

# 基于带宽时延约束的 QoS 单播路由算法

李 勇

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** 算法利用网络中每个节点的状态信息, 通过选择探测的方法搜索满足业务带宽和时延约束要求的路由。算法分为路由探测和路由确认两个过程。在探测过程中, 利用探测报文搜索可行的路由并在探测节点上重新计算带宽和时延参数, 然后依据新参数继续探测符合约束要求的可行路由。当探测到路由请求的目的节点时, 开始路由的确认过程。路由确认选取可行路由, 利用确认报文进行路由确认, 满足约束要求的节点进行资源预留, 否则选取新路由进行确认。确认报文到达源节点时, 表明路由建立成功, 否则利用失败报文通告路由失败。仿真结果表明该算法能快速有效地建立路由。

**关键词:** QoS 路由; 参数约束; 探测; 路由状态

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)03-0128-04

## A Distributed QoS Routing Algorithm Based on Bandwidth and Delay Constraint

LI Yong

(School of Computer, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** This algorithm depends on the local state of each node in the networks, searches routes that meet bandwidth and delay requirements through the selective probe method. It consists of two processes, routing detection and affirmation. In the routing detection process, it recalculates constraint parameters at each node, and then with the new parameters to probe feasible routes, which reduces the computational complexity of parameters. It will start affirmation process when the probe message reaches the destiny. In the routing affirmation process, it selects a feasible path meeting the constraint requirements and reserve resource in all nodes on the path. The routing successes when acknowledgement reaches the source node. The simulation results show that the proposed algorithm can establish a feasible route with high speed.

**Key words:** QoS routing; parameter constraints; probe; route state

## 0 引 言

随着网络应用的不断发展, 新型业务如语音、视频、多媒体等对网络的服务质量 (Quality of Service, QoS) 提出了更高的要求, 传统的尽力而为的网络服务已不能满足新型业务的要求。IETF 为支持 QoS 需求, 提出了多种服务模型和机制, 包括 QoS 路由, 区分服务模型, MPLS 等<sup>[1]</sup>。其中 QoS 路由是解决 QoS 问题的一项关键技术。QoS 路由算法的基本任务就是为一次连接寻找一条有足够资源、能满足 QoS 要求的可行路径, QoS 路由的约束参数包括带宽约束、时延约束、时延抖动约束和分组丢失率约束等<sup>[2]</sup>。依据这些参数的运算性质可分为加性参数、乘性参数和凹性参数。其中带宽属于凹性参数, 跳数、时延属于加性参数, 分组

丢失率属于乘性参数<sup>[3]</sup>。QoS 路由是面向连接的、有资源预留功能并且能够提供有质量保证的服务。QoS 路由算法可分为单播路由算法和多播路由算法两类。目前多数 QoS 单播路由算法是对 dijkstra 算法的改进来实现, 算法的复杂度和适应性不是很好。DCLC-K<sup>[4]</sup>路由算法是一种基于选择性探测的 QoS 单播路由算法, 通过在多条链路搜寻路径<sup>[5]</sup>, 选取满足时延要求的路由。但是此算法没有考虑业务的带宽约束要求, 并且是在路由请求的源节点接收到路由确认后才能进行资源预留。针对这些问题, 文中在此算法的基础上, 提出同时考虑带宽和时延这两个重要约束参数, 利用网络节点的状态信息把参数计算分布到每个节点上, 以此来减小参数计算复杂度, 在路由确认过程中实施资源预留, 提高路由算法的效率。

收稿日期: 2010-06-30; 修回日期: 2010-09-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863”项目 (2009AA01Z202)

作者简介: 李 勇 (1981-) 男, 硕士研究生, 研究方向为基于 IP 的一代通信网络。

## 1 问题描述

网络可用有向图  $N = (V, E)$  表示, 其中  $V$  表示网

络中所有节点的集合,  $E$  表示网络所有链路的集合。在网络  $N$  中,假设从源节点  $s$  到目的节点  $t$  存在一条路径  $S = \{s, i, j, \dots, n, t\}$ ,  $B(v1, v2)$  表示  $v1v2$  间链路带宽,  $D(s, t)$  表示路径  $S$  总时延,  $d(v)$  表示节点时延,  $d(v1, v2)$  表示  $v1v2$  间链路时延,  $\text{bandwidth}$  是带宽约束,  $\text{delay}$  是时延约束。

路径  $S$  上,凹性参数带宽、加性参数时延的约束方程为:

$$B(s, t) = \min \{B(s, i), B(i, j), \dots, B(n, t)\}$$
$$D(s, t) = \sum d(v) + \sum d(v1, v2);$$
$$Q(S) = \{B(s, t) \geq \text{bandwidth}, D(s, t) \leq \text{delay}\}$$

带宽时延约束的路由问题<sup>[6]</sup>就是寻找出一条路径  $S$ ,使约束条件  $Q(S)$  成立即寻找出一条满足约束要求的可达路由。

2 基于带宽时延约束的 QoS 单播路由算法

本路由算法分为两个过程:路由探测过程和路由确认过程。路由探测过程中,路由请求的源节点依据业务要求的带宽和时延参数构造探测报文进行路由探测。为实现对路由的选择探测,只在满足带宽和时延约束要求的网络链路上发送探测报文。当探测报文达到下一个节点时,此节点生成路由状态信息来记录此路由的前驱节点,并对探测报文中的参数进行重新计算产生新的约束,然后利用这些新参数构造出新的探测报文,继续探测满足约束要求的路由。路由状态信息记录路由也是为了进行路由确认过程。

探测报文到达目的节点时,立即开始进行路由的确认过程。确认从目的节点开始,到路由请求的源节点结束。确认过程中使用确认报文和失败报文。每个节点从保存的路由状态信息中选择一个前驱节点,向其发送确认报文。前驱节点接收到探测报文后,检查自己的可用源,如果满足确认报文中的资源请求条件,则进行资源预留并把后继节点加入路由状态信息中,并进行下一步确认。如果节点无法满足请求的资源,则向确认报文的发送节点发送失败报文,通告当前路由失败并释放保存的路由状态信息。节点收到失败报文后,重新选择一个前驱节点进行路由确认<sup>[7]</sup>。若无前驱节点,则发送失败报文通告给自身的后继节点并释放保存的路由状态信息。当确认报文到达路由请求的源节点且资源预留成功时,路由就成功建立。

2.1 控制报文

本算法的路由探测过程和路由确认过程中使用的三种类型的控制报文分别为:探测报文、确认报文和失败报文。为减小处理报文的复杂度,控制报文采用如图 1 的格式:

type	seq	source	desting	sender	Qos
------	-----	--------	---------	--------	-----

图 1 控制报文结构

其中, type: 报文类型; seq: 序号; source: 源节点; destiny: 目的节点; sender: 报文发送方; QoS: 参数约束。

探测过程中,搜索路由时采取选择探测的办法<sup>[8]</sup>,即把探测报文中的带宽和时延参数的计算分布到每个探测节点上,生成新的约束条件。假设在节点  $v$ ,对其任意的邻节点  $k$ ,  $d(v)$  表示节点时延,  $d(v, k)$  表示链路时延,探测报文的 QoS 时延参数  $\text{delay}$  重新计算然后和带宽产生新的约束如下:

$$\text{delay} = \text{delay} - d(v) - d(v, k);$$
$$\text{delay} \geq 0;$$
$$\text{bandwith} \leq \text{Bandwidth}(v, k);$$

新约束成立时,节点  $k$  加入路由,并用新的时延和带宽参数构造新的探测报文进行下一步路由探测;如果约束条件不能成立,则选择另一个相邻节点进行路由探测。这样依据新的带宽时延参数实现了对网络链路的选择探测,改进了对所有链路进行广播式路由探测的办法,减轻了对网络负载的影响,提高了路由算法的效率。

在路由确认过程中,节点接收到确认报文并预留资源成功后,把确认报文发送节点保存到路由状态信息中,然后从路由状态信息中选择一个前驱节点发送确认报文进行路由确认,如果预留资源失败,则释放路由状态信息并向确认报文发送节点发送失败报文,通告当前路由失败,以使后继节点重新选择新的前驱节点进行新的路由确认。其中确认报文保存了路由的资源要求。

2.2 路由状态信息

由于受报文大小的限制,本算法在路由探测的中间节点中保存路由状态信息(RouteState),其格式如图 2 所示:

seq	source	destiny	Qos	isforwarded	predecessors	successor
-----	--------	---------	-----	-------------	--------------	-----------

图 2 路由状态信息

其中, seq: 序号; source: 源节点; destiny: 目的节点; QoS: 参数约束; isforwarded: 探测标志; predecessors: 前驱节点集; successor: 后继节点。

探测标志 isforwarded 用于标识该节点是否被探测过,如果 isforwarded 为 true 则表明本节点已被探测过。收到探测报文的基本信息(源节点,目的节点,QoS)相同,表明本节点是被同一个路由请求探测,则只需把探测报文的发送方加入前驱节点集合 predecessors,不再发送新的探测报文进行探测。若 isforwarded 为 false,则表明本节点没被探测过,需保存探测报文发送方到

前驱节点集 predecessors 中并进行下一步探测。探测标志避免了探测的路径中存在环路的情况,提高了路由探测的效率。保存多个前驱节点可以在路由确认中,使路由确认有多个前驱可以选择,提高了建立路由的成功率。在路由确认过程中,节点收到确认报文时,进行资源预留。如果资源预留成功,则在后继节点 successor 中保存路由后继节点。在路由确认过程中,进行资源预留旨在减小路由建立时间和提高建立路由的成功率。

### 2.3 算法实现框架

根据以上路由算法思想,可在网络中每个路由器上实施本算法建立满足业务带宽和时延约束要求的可达路由。下面给出本路由算法的实现框架:

```

1: 阻塞至收到控制报文 ctrlmsg;
2: 控制报文类型判断,探测报文转入 3,失败报文
   转入 4,确认报文转入 5;
3: 探测报文,根据路由状态信息,判断节点类型
   (PROBED):探测过的节点
   AddtoProdecessors(ctrlmsg→sender)//加入前驱节点
   转入 1;
   (UNPROBED):未探测过的节点
   AddtoProdecessors(ctrlmsg→sender)
   对每个相邻节点 node;
   计算约束参数并检测是否满足约束要求,满足则
   SendProbe(probe msg, node)//探测此节点;
   RouteState.isforwarded = true;//标记探测;
   转入 1;
   (DEST_UNPROBED):未探测过的目的节点
   //开始确认过程
   SendAck(ackmsg, ctrlmsg→sender);//发送确认
   RouteState.isforwarded = true;
   转入 1;
4: 失败报文
   RemoveProdecessor(ctrlmsg→sender);//删除前驱
   //尝试确认下一条可用路由
   取下一个前驱节点 node;
   若 node 非 NULL,则 SendAck(ackmsg, node);
   转入 1;
   否则://即前驱节点集合为空,
   FreeResource(RouteState);//释放资源
   SendFailure(failuremsg);//发送 Failure 报文给后
   继
   FreeState(RouteState);//释放连接状态信息
   转入 1;
5: 确认报文
   若剩余资源满足,则:

```

//资源预留过程

AllocResource(ctrlmsg→qos); //预留资源

AddtoSuccessor(ctrlmsg→sender); //记录下一跳

若到达源节点,则: EstablishSuccess(); //路由建

立成功

否则,找到一个前驱节点 node;

SendAck(ackmsg, node);

若前驱节点集合为空,则

SendFailure(failuremsg);

转入 1;

否则://资源不能满足,回送后继失败报文

SendFailure(failuremsg);

FreeState(ctrlmsg);

转入 1;

### 3 仿真分析

实验网络拓扑图参考了文献[9],节点数为 50,节点平均度数为 4,各条链路均为容量 155Mbps 的全双工光纤链路,节点随机分布在 4000km×2400km 范围内。业务带宽和时延需求均匀分布在区间[64kbps, 1.5Mbps]和[0,200ms]上。实验 1 检测了在不同节点时延下,本算法和 DCLC-K 算法建立路由所需时间的情况,仿真结果如图 3 所示。

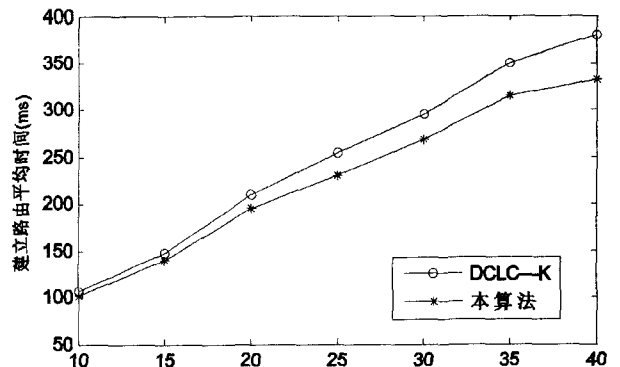


图 3 建立路由时延

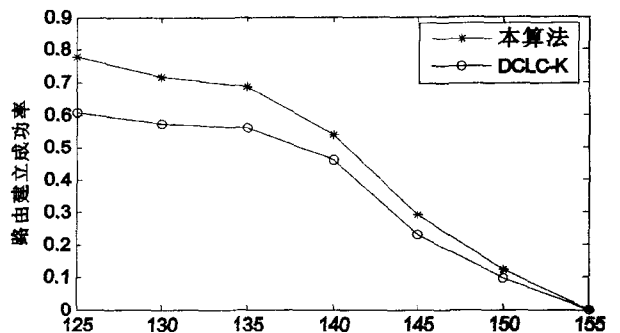


图 4 建立路由成功率

仿真结果表明,在不同节点时延下,本算法建立路由所需的时间总体上要少于 DCLC-K 算法建立路由所需时间。这说明了本算法在路由确认过程中进行资

源预留的策略比 DCLC-K 算法在路由确认后进行资源预留的策略效率要高,能够更快的建立路由。

实验2检测了在不同的链路负载时,两种算法建立路由的成功率的对比。图4表明在不同的链路负载条件下,本算法建立路由的成功率总体上优于 DCLC-K 算法。DCLC-K 算法没有考虑带宽的约束要求,其建立的部分路由不能满足业务的带宽要求<sup>[10]</sup>,因此其成功率相对本算法小。在合适的链路负载条件下,本算法建立路由成功率接近80%,这表明本算法可有效建立路由。

#### 4 结束语

文中提出了一种利用网络节点状态信息进行路由探测的分布式 QoS 单播路由算法,在探测过程中考虑带宽和时延的约束要求,进行有选择的路由探测。通过在中间节点进行约束参数的分布计算,来减小算法中约束参数计算的复杂度。在路由确认过程中,在满足资源要求的节点上实施资源预留,如果不能满足资源要求则选取新的前驱节点进行路由确认。确认过程中资源预留的方法有效减小了建立路由的时间<sup>[11]</sup>,提高了路由算法的效率。仿真结果表明本算法能有效快速的建立路由。由于业务的 QoS 参数的动态变化<sup>[12]</sup>,需进一步研究改进算法以适应业务的 QoS 约束参数的变化。

#### 参考文献:

[1] Xiao Xipeng, Ni L. Internet QoS: A Big Picture [J]. IEEE

Network Magazine, 1999, 3(4): 8-18.

- [2] 林 闯,单志广,任丰原. 计算机网络的服务质量(QoS) [M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [3] White Paper—QoS Protocols & Architectures [EB/OL]. 1999-07. <http://www.qosforum.com>.
- [4] 孔令山,丁 炜. 基于时延约束的分布式 QoS 单播路由算法[J]. 北京邮电大学学报, 2003 26(1): 37-40.
- [5] 余 健,陈 琳,杨志云. 一个有效的延迟费用受限的多路径算法[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(7): 222-224.
- [6] Xue G L, Zhang W Y, Tang J. Polynomial time approximation algorithms for multi-constrained QoS routing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(3): 656-669.
- [7] 胡迎松 高国强. 改进的分布式 QoS 路由算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(22): 127-129.
- [8] El-Bakry H M, Mastorakis N. An effective routing algorithm for real-time applications [C]// Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Communications. Heraklion, Greece: [s. n.], 2008: 362-374.
- [9] Guo Zhuo, Qiao Jianzhong, Lin ShuKuan, et al. A Distributed Parallel QoS Routing Algorithm with Multi-path Probing [C]//2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009). [s. l.]: [s. n.], 2009: 296-1301.
- [10] Feng Jing, Ma Xiao-jun, Gu Guan-qun. Network model research adapted to QoS routing mechanism [J]. Chinese Journal of Computers, 2000, 23(8): 799-805.
- [11] 杨 勇,王雪晶,陈良臣. QoS 在 IP 中的研究和应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(5): 33-36.
- [12] 朱慧玲,杭大明,马正新,等. QoS 路由选择:问题与解决方法综述[J]. 电子学报, 2003, 31(1): 109-116.

(上接第127页)

- 的粒子滤波人脸跟踪[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(3): 466-473.
- [2] Spengler M, Schiele B. Towards robust multi-cue integration for visual tracking[J]. International Journal of Machine Vision and Applications, 2003, 14: 50-58.
- [3] 彭一凡,张 翼,宋明黎. 基于特征跟踪和融合的人脸风格化动画的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(2): 127-132.
- [4] Crisan D, Doucet A. A survey of convergence results on particle filtering methods for practitioners [J]. IEEE Trans. Speech and Audio Proc, 2002, 10(3): 173-185.
- [5] Carpenter J, Clifford P, Fearnhead P. Improved particle filter for nonlinear problems [C]. Proc. Inst. Elect. Eng. Radar. Sonar. Navig, 1999: 2-7.
- [6] 王永忠,梁 彦,赵春晖,等. 基于多特征自适应融合的核跟踪方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(4): 393-399.
- [7] Hua Chunsheng, Wu Haiyuan, Chen Qian, et al. A pixel-wise object tracking algorithm with target and background sample

[C]//Proceeding of the 18th International Conference on Pattern Recognition, ICPR. Hongkong: [s. n.], 2006: 739-742.

- [8] 刘 伟,王建平,张崇巍. 一种移动机器人对运动目标的检测跟踪方法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 105-108.
- [9] 胡昭华,宋耀良,梁德群,等. 复杂背景下多信息融合的粒子滤波跟踪算法[J]. 光电子·激光, 2008, 19(5): 680-685.
- [10] 青 波,杨晨辉,陈 涛. 基于分割的复杂运动跟踪的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 157-159.
- [11] Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W A. Comparing Images Using the Hausdorff Distance [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850-863.
- [12] 钟小品,薛建儒,郑南宁,等. 基于融合策略自适应的多线索跟踪方法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(5): 1017-1022.