

# 改进蚁群算法在QoS组播路由中的应用研究

魏 勇<sup>1</sup>, 赵开新<sup>1</sup>, 张松青<sup>1</sup>, 王东署<sup>2</sup>, 孙新领<sup>1</sup>

(1. 河南工学院, 河南 新乡 453002; 2. 郑州大学 电气工程学院, 郑州 450001)

**摘 要:**基本蚁群算法直接应用在QoS组播路由时,容易产生局部最优路径,并且收敛速度较慢,本文对基本蚁群算法的状态转移规则和信息素的更新方式进行改进,并把改进的蚁群算法应用到QoS组播路由中,提出了基于改进蚁群算法的QoS组播路由方案,仿真实验表明,改进后蚁群算法的性能明显优于基本蚁群算法。

**关键词:**蚁群算法;组播路由;信息素;最优路径

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1001-7119(2017)12-0183-04

DOI:10.13774/j.cnki.kjtb.2017.12.040

## Research of Improved Ant Colony Algorithm in QoS Multicast Routing

Wei Yong<sup>1</sup>, Zhao Kaixin<sup>1</sup>, Zhang Songqing<sup>1</sup>, Wang Dongshu<sup>2</sup>, Sun Xinling<sup>1</sup>

(1. Henan Institute of Technology, Henan Xinxian, 453003, China;

2. Electrical Engineering School of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** According to basic ant colony algorithm is easy to fall into local optimum and the defects of slow convergence speed in solving the QoS multicast routing problem, basic ant colony algorithm pheromone updates and state transition rule is improved, and proposed QoS multicast routing scheme based on improved ant colony algorithm, and the simulation results shows that improved ant colony algorithm is significantly better than the basic ant colony algorithm.

**Keywords:** ant colony algorithm; multicast routing; pheromone; optimal path

随着网络的飞速发展,多媒体技术在互联网上的应用越来越广泛,如视频会议、远程教育、视频点播、交互式游戏等,这些应用对带宽、延时、丢包率、费用等较为敏感,需要QoS的保证,在这种一对多的网络环境中,组播技术被广泛应用<sup>[1,2]</sup>。组播路由的产生是实现组播的关键技术之一,组播路由是根据网络当前可用资源和网络业务对服务质量的要求,找出一棵连接源节点和所有目的节点的组播树,并且这棵组播树满足QoS的约束条件,这已被证明是一个NP问题,用

常规的方法难以求解,蚁群算法是求解组合优化问题的一种新型智能优化算法,本文把改进的蚁群算法引入到组播网络中,来解决QoS组播路由问题。

## 1 QoS网络和组播树模型

组播可以在一个发送者和多个接收者之间实现点对多点的数据通信,并能将相同的数据分组有效地从源节点传输到多个目的节点。在组

收稿日期:2017-01-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61174085);河南省高等学校重点科研项目(16A520084);河南省高等学校教学工程项目(豫教高2012[1099]号);河南省高等学校教学工程项目(豫教高2012[1185]号)。

作者简介:魏勇(1982-),男,讲师,硕士,研究方向为云计算、计算机网络。  
E-mail: zhaokx\_2008@126.com。

播的网络中,源节点只需向网络发送一份数据分组,被传递的数据分组在必要的分叉路口才开始复制和分发,从而增加了网络带宽的利用率,降低了发生网络拥塞的可能性,提高了数据分组传输效率和网络服务质量<sup>[3,4]</sup>。

网络模型用一个带权图  $G=(V,E)$  表示,其中  $V=\{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n\}$  为图中所有网络设备和终端所组成的节点集合,  $E=\{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n\}$  为网络中节点间链路的集合,  $T(s,M)$  表示组播树,  $s$  为组播树的源节点,  $p(s,M)$  为源节点到目的节点的一条路径,其中  $s$  为源节点,  $M$  为目的节点,  $e_i=\langle v_i, v_{i+1} \rangle \in E$ ,  $M \in [V-s]$  为该组播树的目的节点集<sup>[5]</sup>。一条链路  $e$  具有延迟、费用和带宽三个属性,分别用函数  $delay(e)$ ,  $cost(e)$ ,  $bandwidth(e)$  来表示,一个节点具有延迟、费用和丢包率三个属性,分别用函数  $delay(v)$ ,  $cost(v)$ ,  $loss\_rate(v)$  来表示,则源节点  $s \in V$ , 目标节点  $t \in M$  所组成的组播树  $T(s,M)$  存在如下关系。

$$delay(p(s,t)) = \sum_{e \in p(s,t)} delay(e) + \sum_{v \in p(s,t)} delay(v) \quad (1)$$

$$cost(T(s,M)) = \sum_{e \in T(s,M)} cost(e) + \sum_{v \in T(s,M)} cost(v) \quad (2)$$

$$bandwidth(p(s,t)) = \min\{bandwidth(e), e \in p(s,t)\} \quad (3)$$

$$loss\_rate(p(s,t)) = 1 - \prod_{v \in p(s,t)} (1 - loss\_rate(v)) \quad (4)$$

公式中  $p(s,t)$  为组播树  $T(s,M)$  上源节点  $s$  到目标节点  $t$  的路由路径<sup>[6]</sup>。所找到的 QoS 路由要满足如下条件:

$$(1) \quad delay(p(s,t)) \leq D \quad (5)$$

$$(2) \quad loss\_rate(T(s,M)) \leq PL \quad (6)$$

$$(3) \quad bandwidth(p(s,t)) \geq B \quad (7)$$

其中公式中  $D, PL, B$  分别代表组播路由对网络延时、丢包率和带宽的限制。

## 2 蚁群算法的改进

蚁群算法作为一种新型的模拟进化算法,具有稳健性、正反馈、本质上的并行性、易于与其它算法相结合等特点,是解决多 QoS 约束组播路由问题的一种较好的启发式算法,但蚁群算法存在着时间复杂度大,容易出现停滞等缺陷,并且在资源搜索的过程中过分依赖信息素浓度,导致过早地生成最优路径,易得出局部最优解,因此基

本蚁群算法难以直接应用到 QoS 的组播路由中<sup>[7]</sup>。

### 2.1 信息素的更新策略改进

通常在蚁群算法中,当所有蚂蚁完成一次搜索后,更新全局最优蚂蚁所在路径上的信息素,就可以保证搜索到的最优路径收敛于当前全局最优,但有可能会忽略迭代解中包含有全局最优解的情况,改进的算法采用迭代最优解与全局最优解混合更新策略,这样可以增强每次迭代搜索最优路径上信息素正反馈的能力,使全局最优解路径上的信息素浓度额外增加。并且随着迭代次数的增加,在全局最优路径进行信息素更新时动态调整迭代。全局最优路径和迭代最优路径经过的节点信息素的更新如公式(8)和公式(9)所示。

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (8)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \left(\frac{m_k}{L_t} + \frac{n_k}{L_g}\right) \times \frac{1}{N_c} \quad (9)$$

公式(9)中  $L_t$  表示当前次迭代最优路径长度,  $L_g$  表示目前得到的全局最优路径长度,  $m_k$  与  $n_k$  之和为  $N_c$ , 用于调整迭代最优与当前全局最优蚂蚁在信息素更新时所占比重。

### 2.2 蚂蚁状态的转移规则

蚂蚁在进行下一节点选择时采用伪随机状态转移规则来确定蚂蚁的移动方向,比基本蚁群算法更好地利用蚂蚁正反馈机制。位于节点  $i$  的蚂蚁根据公式(10)选择下一节点  $j$ , 其中  $j$  为从公式(11)给出的概率分布选出的一个随机变量<sup>[8]</sup>。

$$j = \begin{cases} \arg \max \varphi_{ij}(t) [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta, & q \leq q_0 \\ j, & q > q_0 \end{cases} \quad (10)$$

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in allowed_k} \tau_{is}^\alpha(t) \eta_{is}^\beta(t)}, & j \in allowed_k \\ 0, & j \notin allowed_k \end{cases} \quad (11)$$

式(10)中  $q$  为(0,1)之间的一个随机数,蚂蚁采用最优转移方式来选择路径的概率为  $q_0$ , 这个移动方式是由信息素浓度和启发式信息决定的,当  $q \leq q_0$  时,由信息素浓度和启发信息共同决定下一个节点的选择,当  $q > q_0$  时,由基本蚁群算法选择下一个待搜索的节点,引导算法趋向收敛。 $q_0$  的大小决定了算法对启发式信息的利用程度和新路径的探索程度。

由上述转移策略可以看出,  $q_0$  的值决定着确

定性转移和随机性转移被选择的概率。为了合理搭配两种转移策略,可以在算法中动态调节  $q_0$  的值:

$$q_0 = \begin{cases} \varepsilon_1 q_0 & \text{多数蚂蚁搜索路径相同} \\ \varepsilon_2 q_0 q_0 \leq q_{\min} & \\ \phi(t) & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

$$\phi(t) = \frac{3.7}{n_{\max}^2} (n_c - 0.5n_{\max})^2 + 0.1 \quad (13)$$

式中  $0 < \varepsilon_1 < 0.5, 1 < \varepsilon_2 < 1.5$ ,  $n_c$  为迭代次数,  $n_{\max}$  为最大迭代次数;  $\phi(t)$  为时变函数,其值域为  $[0.1, 0.96]$ ,变化趋势如图 1 所示。

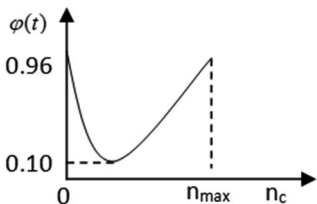


图 1  $\phi(t)$  曲线图  
Fig.1  $\phi(t)$  Curve graph

算法初期,为了以大概率选择确定转移,  $q_0$  取值较大,加快了局部最优路径的搜索;算法中期  $q_0$  取较小的值,以增大随机转移概率,防止局部最优产生;算法后期进化方向已基本确定,逐步增大  $q_0$  取值,以加快算法的收敛,改进的状态转移策略,加大了算法的随机性,扩大了搜索空间,避免了搜索的盲目性。

3 基于改进蚁群算法的 QoS 组播路由算法

具有  $n$  个节点的网络拓扑结构图中,通过最小带宽约束和改进的蚁群算法,来搜索从源节点到其它目的节点  $i$  的候选路由,算法步骤如下:

步骤 1: 定义源节点  $s$  和目标节点集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{n-1}\}$ , 并在源节点处放置  $m$  只蚂蚁, 设置循环计时器  $N_c$  为 0, 最大循环次数  $N_{\max}$ , 设置网络中每条路径上的初始信息素初始值  $\tau_0$  初始化节点的路由信息表, 给出每个节点和链路的 QoS 特征值以及约束条件。

步骤 2: 循环次数  $N_c = N_c + 1$ 。

步骤 3: 将源节点置于禁忌表中的每行中的第一列, 行数为  $m$ 。

步骤 4: 每只蚂蚁按照公式 (10) 和 (11) 根据禁忌表的变化选择节点前进, 并根据基本蚁群算

法更新局部最优信息素。

步骤 5: 当所有蚂蚁完成一次循环后根据公式 (8) 更新全局信息素, 并计算路径的费用、延时、丢包率等, 获得迭代最优组播树和全局最优组播树, 并将全局最优组播树中各边信息素采用全局更新策略更新。

步骤 6: 如果  $N_c \leq N_{\max}$  转到步骤 2, 否则, 算法循环结束, 结束遍历, 收集所有的最好路径来构造完整多播树。

4 实验仿真

为了验证改进蚁群算法的性能, 采用图 2 中 7 个网络节点的网络结构模型, 应用 Matlab 软件进行实验仿真, 其中图中各节点参数含义为: 延时、丢包率、费用; 各条边的参数含义为: 延时、带宽、费用、各节点参数的值如表 1 所示, 各条边参数的值如图 1 所示。

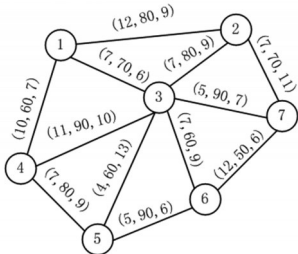


图 2 网络结构图

Fig.2 Network structure diagram

表 1 各节点参数值

Table 1 Parameter value of each node

节点号	延时	丢包率	费用
1	4	$10^{-3}$	4
2	9	$10^{-3}$	2
3	3	$10^{-6}$	8
4	8	$10^{-3}$	6
5	5	$10^{-4}$	2
6	2	$10^{-3}$	12
7	12	$10^{-7}$	3

以节点 1 为源节点, 节点 3、4、6、7 为目的节点, 寻找满足带宽约束  $B$  为 60, 包丢失率约束  $PL$  为 0.01, 延时约束  $D$  为 50。设置蚂蚁数量  $m=10$ , 信息启发算子  $\alpha$  和期望启发算子  $\beta$  分别为 2、5, 信息素量强度  $Q=5$ , 信息素残留算子  $\rho=0.65$ ,  $q_0=0.1$ 。所有蚂蚁从源节点 1 出发, 经历目的节点 3、4、6、7 寻找满足约束条件的最优组播树, 实验得到的满足各约束条件的最优组播树如图 3 所

示。

由图4可以看出,在相同的仿真环境下,在任何时刻本文算法数据分组的延迟明显小于基本蚁群算法,在400 s时,本文算法的延迟比基本蚁群算法少了近0.15 s,有效地证明了本文算法的低延时性,本文算法通过改进信息素浓度更新的方式,缩小了算法的查询范围,通过改进节点状态的转移规则,避免了算法陷入局部最优,找到了从源节点到目的节点的最优组播树。

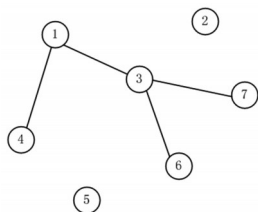


图3最优组播路径树

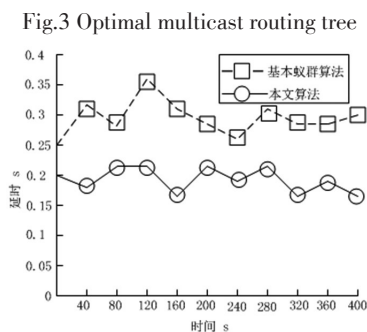


图4 基本蚁群算法与本文算法延时图

Fig.4 Basic ant colony algorithm and the algorithm

## 5 总结

针对基本蚁群算法在求解组播最优路径所需循环次数多、效率低以及容易陷入局部最优路径等缺陷,通过改进信息素更新方式和改进状态转移规则对基本蚁群算法进行优化,提出了基于改进蚁群算法的QoS组播路由方案,通过仿真测试,该方案能够找到满足时延和带宽限制且代价最小的组播路径,提高了算法收敛速度。

## 参考文献:

- [1] 倪云竹,李志蜀,刘一静.基于蚁群遗传算法的QoS多播路由研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(10):3865-3868.
- [2] 叶仕通,万智萍.高效的蚁群遗传组合算法在QoS路由上的运用[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(10):82-87.
- [3] 王另秀,曹叶文.基于蚁群算法的多源组播流量均衡的研究[J]. 山东大学学报(理学版), 2013, 46(11):28-32.
- [4] 朱刚,马良,管屏,等.求解QoS组播路由的生长竞争蚁群算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(27):126-128.
- [5] 左敬龙,余桂兰.改进的量子蚁群算法求解带约束QoS组播路由[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(8):2051-2054.
- [6] 李永胜,曲良东,李熹.自适应信息素更新蚁群算法求解QoS组播路由[J]. 山东大学学报(工学版), 2013, 41(4):38-42.
- [7] 李康顺,徐福梅,张文生,等.一种基于启发式演化算法的最优-最差蚂蚁系统[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2010, 41(2):607-614.
- [8] 罗建,薛锋.旅客列车线路选择的蚁群算法求解[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(11):11-15.

(上接第95页)

- chrosqueezing transform in seismic time-frequency analysis[J]. Geophysics, 2014, 79(3):V55-V64.
- [3] 文闻,宗光华,于洋,等.小管径超声波流量计去噪方法[J]. 中国空间科学技术, 2015, 35(2):77-83.
  - [4] 梁鸿翔,王润田,周艳. TDC 超声流量计设计中的同频噪声处理[J]. 声学技术, 2009, 28(1):29-33.
  - [5] Li C, Liang M. Time-frequency signal analysis for gearbox fault diagnosis using a generalized synchrosqueezing transform[J]. Mechanical Systems & Signal Processing, 2012, 26(1):205-217.
  - [6] Li C, Liang M. A generalized synchrosqueezing transform for enhancing signal time-frequency representation[J]. Signal Processing, 2012, 92(9):2264-2274.
  - [7] Avanesians P, Momayez M. Wave separation: Application

- for arrival time detection in ultrasonic signals[J]. Ultrasonics, 2014, 55(1):15-25.
- [8] Thakur G, Wu H T. Synchrosqueezing-based Recovery of Instantaneous Frequency from Nonuniform Samples[J]. Siam Journal on Mathematical Analysis, 2010, 43(5):2078-2095.
  - [9] Zhang K, Meng Q, Geng T, et al. Ultrasonic measurement of lubricant film thickness in sliding Bearings with overlapped echoes[J]. Measurement Science & Technology, 2015, 88(2):89-94.
  - [10] IDaubechies I, Lu J, Wu H T. Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool [J]. Applied & Computational Harmonic Analysis, 2011, 30(2):243-261.