

ACOGA算法的多媒体网络QoS路由实现

崔梦天^{1,3}, 钟 勇¹, 赵海军²

(1. 中国科学院成都计算机应用研究所 成都 610041; 2. 西华师范大学计算机学院 四川 南充 637002;
3. 四川邮电职业技术学院计算机科学系 成都 610067)

【摘要】针对传统的路由算法收敛速度慢且容易产生拥塞和路由振荡问题,提出了基于蚁群算法(ACO)和遗传算法(GAs)来实现动态QoS路由的新算法。分析了基本的ACO的正反馈性、协同性、并行性和鲁棒性等优点,同时利用GAs很强的自适应性和种群优化技术,通过对ACO算法使用遗传算法的交叉、变异达到对信息素进行调整,来自适应地调整路径选择概率的确定策略和信息量更新策略,从而扩大搜索范围。计算和仿真结果表明,该方法具有更好的路由收敛速度和稳定性,能更有效地解决拥塞现象和路由振荡问题。

关键词 蚁群算法; 遗传算法; 基于路由的服务质量; 信息素

中图分类号 TN915.1

文献标识码 A

doi: 10.3969/j.issn.1001-0548.2009.02.26

Realization to Multimedia Network QoS Routing Based on ACOGA

CUI Meng-tian^{1,3}, ZHONG Yong¹, and ZHAO Hai-jun²

(1. Chengdu Institute of Computer Applications, Chinese Academy of Science Chengdu 610041;

2. School of Computer Science, China-West Normal University Nanchong Sichuan 637002;

3. Department of Computer Science, Sichuan Post and Communication College Chengdu 610067)

Abstract To solve the problem of low convergence speed and congestion and oscillation in conventional routing algorithms, a novel method of dynamic routing algorithm for multimedia network is proposed based on ant colony optimization (ACO) algorithm and genetic algorithms (GAs). The essential advantages of ACO including cooperation, positive feedback, and distributed nature and the disadvantages of low convergence speed are discussed. By considering the high adaptability of GAs, the cross operation and mutation of genetic algorithms are introduced into the ACO to improve its searching ability and to dynamically adjust the influence of each ant for the trail information updating and the selected probabilities of the paths. The algorithm is also well suited for dynamic networks and can make the selected paths shortest, miss the traffic jams and keep the balance of networks load distribution.

Key words ant colony optimization; genetic algorithms; QoS-based routing; trail information

网络服务质量(quality of service, QoS)是网络与用户之间以及网络上互相通信的用户之间关于信息传输与共享的约定。网络规模的指数增长和业务范围的扩展使得网络的动态特性更加突出,表现为网络拓扑结构的不断变化、通信量突发等。QoS路由(QoS-based routing)^[1]指为了一次连接请求,根据网络上可利用资源和流(flow)的QoS需求决定流的可用路径的机制,是目前关于QoS的一个重要的研究方向。传统的路由算法(距离向量算法和链路状态算法)收敛速度慢且容易产生拥塞现象和路由振荡问题,已经不能适应动态环境下的网络需求。基本蚁群算法^[2-3]具有正反馈性、协同性,以及本质的并行性和较强的鲁棒性,易于并行实现及与其他算法结

合,适合求解复杂的组合优化问题。但基本蚁群算法的计算时间较长,易出现停滞现象和陷入局部最优解,因而得不到全局最优解;由于蚁群中多个个体的运动是随机的,故当群体规模较大时,要找出一条较好的路径需要较长的搜索时间。为了提高蚁群算法(ACO)的全局搜索能力和搜索速度,以及克服其收敛速度慢、易局部限于最小点等缺陷。本文提出将ACO和遗传算法(GAs)相结合,用于实现动态QoS路由的新算法。

1 QoS路由网络模型

一个QoS路由网络物理拓扑可以用无向加权图 $G=\{V, \{E\}\}$ ^[2,4]表示,图中顶点 $V=\{1, 2, \dots, n\}$ 表示网络

收稿日期: 2008-10-08; 修回日期: 2009-01-18

基金项目: 四川省科技攻关项目(07GG006-014)

作者简介: 崔梦天(1972-), 女, 博士生, 副教授, 主要从事软件理论方面的研究。

节点集, 边表示网络中连接节点的通信链路(link), 用集合 $E=\{e_{ij}, i, j \in V\}$ 表示, 其对于链路 $e \in E$ 有 $e=(u_i, v_j)$, 且节点 v_i, v_j 为相邻节点, $v_i \in V, v_j \in V, i \neq j$. 在网络中, V, E 都是动态变化的. 若 r 为源节点, 则 d 为相应的目的节点. 用矩阵来描述网络模型时, 设网络图 $G=\{V, E\}$, V 为顶点集, N 为节点对编号, 且满足 $1 < N < V \cdot (V-1)/2$, E 为链路集合, R 为备用路由集合.

(1) 邻接矩阵. 该矩阵中, v_{ij} 表示节点 i 到 j 的邻接关系. 节点 v_i 和 v_j 间有权重不为无穷大的链路直接相连时, 则令 $v_i = v_j = 1$. 邻接矩阵是对称的0-1二元素矩阵, 描述网络节点间的物理连接情况, 表示为:

$$\begin{matrix} & v_1 & v_2 & \cdots & v_n \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

(2) 节点对-通路矩阵. 该矩阵描述的是网络中节点对与通路的对应关系. 设 $R=\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ 为网络节点对的通路集合. NR_{ij} 为节点对 N_i 间的通路 R_i 的包含关系. 若 $NR_{ij}=1$, 则节点对 N_i 间的通路包含 R_i , 否则令 $NR_{ij}=0$. 节点对-通路矩阵表示为:

$$\begin{matrix} & R_1 & R_2 & \cdots & R_n \\ \begin{matrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

(3) 链路-通路矩阵. 该矩阵描述网络中链路 E 与通路 R_i 的相关关系, 简称 ER 矩阵, 也是一个0-1二元素矩阵. 当链路 E_i 包含在通路 R_i 中时, 令 $ER_{ij}=1$, 否则令 $ER_{ij}=0$. 链路-通路矩阵表示为:

$$\begin{matrix} & R_1 & R_2 & \cdots & R_n \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 0 \\ 1 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

2 基于ACOGA的路由算法

2.1 蚁群算法及遗传算法描述

蚁群算法^[2,4]的基本思想基于蚁群总是寻求食物源与蚁巢间的最短路径. 该算法具有正反馈性、协同性、并行性和鲁棒性、易于与其他方法结合等优点. 但是, 该算法一般需要较长的搜索时间, 而且容易出现早熟和停滞现象, 从而得不到全局最优

解. 为了提高蚁群算法的全局搜索能力和搜索速度, 本文利用遗传算法的基于种群数量最优化技术, 防止种群收敛并停滞在任何局部的最优点.

遗传算法有选择、交换、变异^[5-8]3个基本操作数. 1) 选择操作是从当前一代生成一组新的种群, 它决定哪些个体是参与生成下一代的个体, 即产生下一代交配池的过程. 个体基因链按照它们的适应性函数值被复制在交配池中. 2) 交换处理分为: (1) 来自交配池的成员随机交配; (2) 每对基因链的交换, 交换位置 l 沿着基因链在区间 $[1, l-1]$ 随机被选择(l 是链的长度), 两个链通过在位置 k 和 l 之间交换产生. 3) 变异是基因链位置的值随机交替的过程, 它能防止整个种群在任何局部的任一位置收敛到一个值, 更重要的是它能防止种群收敛并停滞在任何局部的最优点. 因此, 由交换操作中得到的好染色体不会丢失.

2.2 基于蚁群算法和遗传算法结合的ACOGA的路由算法

ACOGA路由算法的实现过程如图1所示.

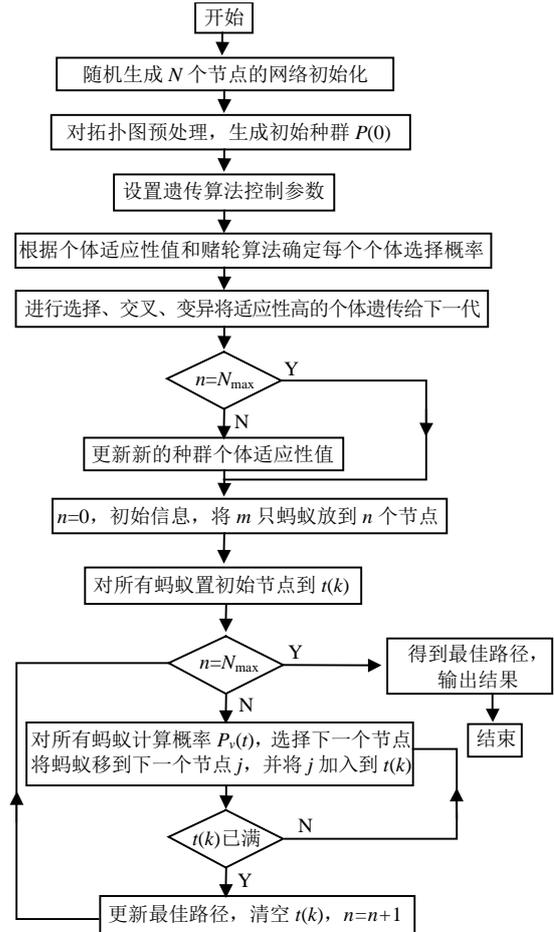


图1 ACOGA的路由算法实现过程

算法主要包括选择策略、信息量的局部更新、求局部最优解的局部搜索算法和信息量的全局更

新, 具体实现步骤如下:

(1) 为了减少计算时间, 在最初的迭代中, 取较大的转移概率。

(2) 为了防止陷入局部最优解和漏掉全局最优解, 可在搜索进行到一定时间后, 通过遗传算法的一些交叉、变异对信息素进行调整, 缩小最优和最差路径上信息量的差距, 适当加大随机选择的概率, 从而使搜索空间更完全, 扩大搜索范围。

(3) 在信息素的更新上, 通过改变更新策略, 更好地考虑全局特点。

ACOGA路由算法的实现过程如图1所示。

2.2.1 初始化

初始时, 设所有路径上的信息素都相等, 网络节点数为 n , 各时段各节点组合 $v\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{m}\}$, 初始路径随机产生。所有路径上的信息素初始值设为相同, 其大小为 $\tau_0 = 1/F$, 其中 F 是估计的目标函数最优值^[9]。

2.2.2 构建路径

本文为每一对源、目标节点建立一个路由表, 路由表中存储源、目标节点间满足约束条件的 k 个路由, 路由表的建立可参考文献[6]。每一对节点间的路由记为 i_d , 其中 $i=1, 2, \dots, k$ 为路由序号; $d \in D$ 为目标节点。每只蚂蚁根据状态转移规则为每个目标节点选择一条新路径, 产生 $[0, 1]$ 上的随机数 p , 组合为一棵满足约束条件的树。按路径上信息素痕迹浓度高、概率高的原则依概率 p 在路径集合 E 中选择路径 E_i ^[3, 6-9]。其中概率为:

$$p_{E_i}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{E_i}]^\alpha [\eta_{E_i}]^\beta}{\sum_{E \in R} [\tau_E]^\alpha [\eta_E]^\beta} & E \in R \\ 0 & E \notin R \end{cases} \quad (4)$$

式中 τ_{E_i} 为时间 t 时蚂蚁留在路由 E_i 上的信息量, 每只蚂蚁在时间 t 时开始一次新的循环, 每次循环蚂蚁为所有目标节点都选择一个路由, 一次循环结束时时间更新为 $t+n$, 蚂蚁会根据式(5)更新路由 E_i 上的信息量。蚂蚁 $k(k=1, 2, \dots, m)$ 在运动过程中, 根据各条路径上的信息素的大小以一定的概率 p 决定转移方向。本文取 $\eta_{E_i} = 3/d_{E_i}$; d_{E_i} 为两个节点路由长度; α 、 β 为常数, 分别表示 τ_{E_i} 、 η_{E_i} 的重要程度。

2.2.3 更新信息素

在信息素的更新上, 通过改变更新策略, 可更好地把全局特点考虑进去。本文使用如下交叉、变异的方法:

与阈值参数 $p_0(0 \leq p_0 \leq 1)$ 作比较, 分别为如下两

种情况:

(1) $p \leq p_0$, 对人工蚂蚁所在的路径 R_{old} 随机地变异, 即对节点组合 $v\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{m}\}$ 中的 $v(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, t)$ 进行变异操作, 随机变异为新的 v' 节点, 产生新的路径 R_{new} , 加入路径集合 E 。

(2) $p > p_0$, 按路径上信息素痕迹浓度高、概率高的原则依概率 p 在路径集合 E 中选择路径 E_i ^[8-9], 其中概率 p 如式(4)。

当一个周期结束, 进入 $t+1$ 时刻, 就对各路径上的信息素进行调整^[4-9], 即:

$$\tau_{E_{i+1}} = \rho \tau_{R_i} + (1 - \rho) \Delta \tau_{E_i} \quad (5)$$

式中 $\rho(0 < \rho < 1)$ 是信息素挥发参数; 若路径 d 为当前最优路径则 $\Delta \tau_i = F_i/F$, 否则 $\Delta \tau_i = 0$, 其中 F_i 为当前最优解。

这样每只蚂蚁为所有目标节点都选择了一个路由, 将所有目标节点的路由综合, 然后去掉重合的边, 就可以得到一棵连接所有源、目标节点的树, 这棵树同时满足时延约束。

3 仿真及结果分析

为了验证该算法, 使用随机的方法产生具有实际网络特性的图模型, N 个网络节点在一定的区域内随机产生。初始时, 设所有路径上的信息素都相等, 网络节点数为 n , 各时段各节点组合 $v\{v_{11}, v_{12}, \dots, v_m\}$, 初始路径随机产生。

给定的具有10个节点的加权无向图如图2所示。该图以邻接表的数据结构在计算机中存储。节点1为起点 S , 节点6为终点 T 。蚁群算法的参数 $\alpha = \beta = 0.75$, 蚂蚁数量 $m=100$, $\rho=0.65$; 所有路径上的信息量初始化 $\tau_0 = 6$; 迭代次数最大值 $c=200$ 。

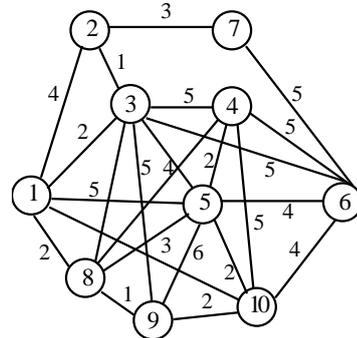


图2 基于蚁群算法的自适应动态路由算法

基本蚁群算法每一次迭代的求解结果如图3所示。从图3可知, 算法迭代100次以后, 求解的值基本收敛于12, 收敛的路径为 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 6$, 算法陷入局部最优解。

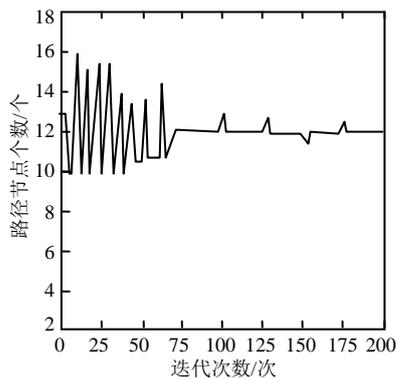


图3 用蚁群算法实现路由问题

ACOGA算法每一次迭代的求解结果如图4所示。从图4可知,迭代次数在50~100之间时,算法扩大了搜索到的解空间,防止了陷入局部最优。迭代100次以后,基于ACOGA算法的求解值收敛于7,收敛的路径为1→3→6,是ACOGA路由算法实现过程的最短路径,表明ACOGA算法能较快地收敛于全局最优解。

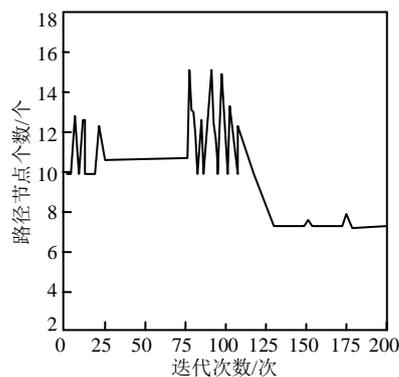


图4 使用遗传算法改进的基于蚁群算法实现路由问题

4 结束语

要求承载大量多媒体数据的网络的独特环境对QoS路由算法的设计提出了更高的要求,为解决拥塞现象和路由振荡问题,本文提出了基于交叉、变异的蚁群算法来实现动态QoS路由的实现方法。

该算法扩大了搜索范围,自适应地调整路径选择概率的确定策略和信息量更新策略,能更好地适应动态网络环境,使选择的路径尽量短以满足实时性应用,同时又能避开负载较重的链路,保持网络负载分布的平衡性。仿真结果表明,该算法具有更高的路由收敛速度和稳定性,能更有效地解决拥塞

现象和路由振荡问题,其性能较传统方法有了明显的提高,说明对多媒体网络环境具有更好的适应性。

参考文献

- [1] 吕 勇, 赵光宙, 苏凡军. 基于蚁群算法的自适应动态路由算法[J]. 浙江大学学报, 2005, 39(10): 56-61.
LU Yong, ZHAO Guang-zhou, SHU Fan-jun. Adaptive dynamic routing algorithm based on ant-algorithm[J]. Journal of Zhejiang University, 2005, 3(10): 56-61.
- [2] 王 颖, 谢建英. 一种基于蚁群算法的多媒体网络多播路由算法[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(4): 526-531.
WANG Ying, XIE Jian-ying. Algorithm for multimedia multicast routing based on ant colony optimization[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2002, 36(4): 526-531.
- [3] MANIEZZO V, CARBONARO A. An ants heuristic for the frequency assignment problem[J]. Future Generation Computer Systems, 2000, 16(8): 927-935.
- [4] DORIGO M, GAMBARDELLA L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53-66.
- [5] DORIGO M, GAMBARDELLA L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computing, 1997, 1(1): 53-56.
- [6] BI J, FU M Y, ZHANG K N. An improved ant colony algorithm for the shortest path problem[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 35(3): 77-81, 107-109.
- [7] 刘 评, 高 飞, 杨 云. 基于遗传算法和蚁群算法融合的QoS路由算法[J]. 计算机应用研究, 2007, 35(9): 224-227.
LIU Ping, GAO Fe, YANG Yun. QoS routing algorithm based on the combination of genetic algorithm and ant colony algorithm[J]. Application Research of Computers, 2007, 35(9): 224-227.
- [8] 徐 刚, 马光文. 基于蚁群算法的梯级水电站群优化调度[J]. 水力发电学报, 2005, 36(8): 1-5.
XU Gang, MA Guang-wen, Yang J. Optimal operation of cascade hydropower plants in competitive electricity market based on ant colony algorithm [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(8): 1-5.
- [9] 陈 峻, 沈 洁, 秦 玲, 等. 基于分布均匀度的自适应蚁群算法[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1379-1387.
CHEN Ling, SHEN Jie, QIN Ling, et al. An adaptive ant colony algorithm based on equilibrium of distribution[J]. Journal of Software, 2003, 14(8): 1379-1387.