方法的创新点是,构成新阶梯的点的数量是独立于网络规模的。同时采用了最小区域优化法^[7]来减小新阶梯的失真度,以获得更好的准确性和可扩展性。

1 DSTA 算法

DSTA 算法的总体思想如下:a)利用 DiffServ 将用户的服务请求划分为几个等级;b)根据服务请求等级进行映射分布,把原阶梯上的凸拐点分割成与各个等级相对应的部分;c)求出阶梯上各部分中的最优化点,并用所有最优化点来构成新的阶梯。由于新的阶梯由有限个点组成,并且这些点的数量不依赖于网络规模,所以能够使新阶梯的空间和时间复杂度达到 $O(1)$ 。由于 DiffServ 技术能够用数量有限的等级来对应大量的用户服务请求^[10],所以本文通过引入 DiffServ 技术来减少表示新阶梯的点的数量,从而实现算法的可扩展性。同时,利用最小区域优化法来获得各个最优化点,以保证 DSTA 算法的准确性。

一般来说,一个大型网络是分层结构的,由一系列的域以及连接这些域的链路组成。设整个网络可表示为 $N = (G(V, E), L)$, 其中, $G(V, E)$ 是网络中所有域的集合, L 是 N 中物理链路的集合。在域 $G(V, E)$ 中, V 是域中所有节点的集合, E 是域内物理链路的集合。如果在域内有两个边界节点想进行通信,就存在着多条具有不同延时-带宽属性的物理路径可以选择,因而每条物理路径都可由一个二元组(延时、带宽)来表示。针对不同的用户 QoS 请求,必须区分出这些路径的 QoS 支持能力。在拓扑抽象中利用路径支配法来描述这些路径所能满足的服务支持区域^[11,12],即阶梯状的下部区域。通过阶梯,用户的服务请求和路径的 QoS 支持能力在延时-带宽坐标平面上实现了对应。阶梯的大小取决于两个边界点之间的物理路径数目,这些路径的数目会随着网络规模的不断增大而以指数形式增加。

本文假定,用户的各种服务请求都可由一个(延时 delay, 带宽 bandwidth)二元组确定(简记为 (d, b))。每对延时-带宽值都可在延时-带宽坐标平面上用一个点表示,设这些点的集合为 P_{req} ,原阶梯上凸拐点的集合为 P_{stair} 。根据 DiffServ 技术将 P_{req} 集合里具有相近服务请求的点进行聚类,这样 P_{req} 里所有的点都被聚到数量有限的类组中,如图4中的各个矩形。设此聚类为 $\{C_1, C_2, \dots, C_G\}$, 其中 G 是在 DiffServ 中指定的参数,即 P_{req} 里所有的点被聚为 G 个组。由于参数 G 是由 Diff-

Serv 所划分的用户服务等级数目决定的,不依赖于网络规模的大小,所以能够实现较好的可扩展性。

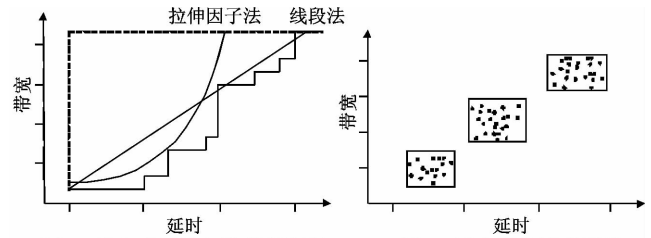


图3 拟合表示法与阶梯的误差

图4 用户服务请求聚类

在第 i 个组 C_i 中,设 P_{req} 里的点都被包含在矩形 S_i 里,其中 S_i 的范围为 $[d_{i \min}, d_{i \max}] \times [b_{i \min}, b_{i \max}]$, $d_{i \min}$ 、 $d_{i \max}$ 分别表示在坐标平面中此矩形所包含的最小延迟和最大延迟, $b_{i \min}$ 、 $b_{i \max}$ 则分别表示最小带宽和最大带宽。如图5所示,若将这 G 个矩形映射到原阶梯,就会把 P_{stair} 里的凸拐点也划分为 G 个组。假定对于某一矩形 S_i ,在 P_{stair} 里有 n_i 个点包含在其中,可通过 n_i 个点在 S_i 中找出一个最优化点,并用这些最优化点来构建一个新的阶梯。

假定 P_{stair} 里的点按照延时由小到大进行排序,那么在给定矩形 $S_i([d_{i \min}, d_{i \max}] \times [b_{i \min}, b_{i \max}])$ 中,设 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 是 P_{stair} 在 S_i 中的 n_i 个凸拐点。 S_i 的最优化点可以由以下几个步骤来确定:

a)如图6所示,设 A 为原阶梯内部和 S_i 所围成的封闭区域,即 A 代表 S_i 中支持用户服务请求的区域,并设形成原阶梯的折线为 f_3 ,其中 p_1 和 p_2 为 f_3 在 S_i 的凸拐点。

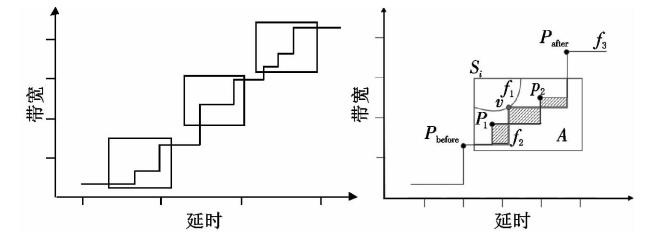


图5 将聚类矩形映射到原阶梯

图6 获得 S_i 中的最优点

b)在 S_i 中确定一条曲线 f_1 ,使其满足式(1),其中 A_{area} 表示区域 A 的面积:

$$f_1 = \{(x, y) | (d_{i \max} - x)(y - b_{i \min}) = A_{\text{area}}, (x, y) \in S_i\} \quad (1)$$

c)对于 S_i 里的阶梯凸拐点,找出第一个凸拐点 p_1 (图6中为 p_1)的前一个凸拐点,如图6中 p_{before} ,设 p_{before} 点的坐标为 $(x_{\text{before}}, y_{\text{before}})$,以及最后一个凸拐点 p_n (图6中为 p_2)的后一个凸拐点,如图6中 p_{after} ,设 p_{after} 点的坐标为 $(x_{\text{after}}, y_{\text{after}})$ 。任意取曲线 f_1 上一点 v ,设 v 点的坐标为 (x_v, y_v) 。可以用 p_{before} 、 v 、 p_{after} 构成一个简单的阶梯 f_2 ,方法如下:(a)从 p_{before} 点到 v 点的折线,可分为两条线段,其中第一条线段的方程为: $y = y_{\text{before}}$, $x \in (d_{i \min}, x_v)$,第二条线段的方程为: $x = x_v$, $y \in (y_{\text{before}}, y_v)$;(b)从 v 点到 p_{after} 点的折线,也可分为两条线段,其中第一条线段的方程为: $y = y_v$, $x \in (x_v, x_{\text{after}})$,第二条线段的方程为: $x = x_{\text{after}}$, $y \in (y_v, b_{i \max})$,如图6中蓝线(见电子版)所示。

d)此时在 S_i 中,新阶梯 f_2 与原阶梯 f_3 之间会形成一块封闭区域 Δ ,如图6中阴影部分所示,其面积为

$$\Delta = \int_{d_{i \min}}^{d_{i \max}} |f_2 - f_3| dx \quad (2)$$

e)对曲线 f_1 上的所有点,存在一个点使该区域 Δ 的面积达到最小值,而使 Δ 取最小值的点即为 S_i 中的最佳值点。由于 Δ 是连续可微的,可以通过计算 Δ 的导数得到该最佳值点。

f)对于 G 组服务请求聚类,可以得到 G 个矩形的最优化点,并用这些点作为阶梯凸拐点来构成一个新阶梯。

因为参数 G 的确定是独立于网络规模大小的,所以用 DSTA 算法生成新阶梯的空间和时间复杂度是 $O(1)$ 。此外,由于使用了最小区域优化法,新阶梯的 QoS 拓扑抽象准确度也得到了保证。

2 实验仿真

本文使用了 OPNET 10.0 作为仿真平台,并将拉伸因子法(记为 SF)和线段法(记为 LS)作为 DSTA 算法的参照,在不同的网络规模下(以物理路径数表示)进行性能比较。一般拓扑抽象算法在评测性能时,偏向于利用路由成功率来说明算法性能的优劣,而路由成功率不仅受拓扑抽象算法的失真率的影响,也受具体路由算法本身性能的影响,因此实际上并不能准确反映拓扑抽象算法性能的优劣,为此本文除了进行成功率的比较,还加入了延时偏差和遇忙返回率的比较。在参数设置上,带宽请求均匀地分布在 [15 Mbps, 150 Mbps],延迟请求均匀地分布在 [100 ms, 500 ms]。网络仿真的背景通信量参数则是在网络规模 and 用户服务请求参数的界定内随机生成的。

图 7 是延时偏差(单位 ms)的比较结果。仿真结果表明,DSTA 算法的延时偏差较小;此外可以看到,随着网络规模的不断增大,DSTA 算法的延时偏差没有发生明显的变化,因此,当网络规模变大时,DSTA 算法比另外两种方法有更好的延迟偏差性能。

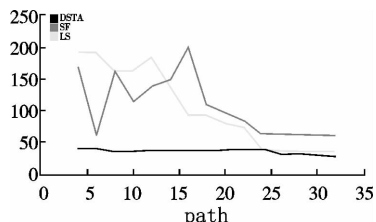


图7 延时偏差比较

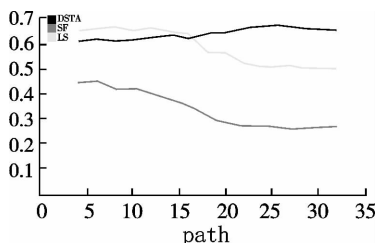


图8 成功率比较

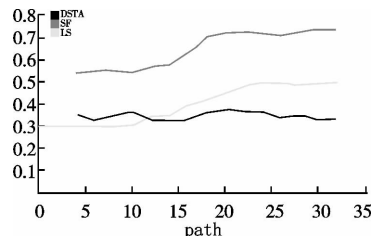


图9 遇忙返回率比较

图 8、9 分别表示在不同网络规模下,成功率和返回率的比

较。DSTA 算法的成功率要高于其他两种方法,其返回率也比较低;同时还可以发现 DSTA 算法的成功率和返回率对网络规模的变化不敏感。因此,随着网络规模的增大,可以认为 DSTA 算法的性能十分稳定,换言之,DSTA 算法显著地提高了可扩展性。

3 结束语

本文针对拓扑抽象中的 QoS 信息抽象提出了一种新的阶梯表示法。该方法用有限的点来构成一个新阶梯,它随着网络规模的增大具有可扩展性,并采用了最小区域优化法来降低新阶梯的失真率。仿真结果表明,该方法既取得了良好的可扩展性,又能够以较高准确度来逼近原阶梯。

参考文献:

- [1] 陆慧梅,胡虹雨,向勇,等.基于时延—带宽约束的新型层次拓扑聚集算法[J].通信学报,2007,28(3):93-99.
- [2] WANG Jian-ping, PAN Chao-ping. Topology aggregation and decoding algorithms based on a minimum spanning tree in asymmetric multi-domain optical networks[J]. Photonic Network Communications, 2011, 21(1): 28-33.
- [3] 熊柯,裴正定.基于六元组的混合式 QoS 信息聚合算法[J].高技术通讯,2009,19(7):686-692.
- [4] KORKMAZ T, KRUNZ M. Source-oriented topology aggregation with multiple QoS parameters in hierarchical networks[J]. ACM Trans on Modeling and Computer Simulation, 2000, 10(4): 295-325.
- [5] LUI K L, NAHRSTEDT K, CHEN S G. Routing with topology aggregation in delay-bandwidth sensitive networks[J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2004, 12(1): 17-28.
- [6] TANG Yong, CHEN Shi-gang, LING Yi-bei. State aggregation of large network domains[J]. Computer Communications, 2007, 30(4): 873-885.
- [7] HOU Rong-hui, LUI King-shan. Routing with QoS information aggregation in hierarchical networks[C] // Proc of the 17th International Workshop on Quality of Service. 2009: 1-9.
- [8] 张应宪,刘爱军,郭道省. HAPS-GEO 卫星空间 IP 网络结构及端到端 QoS 方案研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(7): 2647-2650.
- [9] 马宏伟,秦松,袁卫华. 一种丢包率比例区分服务及其实现[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(8): 3127-3131.
- [10] 张蕾,苏锦海,张永福. OPNET 环境下 DiffServ 机制的仿真[J]. 计算机工程, 2007, 33(4): 94-96.
- [11] DANIEL B, JOHN N. Topology aggregation for combined additive and restrictive metrics[J]. Computer Networks, 2006, 50(17): 3284-3299.
- [12] JUNG E, RANKA S, SAHNI S. Topology aggregation for e-science networks[C] // Proc of the 10th IEEE International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing. 2010: 530-533.

下期要目

- ❖ 虚拟植物模型及其构建方法研究综述
- ❖ 差分隐私保护研究综述
- ❖ 海量图数据可视化研究
- ❖ 应急配送车辆调度优化研究综述与展望
- ❖ 基于模糊 VIKOR 和熵权方法的外包供应商选择模型
- ❖ 基于蛋白质相互作用网络预测癌症致病基因

- ❖ 面向用户均衡需求的 Web 服务资源智能推荐方法
- ❖ 给定费用下单设施点灾民优化安置模型
- ❖ 基于自适应学习的多目标粒子群优化算法
- ❖ 一种采用完全 Logistic 混沌的 PSO-GA 优化方法
- ❖ 优化多品种零散货物配装问题的混合遗传算法
- ❖ 考虑交通拥堵成本的零售商订货决策模型
- ❖ 一种居住区位和通勤交通方式的组合选择模型
- ❖ 基于改进蚁群算法的周期多帧认为分配