

基于模糊 QoS 满意度的启发式多约束路由算法

刘源旭, 郦江源

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要: QoS 路由是实现 IP 网络服务质量的重要手段。针对一般的 QoS 路由算法时间复杂度高或者只局限于特定约束的缺点, 提出了一种基于模糊 QoS 满意度的启发式多约束路由算法。首先给出了多约束路由的问题模型和数学描述, 然后通过模糊处理各 QoS 参数的方法构造链路的 QoS 满意度, 在此基础上将 QoS 满意度与传统最短路径优先相结合, 通过启发式搜索快速有效地寻找满足所有约束的路由。仿真结果表明, 所提出的路由算法拥有较好的性能。

关键词: 启发式搜索; 多约束路由; QoS; 模糊

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)12-0052-03

A Heuristic Multi-Constraints Routing Algorithm Based on Fuzzy QoS Satisfaction

LIU Yuan-xu, LI Jiang-yuan

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: QoS routing is an important means to achieve quality of service in IP network. As the general QoS routing algorithms are either high in time-complexity or limited to specific constraints, present a heuristic multi-path routing algorithm based on fuzzy QoS satisfaction. First, give the problem model and mathematical description of multiple constraints routing. By using fuzzy method to handle every QoS parameter, the link's QoS satisfaction is constructed. On this basis, combine QoS satisfaction with the traditional concept of shortest path first and find a route satisfying all constraints quickly and effectively through heuristic searching. The result of simulation shows that the proposed routing algorithm has good performance.

Key words: heuristic searching; multi-constraints routing; QoS; fuzzy

0 引言

随着大量多媒体业务和实时业务的兴起, 基于约束的路由 (即 QoS 路由) 得到了越来越广泛的研究。通信网络中基于约束的路由可以定义为在源节点和目标节点之间寻找一条满足一种或多种由服务质量请求所强加的约束的路由^[1]。由于多约束 QoS 路由问题是 NP-Complete 问题^[2], 多数 QoS 路由算法都是根据以精确性换时间的思想, 采取近似算法或者采取启发式算法, 能够将时间复杂度降到多项式的级别。文献 [3] 提出的算法只针对延迟和带宽两个约束, 先剪掉网络拓扑中不符合要求的链路, 再以延迟为权重利用最短路径算法计算同时满足带宽和延迟约束的路由。G. Xue 等提出了一种近似 QoS 路由算法^[4]能保证算法的精度为 $1+\varepsilon$, 其中 $\varepsilon(\varepsilon>0)$ 越小表示精度越高, 计算复杂度也随之增加。Neve 和 Van Mieghem 提出的

TAMCRA (Tunable Accuracy Multiple Constraints Routing Algorithm)^[5] 算法, 将给定的多个加性约束合成为一个综合非线性约束, 然后再用最短路径算法求得 QoS 路由。还有一些智能方法, 如遗传算法^[6]、蚁群算法^[7]和粒子群优化算法^[8]等也被用于多约束 QoS 问题中, 具有一定的可行性和扩展性。

文中设计了一种基于模糊 QoS 满意度的启发式路由算法, 在模糊处理 QoS 约束的基础上构造基于 QoS 满意度与路径距离相结合的启发式估价函数, 通过启发式搜索进行寻路, 具有时间复杂度低、响应时间短、请求成功率高等优点。仿真证明, 该算法是可行有效的。

1 问题描述

用连通图 $G(V, E, C)$ 表示节点数为 N 的网络模型: $V = \{v_i, i = 1, \dots, N\}$ 表示网络中的节点集合 (通常代表网络中的路由器 / 主机); $E = \{e = (u, v) : u, v \in V\}$ 网络中边 (链路) 的集合; $C(u, v) = (c_1(u, v), \dots, c_m(u, v))$: 网络中任意边 $e(u, v)$ 上的 QoS 参数值向

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2011-08-24

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2009AA01Z202)

作者简介: 刘源旭 (1988-), 男, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 研究方向为基于 IP 的下一代通信网络。

量,包括此条边上带宽、时延、时延抖动和丢包率等等,其中第 i 个参数可以表示为 $c_i(u, v)$; $p = (s, v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, d)$:从源节点 s 到目标节点 v 的一条无回路路径; $f_j(p) = f_j(c_j(s, v_1), c_j(v_1, v_2), \dots, c_j(v_{n-1}, d))$:路径 p 中所有边的第 j 个 QoS 参数的混合计算值,每个参数的混合计算函数 f 根据 QoS 参数的性质不同而有所不同,例如,对于加性参(时延)为求和;对于乘性参数(丢包率)为求积;对于凹性参数(带宽)则为求最小值; $f(p) = (f_1(p), f_2(p), \dots, f_M(p))$:路径 p 的 QoS 参数代价向量,其中 M 为 QoS 参数数量。

对基于多约束的路由 (MCP) 问题给出以下定义:

在给定约束向量 $L = (L_1, L_2, \dots, L_M)$ 的情况下,寻找一条源节点 s 和目的节点 d 之间的路径 p ,满足对于每个 $j \in [1, M]$, $f_j(p)$ 满足给定的约束 L_j ,即

$$f_j(p) \leq L_j, \forall j \in [1, M] \quad (1)$$

这里采取归一化的方法将以 $f_j(p) \geq L_j$ 形式满足约束的情况转化为 $-f_j(p) \leq -L_j$ 。

2 基于启发式搜索的模糊多约束 QoS 单播路由算法

2.1 通过隶属度函数计算 QoS 满意度

$s_j = s(p, f_j, L_j)$ 表示路径 p 的第 j 个约束参数的哥斯隶属度函数^[9]:

$$s(p, f_j, L_j) = \begin{cases} 0 & f_j > L_j \\ \varepsilon & f_j = L_j \\ 1 - e^{-(\frac{L_j - f_j}{\sigma})^2} & f_j < L_j \end{cases} \quad (2)$$

其中 ε 是一个远小于 1 的正数, $\sigma > 0$ 是一个可以根据参数和 QoS 要求不同而自行设定的常量, σ 越小, s 越容易接近于 1; 反之 σ 越大, s 更容易接近于 0。

路径的 p 的隶属度函数向量表示为 $s = (s_1, s_2, \dots, s_M)$; 根据业务类型和用户需求为每个 QoS 参数 $j \in [1, M]$ 设定权重值 b_j , $0 < b_j < 1$ 表明此参数在所有参数中的重要性,得到 QoS 参数权重向量 $b = (b_1, b_2, \dots, b_M)$, $\sum_{i=1}^M b_i = 1$ 。设定 $Q(p) = b \cdot s^T$ 表示路径 p 的 QoS 满意度,即当前路径 p 对于已知的服务质量请求的满足情况。这样得到公式如下

$$Q(p) = b \cdot s^T = b_1 s_1(p) + \dots + b_M s_M(p) \quad (3)$$

$0 \leq Q < 1$, Q 值越大,路径 p 越适应用户的服务质量请求。

2.2 启发式路由搜索

文中所设计的多约束路由算法借鉴了 A* 算法^[10]等启发式搜索算法的思想,为了充分考虑到 QoS 满意度及距离因素,以尽快的速度通过启发式算法求得一条满足所有 QoS 约束的较短路由,设计了如下的

估价函数:

$$h(x) = \frac{d(x)}{Q + \eta} = \frac{d(x)}{b_1 s_1(p) + \dots + b_M s_M(p) + \eta} \quad (4)$$

$d(x)$ 表示从源节点到当前节点的距离代价。由公式(3)得 $Q = b \cdot s^T = b_1 s_1(p) + \dots + b_M s_M(p)$, $0 \leq Q < 1$ 。 η 为远小于 1 的正数保证分母不为 0。

2.3 算法描述

文中使用伪代码来进行算法描述: $f(x)$ 表示从源节点 s 进行路由搜索到当前节点 x 的当前路径 p 的 QoS 参数代价向量,即 $f(x) = f(p)$; 为了便于计算下一跳节点的启发估价函数,用多维数组保存沿路所有节点的 QoS 参数代价向量; $d(x)$ 表示从源节点到 x 节点的距离权值。

为了便于从目标节点回溯获取最优路径,在每一个节点 x 上设置前驱节点为 $\pi[x]$ 从而回溯获取路径,文中提出的启发式路由算法伪代码如下:

算法 1 一种基于模糊 QoS 满意度的启发式多约束路由算法

```

1  Open ← {s}, Close ← ∅
2  while Open ≠ ∅ do
3    x ← Open 队列中估值函数 h(x) 最小的节点
4    Open ← Open / {x}
5    if x 是目标节点 d then
6      if f(x) 满足公式(1) then
7        return 路径 p
8      else continue
9    else for x 的每一个邻接节点 y do
10     估价函数 h(y) ← Valuation(h(x), e(x, y))
11     if y ∈ Close then
12       if h < h[y] then
13         h[y] ← h, π[y] ← x
14         Open ← Open ∪ {y}
15         Close ← Close / {y}
16     else if y ∈ Open then
17       if h < h[y] then
18         h[y] ← h, π[y] ← x
19       else Open ← Open ∪ {y}, π[y] ← x

```

算法创建了 Open 和 Close 两个队列, Open 中保存所有已生成而未被处理的节点, Close 中记录的是已被处理的节点;每次从 Open 队列中取出节点,判断是否为目的节点,如果是则判断各个 QoS 约束是否满足,如满足则获得所求路径,算法结束;否则通过估价函数考察当前节点的所有邻接节点,按条件分别进行处理;直到 Open 队列为空,算法失败。第 12 行 Valuation 函数通过 x 节点的估价函数 $h(x)$ 和 $e(x, y)$ 计算下一跳节

点的估价函数 $h(y)$ ，具体流程如图 1 所示。

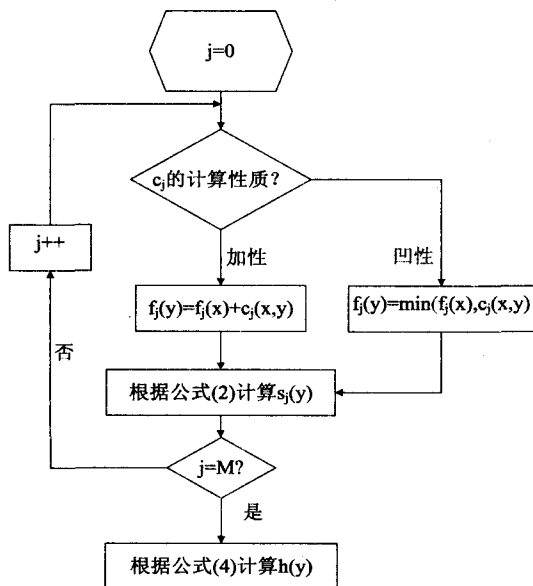


图 1 Valuation 函数的流程图

由于丢包率等乘性参数可以通过取对数的方式转化为加性参数,在更新的 $f_j(y)$ 的过程中只考虑加性和凹性两种计算情况。

时间复杂度分析:算法 2、3 行从 Open 队列提取节点的执行次数为 $O(V)$;对 9 ~ 19 行采取平摊分析,获得执行次数为 $O(E)$; Valuation 函数的时间复杂度由图 1 可以看出为 $O(M)$ 。提取最小的操作需要 $O(E)$ 的时间,则总复杂度为 $O(V^2 + EM)$;如果采用斐波那契堆实现 Open 队列,提取最小的操作只需要 $O(\lg V)$ 时间,总复杂度为 $O(V \lg V + EM)$ 。

3 仿真与性能分析

利用 NS2 (Network Simulator 2)^[11] 仿真验证本算法的性能,对上面的伪代码算法进行仿真测试。网络拓扑结构采用由 gt-itm 工具生成的 Waxman 随机图^[12]。

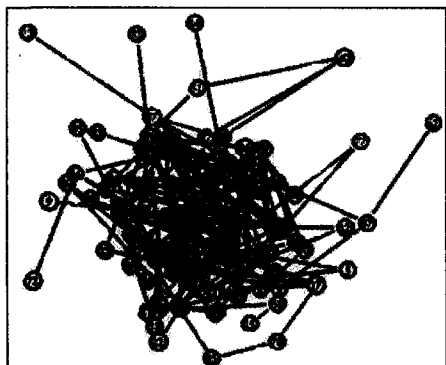


图 2 100 个节点的 waxman 随机拓扑
($a=0.5, b=0.06, L=100$)

图 2 为仿真中用到的 100 个节点的 Waxman 图($a=0.5, b=0.06, L=100$),边上的距离权值与约束向量

$c=(c_1, c_2, \dots, c_M)$ 随机设定。

文中将同样能够针对 M 维约束 ($M \geq 2$) QoS 路由的 TAMCRA 算法以及传统的 Dijkstra 算法与本算法进行平均请求成功率的比较。利用图 2 的网络拓扑,在 $M=2, 3, 4$ 的前提下,随机选取 1000 对路由请求(源、目的节点随机选取,约束向量 $L=(L_1, \dots, L_M)$ 在各自区间内随机产生),仿真结果如图 3 所示。由于 Dijkstra 算法本身并不能针对多约束路由,其寻路结果能够符合约束要求的概率很低,本算法与 TAMCRA 算法相比稍占优势。

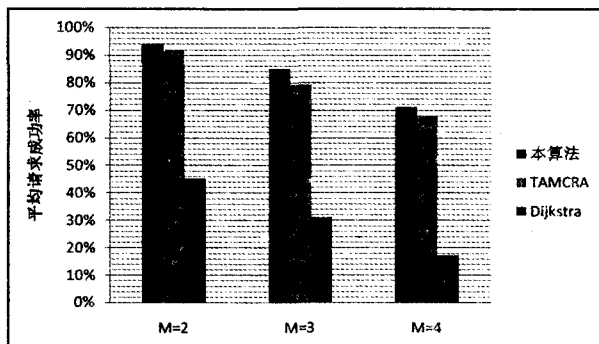


图 3 $M=2, 3, 4$ 情况下平均请求成功率的比较

4 结束语

文中提出了一种基于模糊 QoS 满意度的启发式多约束路由算法,并通过时间复杂度分析及仿真验证了其是快速有效的。在后面的研究中会将本算法与流量的业务识别结合起来,通过对具体业务属性和用户需求的分析,量化多约束条件,再采用本算法进行启发式路由寻找,为不同业务类别的数据包提供合适的路由。

参考文献:

- [1] Rosario G, Stefano G, Luca T. A survey on multi-constrained optimal path computation: exact and approximate algorithms [J]. Computer Networks, 2010, 54: 3081-3107.
- [2] Wang Z, Crowcorft J. QoS Routing for Supporting Resource Reservation [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1996, 14(7): 1228-1234.
- [3] Douglas S R, Hussein F S. A distributed algorithm for delay-constrained unicast routing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(2): 239-250.
- [4] Xue G, Sen A, Zhang W, et al. Finding a Path Subject to Many Additive QoS Constraints [J]. IEEE/ACM Trans. Netw., 2007, 15(1): 201-211.
- [5] de Neve H, van Mieghem P. TAMCRA: A Tunable Accuracy Multiple Constraints Routing Algorithm [J]. Computer Communications, 2000(23): 667-669.
- [6] Koyama A, Barolli L. A GA-based multi-purpose optimization

人脸图像,由于拍摄的距离不同,所以图像大小不同。

(1) 实验步骤。

文中对五个人,每个人十张图进行图像处理。每个人中前五幅图为径向基神经网络的训练集,剩下的后五幅作为测试样本集。首先运用基于统计处理图像放大方法对人脸小的图像进行放大,使人脸图像大小相同,同时人脸图像的特征更加明显。这个步骤是文中的重点。



图 4 实验用图

实验设计一个包含一输入层、一隐层和一输出层的径向基神经网络。网络输入层对应 PCA 提取特征的维数,网络隐层中心和宽度都由文献[9]中的算法所确定的聚类中心和散布常数设置。隐层和输出层之间的权值使用最小二乘法调整。输出层包含了最后分类结果。

(2) 实验结果。

实验结果如表 1 所示。实验表明通过文中的方法实现的人脸分类效果明显,尤其针对低分辨率人脸图像有明显的效果。

表 1 实验结果对比

NO.	识别方法	训练样本	识别率(%)
1	基于统计的图像放大方法+PCA+RBF	任选 5 幅分辨率较低的图像	92
2	线性图像放大方法+PCA+RBF	任选 5 幅分辨率较低的图像	86

3 结束语

插值算法的好坏,首先要看插值结果能否反映原始的数据,插值算法是否能够反映据场的分布特性。

(上接第 54 页)

- algorithm for QoS routing [C]//International Conf on Advanced Information Networking and Applications. [s. l.]:[s. n.],2004;23-28.
- [7] Zhang Mingwei,Sun Xuemei,Lv Xiaoyu. A QoS routing algorithm based on culture-ant colony algorithm[C]//ICCASM 2010. [s. l.]:[s. n.],2010.
- [8] 王兴伟,王军伟,吴铁艳. NGI 中一种基于粒子群优化的 QoS 单播路由算法[J]. 东北大学学报(自然科学版),2006,27(1):21-24.
- [9] 杨纶标,高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 第 3 版. 广州:

文中提出了基于统计处理的图像放大方法。新的边缘方向插值重建的图像视觉质量明显得到提高,通过仿真表明这是一种非常有效的放大方法,把这种放大方法运用在人脸识别中效果明显。

通过实验证明文中提出的算法在图像处理方面具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 肖冰,王映辉. 人脸识别研究综述[J]. 计算机应用研究,2005,22(8):22-26.
- [2] 聂祥飞. 人脸识别综述[J]. 重庆三峡学院学报,2009,25(3):14-18.
- [3] 胡敏,张佑生. Newton-Thiele 插值方法在图像放大中的应用研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(8):1004-1007.
- [4] 李开宇,张焕春,经亚枝. 基于 FPGA 动态可重构的高速、高质量的图像放大[J]. 中国图象图形学报,2005,10(1):69-74.
- [5] 朱宁,吴静,王忠谦. 图像放大的偏微分方程方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(9):1941-1945.
- [6] 冯象初,姜东焕,徐光宝. 基于变分和小波变换的图像放大算法[J]. 计算机学报,2008,31(2):340-345.
- [7] 孔繁庭,侯国强. 图像放大中的边缘细化算法研究[J]. 计算机应用与软件,2010,27(4):261-263.
- [8] 赵振勇,王保华,王力,等. 人脸图像的特征提取[J]. 计算机技术与发展,2007,17(5):221-224.
- [9] 张阿姐. 基于优化的 LDA 与神经网络人脸识别方法研究[D]. 汕头:汕头大学,2007.
- [10] 樊克虎. 基于隐马尔科夫模型的手形认证算法研究[D]. 长春:吉林大学,2009.
- [11] Zhang L,Samaras D. Face recognition under variable lighting using harmonic image exemplars [C]//Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. [s. l.]:[s. n.],2003:19-25.
- [12] 尹飞,冯大政. 基于 PCA 算法的人脸识别[J]. 计算机技术与发展,2008,18(10):31-33.
- [13] 朱树先,张仁杰,郑刚. 基于 RBF 神经网络的人脸识别[J]. 光学仪器,2008,30(2):31-33.

华南理工大学出版社,2002.

- [10] Hart P E,Nilsson N J,Raphael B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths in graphs[J]. IEEE Trans. Syst. Sci. and Cybernetics,1968,4(2):100-107.
- [11] Kevin F,Kannan V. The NS Manual (formerly ns Notes and Documentation)[M]. [s. l.]:[s. n.],2007.
- [12] Calvert K I,Doar M B,Zegura E W. Modelling internet topology[J]. IEEE Comm.,1997(35):160-163.