

改进的 QoS 多约束路由算法

钱 奕¹, 钱 进²

(1. 湖北交通职业技术学院 计算机与信息技术系, 湖北 武汉 430079;

2. 武汉大学 计算机学院, 湖北 武汉 430079)

摘 要 :H_MCOP 算法是目前较好的 QoS 多约束优化路径选择算法之一,算法时间复杂度低,同时也有很好的性能表现,但也有遗漏可行路径和计算优化路径存在误差的缺点。提出了一种改进的算法——TDRA,其核心思想是基于改进的宽度优先搜索策略,在双向搜索网络拓扑的基础上,从中间节点寻找优化路径。优化路径成功率的仿真实验表明,TDRA 算法相对于 H_MCOP 算法而言,在时间复杂度和优化路径成功率上有着更好的表现。

关键词 :多约束; 路由; 算法; 松弛; 花费

中图法分类号 :TP393 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-7024(2008)08-1931-04

Improved multi-constrained QoSR algorithm

QIAN Yi¹, QIAN Jin²

(1. Department of Computer and Information Technology, Hubei Vocational and Technical Institute of Transportation, Wuhan 430079, China; 2. School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract : Among the multi-constrained QoSR algorithm, H_MCOP algorithm is typical one, it's time complexity is low and good performance. Aimed at the shortcomings of H_MCOP algorithm that it leaves out available path and imprecisely computes optimal path in multi-constrained optimal path selection of QoS, a improved heuristic algorithm: TDRA is put forward. It searches network from two directions and supervises the optimal path at each node. The simulation experiment of success rate of finding optimal path indicates that TDRA has lower time complexity and upper performance than H_MCOP.

Key words : multi-constrained; Internet routing; algorithm; relax; cost

0 引 言

QoS 路由是一种基于数据流 QoS 请求和网络可用资源进行路由的机制。QoS 路径要能满足用户对某些度量参数的要求。QoS 路由的度量参数包括,带宽、代价、延迟、延迟抖动、丢失率和跳数等。根据运算规则,这些度量参数可分为加性度量参数、乘性度量参数和凹性度量参数。QoS 度量参数中,代价、延迟等属于加性度量参数,丢失率属于乘性参数,带宽属于凹性参数。搜索 QoS 路径过程中,可以删除不满足凹性参数的链路,而乘性参数可通过取对数变为加性,所以 QoS 路由算法主要是搜索到满足一个或多个加性度量参数的路径。而优化路径选择要求在多个满足约束的路径中,找到花费最小的路径是 NP 难问题,目前还没有算法能够在多项式时间内解决这类问题。

本文介绍了当前常见的单播路由算法,定义了网络模型;描述了改进的 TDRA 算法;分析了算法时间复杂度,通过仿真实验证明了本文 TDRA 算法的有效性,最后给出了结论。

1 QoS 多约束优化路径选择算法

1.1 当前主要的多约束优化路径算法

当前的研究主要集中在搜索出满足多个约束的单播 QoS 路径。主要有最短最宽路径算法^[1]、包探测法、扩展距离向量算法^[2]、图论删减算法^[3]、寻找优化函数的离散点方法^[4]、有限路径启发式算法等。当前大多数算法都不能使时间复杂度和性能同时达到最优。要么时间复杂度低,而性能不高;要么性能很高,而时间复杂度也很高。

Turgay Korkmaz 和 Marwan Krunz 提出的 H_MCOP^[5]保证找到满足多个约束且花费 cost 最小的路径。它在算法时间复杂度低的同时,也有很好的性能表现。

H_MCOP 算法选择的综合度量函数为 $g_\lambda(p) = (\frac{w_1(p)}{c_1})^\lambda + (\frac{w_2(p)}{c_2})^\lambda + \dots + (\frac{w_k(p)}{c_k})^\lambda$ 它给出了证明,在 λ 从 1 趋近正无穷的过程中,当 H_MCOP 算法的成功率逐渐上升,在 $\lambda = +\infty$ 时,算法有最好的性能。H_MCOP 保证找到满足多个约束且花费 cost 最小

收稿日期:2007-06-01 E-mail: qy_wh_cn@sina.com.cn

作者简介:钱奕(1973-),女,湖北武汉人,硕士,讲师,研究方向为多媒体网络通信;钱进(1973-),男,湖北武汉人,博士,研究方向为多媒体网络通信。

的路径。H_MCOP 算法的过程是：首先从目的节点开始后向搜索拓扑，计算每个节点的综合度量、花费等量，然后从源节点前向搜索拓扑，利用已有的信息，最终在目的节点得到优化路径。

1.2 网络模型及目标

为了研究问题方便，往往把网络中的交换机、路由器、集线器等网络设备抽象为节点，它们之间的链路抽象为边，链路上的带宽、延迟、队列长度等参数抽象为边上的权重，而用户或供应商所关心的费用抽象为花费函数。

网络模型：给定一个赋权有向连通图 $G=(V,E)$ ， V 表示节点集， E 表示链路集，其中 $|V|=n$ 。链路 $(i,j) \in E$ 具有 K 个相互独立的加性约束 (w_1, w_2, \dots, w_k) ，表示为 $w_k(i,j) \in R^+$ ， $1 \leq k \leq K$ 和花费 $cost(i,j)$ 。从源节点 s 到目的节点 t 的路径 p ，路径花费

$$cost(p) = \sum_{(i,j) \in p} cost(i,j) \quad (1)$$

路径约束

$$w_k(p) = \sum_{(i,j) \in p} w_k(i,j), 1 \leq k \leq K \quad (2)$$

若 p 通过链路 (u,v) ，则 p 也可以表示成 $p(u,v)$ ，通过节点 u 发现的可行路径的花费表示为 $cost(u)$ 。QoS 路径约束为 (c_1, c_2, \dots, c_k) ， $1 \leq k \leq K$ 。TDRA 的目标是找到 p^* ，使得

$$cost(p^*) = \min\{cost(p) | w_k(p) < c_k, 1 \leq k \leq K\} \quad (3)$$

1.3 双向松弛算法 (TDRA) 描述

TDRA 算法目标是找到满足 K 个 QoS 约束花费 $cost$ 最小的可行路径。采用的综合度量函数是

$$e(v) = \left(\frac{w_1(v)}{c_1}\right)^2 + \left(\frac{w_2(v)}{c_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{w_K(v)}{c_K}\right)^2 \quad (4)$$

式中 $v \in V$ ， w_i ——从源(目的)节点到 v 节点路径的约束 c_i ——路径的 QoS 约束 $i=1, 2, \dots, K$ 。

算法首先前向宽度优先搜索，以获得各节点的初步约束和花费的信息；然后后向宽度优先搜索，得到满足约束的各条路径，并且获得花费最小的路径。TDRA 算法的伪代码如下所示：

TDRA ($G, s, t, c_k, k=1, 2, \dots, K$)

- (1) forward_BFS (G, s)
- (2) backward_BFS (G, t)
- (3) if succ then
- (4) return true;
- (5) return false;

TDRA 算法从两个方向搜索拓扑。算法第 1 行从源点 s 出发，前向宽度优先搜索拓扑，预计算每个节点的最小综合度量。第 2 行从目的节点 t 出发，后向宽度优先搜索，找到满足约束且最小花费的路径。

定理 1 在 TDRA 算法中，如果前向搜索发现一条路径 p ，满足 $w_k(p) < c_k$ ， $k=1, 2, \dots, K$ 那么后向搜索必然可以发现 p ，并且可以发现前向搜索所没有发现的可行路径，最后找到 $cost$ 最小的可行路径 p^* 。

证明：如果前向搜索发现一条路径 p ，那么 p 必然通过一个与目标节点 t 相邻的节点 v 。后向搜索算法首先搜索与 t 相邻的节点，则必然可以发现，从 t 到 v ，是一条可行路径。后向搜索算法刷新每个节点 u 的信息集合 S 时，都要判定是否有满足约束的路径存在和满足约束的路径是否有最小的 $cost$ 。这样前向搜索算法可能遗漏的路径，就能够被后向搜索算法所发现，

最终找到 $cost$ 最小的可行路径 p^* 。

定理 1 保证后向搜索至少发现比前向搜索更优的路径。

1.4 消除 H_MCOP 中累积误差

H_MCOP 算法在路径的查找过程当中，因为采用的是启发式算法，节点信息的刷新总会有偏差，经过许多节点信息的刷新，目标节点才能得到可行路径的信息，则累积误差会较大。TDRA 算法在中间节点就判定路径的有效性，从而克服了累积误差。TDRA 后向拓扑搜索过程是：探索当前节点通过与之相连的节点是否满足路径约束。如果满足，则刷新那些还没有找到可行路径的节点和虽然已经找到了可行路径，但路径的花费比当前路径花费大的节点；如果不满足，则刷新那些还没有找到可行路径，并且综合度量比当前路径综合度量大的那些节点。这样，刷新过程当中，已经判定了路径的约束是否满足条件， $cost(p)$ 是否最小，通过设定最小的标志，可以确定这条路径。relax algorithm for backward_BFS 伪代码如下所示：

BACKWARD_BFS_RELAX (u, v)

- (1) $temp_e[u] = \sum_{k=1}^K (w_k(p)/c_k)^2$
- (2) if $w_k(p) < c_k$ then
- (3) if $cost(p) < cost(u)$ or ! $found(u)$ then
- (4) $e[u] = temp_e[u]$
- (5) $wb[u] = wb[v] + w(u, v)$
- (6) $fb[u] = v$
- (7) if $cost(p) < savedpath_cost$ then
- (8) $path_kkl = p$
- (9) $savedpath_cost = cost(p)$
- (10) if $w_k(p) > c_k$ then
- (11) if ! $found[u]$ and $e[u] > temp_e[u]$ then
- (12) $e[u] = temp_e[u]$
- (13) $wb[u] = wb[v] + w(u, v)$
- (14) $fb[u] = v$

在伪代码中 $temp_e[u]$ 表示要刷新 u 节点信息时所计算的综合度量。 $wb[u]$ 表示子路径 $u \rightarrow t$ 的权重， $fb[u]$ 表示节点 u 的前驱， $path_kkl$ 记录了满足约束最小花费路径， $savedpath_cost$ 记录了这条路径的花费。

后向宽度优先搜索松弛算法在松弛链路 $u \rightarrow t$ 时刷新节点 u 的信息集合 S 。算法第 1 行计算 $u \rightarrow v \rightarrow t$ 子路径的综合度量。第 2 行到第 9 行表示通过链路 (u, v) 的路径 $p(u, v)$ 满足 $w_k(p) < c_k$ 时，刷新节点 u 的信息集合 S 。第 3 行判断在节点 u 没有找到可行路径或者虽然已经找到了可行路径，但是路径的花费比当前路径花费大。第 4 行到第 6 行刷新节点 u 的信息集合 $S = \{e[u], wb[u], fb[u]\}$ ，即刷新综合度量、子路径权重和节点 u 的前驱节点。第 7 行判定如果当前路径的花费 $cost(p)$ 是最小的，那么，第 8 行至第 9 行记录最小的路径信息。算法第 10 行到第 14 行表示通过链路 (u, v) 的路径 $p(u, v)$ 不满足 $w_k(p) < c_k$ 时，刷新节点 u 的信息集合 S 。第 11 行判定在节点 u 没有找到可行路径，并且综合度量 $e[u]$ 比当前路径的综合度量 $temp_e[u]$ 大。第 12 行到第 14 行刷新节点 u 的信息集合 $S = \{e[u], wb[u], fb[u]\}$ 。

1.5 比 H_MCOP 搜索范围全面

H_MCOP 算法采用 Dijkstra^[6] 算法搜索整个拓扑，每个节

点信息只刷新S集合中的节点的信息,则必然有一些S集合中节点的信息没有被刷新,而这些信息中有可能包含了一些满足约束的路径的信息。这样就有可能丢失一些满足约束的路径。TDRA 算法采用宽度优先搜索算法 BFS 搜索并刷新整个拓扑。每个节点的信息被所有相邻的节点信息刷新,这样就弥补了 Dijkstra 算法中的一些节点的信息只被少数几个相邻节点信息刷新的情况,从而能够发现更多的满足约束的路径。

1.6 算法时间复杂度分析

宽度优先搜索算法的时间复杂度是 $O(V+E)$,故前向搜索算法和后向搜索算法的时间复杂度是 $O(V+E)$,所以 TDRA 算法总的时间复杂度是 $O(V+E)$,比 H_MCOP 算法的复杂度 $O(V\log(V)+E)$ 要小。

2 仿真实验

2.1 仿真试验环境

在我们的仿真实验中,使用基于transit-stub模式200个节点的拓扑图。 $w_i(u,v)$ $i=1,2,\dots,K$ 均匀分布在 $[1,10]$ 之间,链路花费函数 cost 均匀分布在 $[1,10]$ 之间。仿真实验从平均路径为1~1.5条开始,逐渐放大路径约束各个分量,放大增量为0.01,放大次数为1000次。每次循环执行100次TDRA算法,计算平均路径,发现路径成功率和优化路径成功率。

2.2 与 H_MCOP 算法成功率的比较

图1是在transit-stub模式200个节点的拓扑下两种算法成功率的比较。其中图1(a)~(d)分别表示约束个数为10个、8个、6个、4个。TDRA相比较H_MCOP的平均成功率有很大的优势。表1比较了二者的最高、最低和平均成功率,表明在transit-stub模式拓扑中,TDRA算法的成功率高于H_MCOP。

2.3 与有限路径启发式算法比较

有限路径启发式算法是由Yuan等提出的一种基于EBFA的扩展算法,它在每个中间节点保存一个路径缓冲区,记录通

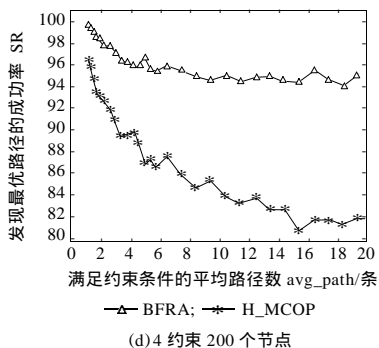
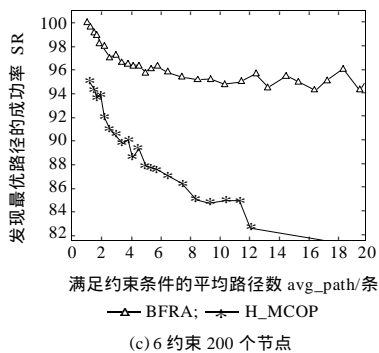


图1 ts200 中 TDRA 和 H_MCOP 算法成功率比较

表1 TDRA 与 H_MCOP 性能比较

路径约束	最高成功率/%		最低成功率/%		平均成功率/%	
	L	H	L	H	L	H
10 约束	99	94	94	80	96	86
8 约束	99	95	95	75	97	87
6 约束	99	95	95	82	97	90
4 约束	99	97	94	80	97	88

过该节点的路径。该算法是一种多约束 QoS 路由算法,它发现路径的成功率较高,但是受到节点保存路径数目的影响。

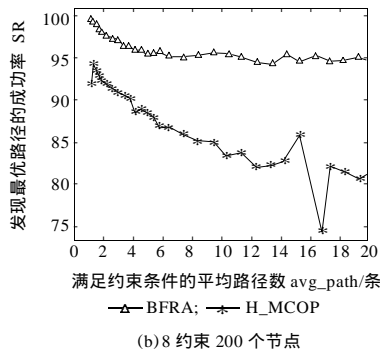
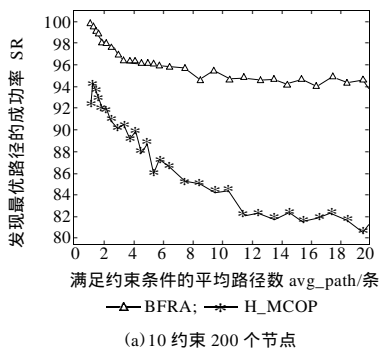
图2是在Waxman模式100个节点的拓扑下两种算法成功率的比较。其中图2(a)~(d)分别表示约束个数为10个、8个、6个、4个。图2表明,当可行路径数目较小时,TDRA 搜索优化路径的成功率较EBFA有明显优势。

3 结束语

在解决QoSR问题的算法中,H_MCOP是目前较好的一种,然而它也存在着一一些问题,本文提出的TDRA算法,解决了这些问题,从而提升了算法的性能。相对于H_MCOP算法而言,TDRA算法在时间复杂度和优化路径成功率上有着更好的表现。然而,TDRA算法在分布式路由计算中还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Guerin R,Orda A.Networks with advance reservations: The routing perspective [C]. Sidi M. Proceedings of the IEEE INFO-COM,2000:118-127.
- [2] Yuan X.On the extended Bellman-Ford algorithm to solve two-constrained quality of service routing problems[C].Park E.Proceedings of the 8th International Conference on Computer Com-



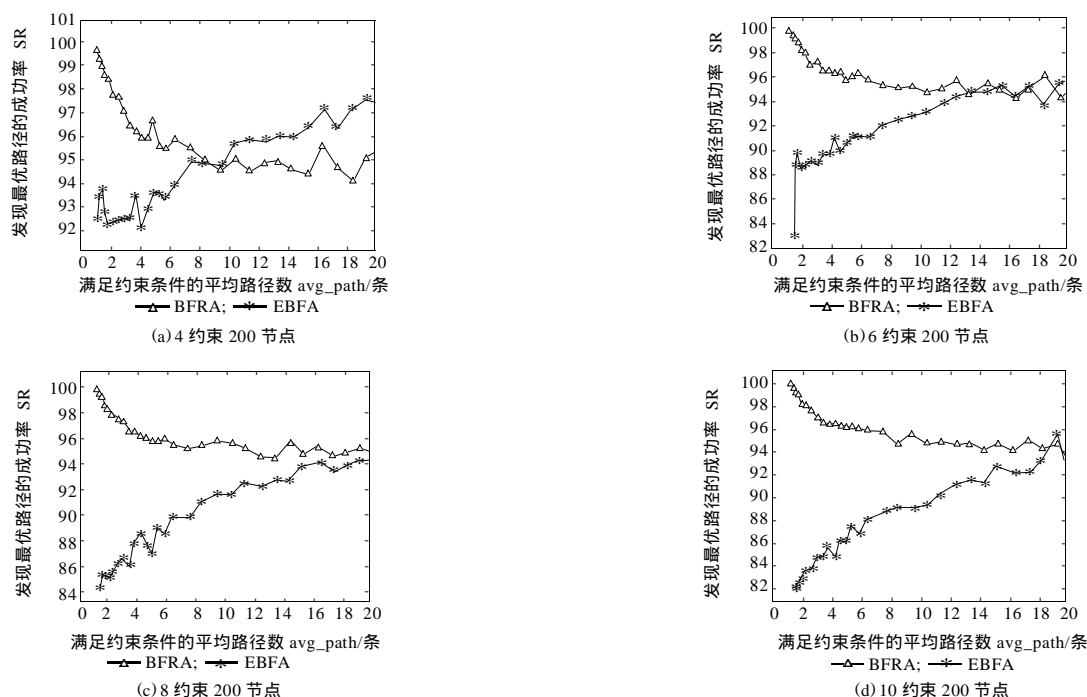


图2 ts200 中 TDRA 与有限路径启发式算法的比较

munications and Networks(IC3N'99).Boston,MA: IEEE Communication Society,1999:304-310.

- [3] Casetti C,Lo Cigno R,Mellia M,et al.A New class of QoS routing strategies based on network graph reduction[C].Proceeding of INFOCOM 2002.New York,MA:IEEE Communication Society, 2002:715-722.
- [4] Siachalou S,Georgiadis L.Efficient QoS Routing[C].Proceeding

of INFOCOM 2003.San Francisco,MA:IEEE Communication Society,2003:938-947.

- [5] Turgay Korkmaz,Marwan Krunz.Multi-constrained optimal path selection[C].New York,INFOCOM,2001:834-843.
- [6] Fernando Kuipers,Piet Van Mieghem.An overview of constraint-based path selection algorithms for QoS routing[J].IEEE Commun Mag,2002,40:50-55.

(上接第 1930 页)

(3)采用基于角色的权限控制 :用户通过身份认证以后获得一个令牌 ,其中包含了用户的身份信息和授权信息 ,用户访问网格资源的时候需要提供这个令牌。该令牌伴随用户访问网格资源的整个过程 ,实现用户一次登录就可以授权的访问所有网格资源的功能。且在授权过程中 ,用户无需处理自己的属性证书。

4 结束语

本文提出了一个网格中的单点登录方案 ,方案使用了PMI相关体系 ,利用属性证书进行授权。设计了一个改进的 AKE 协议进行身份认证 ,同时设计了一个基于口令的网络安全中间件 ,在安全传输过程中可以不进行加解密等运算操作 ,提高了系统的性能。同时用户不需要处理自己的公钥证书、私有密钥等 ,为用户提供了简单的使用界面。

参考文献:

- [1] Foster I,Kesselman C.The grid: Blueprint for a new computing infrastructure[C]. San Francisco,California:Morgan Kaufmann Publishers,1999.
- [2] Novotny J,Tuecke S,Welch V.An online credential repository for

the grid: MyProxy [C]. Proceedings of the Tenth International Symposium on High Performance Distributed Computing.San Francisco,California:IEEE Press,2001:104-111.

- [3] Welch V,Siebenlist F,Foster I,et al.Security for grid services[C]. 12th International Symposium on High Performance Distributed Computing.Seattle,USA:IEEE Press,2003:48-57.
- [4] Abdalla M,Pointcheval D.Simple password-based encrypted key exchange protocols[C]. San Francisco,USA:Topics in Cryptology-CT-RSA.Berlin,Germany:Springer-Verlag,2005:191-208.
- [5] Sandhu R,Ferraiolo D,Kuhn R.Proposed NIST standard for role-based access control[J].ACM Transactions on Information and System Security,2001,4(3):224-274.
- [6] RFC 3281 Standard:An internet attribute certificate[S/OL].http://www.ietf.org/rfc/rfc3281.txt.
- [7] Chadwich D,Otenko A.RBAC policies in XML for x.509 based privilege management[R].SEC,Egypt,2002:39-54.
- [8] 安小江,李大兴.PMI 系统中 RBAC 策略的实现与管理[J].计算机工程与应用,2004,40(7):115-117.
- [9] 胡程瑜,李大兴.带时间约束和角色控制的工作流系统授权模型[J].山东大学学报(工学版),2006,36(3):39-42.