

基于自适应节点选择蚁群算法的 QoS 选播路由算法

李永胜, 李 熹

(广西民族大学 数学与计算机科学学院, 广西 南宁 530006)

摘 要: 针对基本蚁群算法在求解 QoS 选播路由问题中存在的容易陷入局部最优和收敛速度慢的缺陷, 提出一种基于自适应节点选择的蚁群算法对该问题进行求解. 该算法根据解的情况自适应调整节点选择策略; 依据各路径上信息素的“集中”程度判断解的早熟、停滞情况, 并对可能陷入局部最优的解进行信息素混沌扰动更新, 以便跳出局部极值区间. 仿真实验表明, 算法全局搜索能力较强, 能够跳出局部极值区间, 快速地收敛到全局最优解, 算法是可行、有效的.

关键词: 蚁群算法; QoS 选播路由; 自适应节点选择; 混沌扰动

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)08-0112-04

QoS Anycast Routing Algorithm Based on Adaptive Nodes Selection Ant Colony Algorithm

LI Yong-sheng, LI Xi

(College of Mathematic and Computer Science, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China)

Abstract: Ant colony algorithm is easy to fall in local best and its convergent speed is slow in solving multiple QoS constrained anycast routing problems. Therefore, an adaptive nodes selection ant colony algorithm is proposed in this paper to solve the problems. The nodes selection strategy is adjusted adaptively according to the solution. Stagnation behavior is judged by the concentration level of the pheromone on the path. Chaos perturbation is utilized to update the pheromone trail on the path in order that solutions which may fall into local optimum can range out of local best. According to simulations, Its global search is strong and it can range out of local best and it is fast convergence to the global optimum. The improved algorithm is feasible and effective.

Key words: ant colony algorithm; QoS anycast routing; adaptive nodes selection; chaos perturbation

1 引言

随着 Internet 的快速发展, 网络上出现了视频点播、网络电视、远程教学和分布式网络游戏等实时多媒体业务, 这些业务对网络的服务质量(QoS)提出了很高的要求. 为了提高网络的服务质量和负载均衡能力以满足各种实时多媒体业务的需求, 人们通常需要设置多个能提供相同服务的服务站点, 当用户提出服务要求时, 网络就可以通过其中任意一个站点来满足服务要求. 为此, RFC1546 提出了选播的概念^[1], 即给定网络中的一个源点和一组目标

节点, 寻找从源点到任意目标节点的路由路径. 选播通信已经被规定为 IPv6 中的一种标准通信模型^[2], 它对于改善网络和服务器负载平衡、简化某些网络应用有着广泛的前景.

Wang Z 等已经证明在多约束条件下的 QoS 路由问题是 NP 完全问题^[3], 通常采用启发式算法求解, 如遗传算法、粒子群算法等, 并已获得一些研究成果. 如文献[4]中提出了一种“基于遗传算法的求解时延约束的选播 QoS 路由算法”, 算法对遗传个体采用节点序列编码, 使交叉和变异算子直接对路径进行优化. 文献[5]中在粒子群算法中引入特殊相

收稿日期: 2011-05-14; **修回日期:** 2011-06-25

基金项目: 广西自然科学基金项目(2010GXNSFA013127); 广西教育厅科研项目(201010LX076)

加算子和随机变异算子,以求跳出局部最优,获得全局最优解。但是,这些算法在求解QoS选播路由时存在着算法复杂度高、收敛速度慢等缺陷。

蚁群算法具有稳健性、正反馈、分布式计算等特点,已经广泛应用于求解各种组合优化问题。但它在求解QoS选播路由问题时存在收敛速度慢和容易陷入局部最优等缺点。本文对基本蚁群算法进行了改进,提出一种“基于自适应节点选择的蚁群算法”求解该问题。实验仿真表明:改进后的蚁群算法能有效地求解QoS选播路由问题。

2 QoS选播路由问题描述

为方便分析,可以将网络表示为一个赋权图 $G(V, E)^{[4-5]}$, 其中 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 是网络的有限节点的集合; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 是网络通信链路的集合。设 $s \in V$ 为源节点, $M \in \{V - \{s\}\}$ 为目的节点集, 对于任一通信链路 $e \in E$, 定义其四种属性: 延时函数 $\text{delay}(e)$, 带宽函数 $\text{bandwidth}(e)$, 延时抖动函数 $\text{delay_jitter}(e)$ 和费用函数 $\text{cost}(e)$ 。对于任一网络节点 $n \in V$, 同样定义四种属性, 即延时函数 $\text{delay}(n)$, 丢包率函数 $\text{packet_loss}(n)$, 延时抖动函数 $\text{delay_jitter}(n)$ 和费用函数 $\text{cost}(n)$ 。则对于给定的源节点 $s \in V$, 目的节点集 M , 目的节点 $t \in M$, s 和 t 组成的路径 $p(s, t)$ 存在以下关系:

- (1) $\text{delay}(p(s, t)) = \sum_{e \in p(s, t)} \text{delay}(e) + \sum_{n \in p(s, t)} \text{delay}(n)$
- (2) $\text{bandwidth}(p(s, t)) = \min(\text{bandwidth}(e))$
- (3) $\text{delay_jitter}(p(s, t)) = \sum_{e \in p(s, t)} \text{delay_jitter}(e) + \sum_{n \in p(s, t)} \text{delay_jitter}(n)$
- (4) $\text{cost}(p(s, t)) = \sum_{e \in p(s, t)} \text{cost}(e) + \sum_{n \in p(s, t)} \text{cost}(n)$
- (5) $\text{packet_loss}(p(s, t)) = 1 - \prod_{n \in p(s, t)} (1 - \text{packet_loss}(n))$

其中, $p(s, t)$ 为源节点 s 到目的节点 t 的路由路径。QoS选播路由目的就是找到一条路径 $p(s, t)$, 满足以下约束条件:

- (1) 延迟约束: $\text{delay}(p(s, t)) \leq D$;
- (2) 带宽约束: $\text{bandwidth}(p(s, t)) \geq B$;
- (3) 延迟抖动约束: $\text{delay_jitter}(p(s, t)) \leq DJ$;
- (4) 丢包率约束: $\text{packet_loss}(p(s, t)) \leq PL$;
- (5) 费用约束: 在所有满足(1)~(4)条件的路

径中, $\text{cost}(p(s, t))$ 最小。

其中, $p(s, t)$ 为源节点 s 到目的节点 t 的路由路径, B 是带宽约束, D, DJ , 和 PL 分别是 t 的延时、延时抖动和丢包率约束。

3 基本蚁群系统

蚁群系统^[6]是由Dorigo和Gmabardella在1996年提出的, 其对蚂蚁系统主要作了3各方面的改进:

(1) 采用了确定性选择和随机性选择相结合的选择策略, 对于一只位于节点 r 的蚂蚁通过下式:

$$s_k = \begin{cases} \arg \max_{u \in \text{allowed}_k} \{[\tau(r, u)]^\alpha [\eta(r, u)]^\beta\}, & q \leq q_0 \\ S, & q > q_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{i,j}^k(t) \eta_{i,j}^k(t)}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} (\tau_{i,s}^k(t) \cdot \eta_{i,s}^k(t))}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

给出的规则转移到下一城市 s :

式中, s_k 为蚂蚁 k 所选择的下一个节点; q 是 $[0, 1]$ 之间的一个随机数; q_0 为参数 ($0 \leq q_0 \leq 1$)。 s 为根据式(2)计算出的下一个访问节点。

(2) 全局更新规则只应用于最优的蚂蚁路径上。全局更新规则如下:

$$\tau(r, s) \leftarrow (1 - \rho_0) \cdot \tau(r, s) + \rho_0 \cdot \Delta\tau(r, s) \quad (3)$$

$$\Delta\tau(r, s) = \begin{cases} Q/L_{gb} & \text{如果}(r, s) \in \text{全局最优路径} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

式中, ρ_0 为信息素挥发参数, $0 < \rho_0 < 1$; L_{gb} 为到目前为止找到的全局最优路径。 Q 为常数, 表示节点间初始化的信息素强度。

(3) 使用了局部更新规则。局部更新规则为

$$\tau(r, s) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(r, s) + \rho \cdot \tau_0 \quad (5)$$

$$\tau_0 = (nL_m)^{-1} \quad (6)$$

式中, ρ 为局部信息素挥发参数, $0 < \rho < 1$, n 是节点数量, L_m 是由最近的邻域启发产生的一个路径长度。

4 基于自适应节点选择蚁群算法的QoS选播路由算法

4.1 自适应的节点选择策略

在基本蚁群系统中, q_0 是一个重要的参数, 它直接反映了蚂蚁“探索”和“利用”的程度, q_0 越大, 蚂蚁“利用”已知历史经验的可能性就越大。 q_0 越小,

蚂蚁“探索”新路径的可能性就越大. 为了在蚂蚁的“探索”和“利用”中找到一个较好的平衡点, 我们可以认为: 在本轮迭代中找到的路径越好的蚂蚁, 下一轮搜索中越应该去“探索”更好的解. 反之, 在上一轮搜索中迭代中找到的路径越差的蚂蚁, 下一轮搜索中越应该去“利用”现有的历史经验来提高解的质量. 因此, 可以对参数作以下调整:

$$q_i(l+1) = \begin{cases} q_0 \cdot \varphi \cdot \frac{C_i(l) - \text{Best } C(l)}{\text{Worst}(l) - \text{Best } C(l)}, C_i(l) > 0, \\ \text{且 } \text{Worst}C(l) \neq \text{Best}C(l) \\ q_0, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $q_i(l+1)$ 为第 i 只蚂蚁第 $l+1$ 轮的“ q_0 ”值, $\text{Best}C(l)$ 、 $\text{Worst}C(l)$ 分别表示到第 l 轮迭代整个蚁群得到的最优、最差选播路径的费用值; $C_i(l)$ 表示第 i 只蚂蚁在第 l 轮迭代搜索到的选播路径的费用值. 由此, 蚂蚁的下一节点选择公式(1)调整为

$$s_k = \begin{cases} \arg \max_{u \in \text{allowed}_k} \{[\tau(r, u)]^\alpha [\eta(r, u)]^\beta\}, q \leq q_i(l+1) \\ S, q > q_i(l+1) \end{cases} \quad (8)$$

如果第 l 轮的第 i 只蚂蚁找到的选播路径较优, 则 $C_i(l)$ 值较小, $q_i(l+1)$ 的值就较小, 这只蚂蚁下一轮“探索”新解的概率就越大. 反之, 如果第 l 轮的第 i 只蚂蚁找到的选播路径较差, 则 $C_i(l)$ 值较大, $q_i(l+1)$ 的值就较大, 这只蚂蚁下一轮“利用”现有解的概率就越大. 这样, 每只蚂蚁的 q_0 值就能根据搜索的结果来自适应调整, 大大增强了蚁群的全局搜索能力.

4.2 加入混沌扰动的信息素更新机制

在求解 QoS 选播路由问题时, 蚂蚁的出发点通常都是同一个“源点”, 因此它比求解 TSP 问题更容易陷入局部最优. 为了解决这个问题, 本文在“局部最优解”的信息素更新中加入了混沌扰动量, 以使解能够跳出局部极值区间.

局部最优收敛判断是进行局部最优处理的基础. 实验表明, 无论是局部收敛时还是全局收敛, 合格路径上的信息素都会出现“集中”现象. 所以, 各合格路径上信息素的“集中”程度可以作为局部收敛的判断条件之一. 各合格路径上信息素的“集中”程度函数可以定义为

$$\omega^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\tau_{ig} - \tau_{bg}}{f} \right]^2 \quad (9)$$

$$f = \begin{cases} \max |\tau_{ig} - \tau_{bg}|, \max |\tau_{ig} - \tau_{bg}| > 1 \\ 1, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

式中, n 为本轮迭代中, m 只蚂蚁找到的合格路径数量, τ_{ig} 为第 i 只蚂蚁找到的合格路径平均信息素 (τ_{ig} = 合格路径的信息素总和 / 构成该路径的边数). τ_{bg} 为 m 只蚂蚁找到的最优路径的平均信息素. f 为归一化定标因子, 它可以限制 ω^2 的大小. 式(9)表明, ω^2 可以反映路径上信息素的“集中”程度, ω^2 越小, 路径上的信息素越集中, 当所有 m 只蚂蚁都选择同一路径时, $\omega^2 = 0$.

如果在设定的连续 Z 次迭代内, 算法所获得的最优路径没有明显变优, 且 $\omega^2 < C$ (C 为一给定常数), 此时可以认为算法可能陷入局部最优, 可以在其信息素更新中加入混沌扰动.

混沌是自然界广泛存在的一种非线性现象^[7], 具有“随机性”、“遍历性”及“规律性”等特点, 对初始条件极度敏感, 能在一定范围内按其自身规律不重复地遍历所有状态, 利用混沌运动的这些性质可以优化搜索. Logistic 映射就是一个典型的混沌系统, 其迭代公式为

$$z_{i+1} = \mu \cdot z_i \cdot (1 - z_i), i = 0, 1, \dots, \mu \in (2, 4] \quad (11)$$

式中, μ 为控制参量, 当 $\mu = 4$, $0 \leq z_0 \leq 1$, Logistic 完全处于混沌状态.

对可能陷入早熟收敛的最优路径全局信息素更新由式(3)调整为

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} + \xi z_{ij} \quad (12)$$

式中, z_{ij} 为 $[0, 1]$ 区间上的混沌扰动变量, 由式(11)得到, ξ 为扰动系数.

4.3 算法步骤描述

Step1: 初始化参数. 设蚂蚁数量为 m , 最大迭代次数为 Num , 源点为 s , 目的节点集为 M . 确定 $\alpha, \beta, Q, q_0, \varphi, Z, C$ 的值, 确定约束条件 D, DJ, B 和 PL 的值. 设置每条边的初始信息素浓度值为 τ_0 , 初始挥发系数为 ρ 和 ρ_0 . 确定混沌扰动参数值 μ, z_0 和 ξ , 迭代次数 $l = 0$.

Step2: 精简网络. 删除不满足约束条件的链路和节点, 并基于该网络结构进行路由.

Step3: 设置当前迭代次数 $l = l+1$, 并设置各链路信息素增量 $\Delta\tau_{ij} = 0, t = 0, i = 1$, 将 m 只蚂蚁放置于源点, 为每只蚂蚁生成禁忌表, 并将源点放入禁忌表中.

Step4: $t = t+1$, 设置当前目的节点为 M_t . 对于每只没有完成搜索的蚂蚁 k 根据式(8), 由当前节点 N_i 选择下一节点 N_j , 同时判断从源节点 s 到 N_j 所经过的路径是否符合所有约束条件; 如果不存在节

点 N_j , 则标记蚂蚁死亡; 如果 N_j 为目的节点 M_i , 则标记该蚂蚁完成搜索; 否则将 N_j 放入蚂蚁 k 的禁忌表中, 继续搜索。

Step5: 重复执行 Step4, 直到所有放置在源点的只蚂蚁全部完成搜索为止, 记录从源节点 s 到当前目的节点 M_i 的合格路径 $P(s, M_i)$ 。

Step6: 计算路径 $P(s, M_i)$ 的目标函数值, 对 $P(s, M_i)$ 上的链路信息素按式 (5) 进行局部更新。将 $P(s, M_i)$ 与当前的全局最优路径比较, 如果 $P(s, M_i)$ 较优, 则更新当前的全局最优路径 $\text{Path}_{\text{best}} = P(s, M_i)$ 。

Step7: $i = i + 1$, 依据 Step4、Step5 和 Step6 的方法继续搜索从源点到其他目的节点的合格路径。

Step8: 当蚂蚁完成一次对所有目的节点的路径搜索后, 获得当前全局最优路径 $\text{Path}_{\text{best}}$ 。

Step9: 如果在设定的连续 Z 次迭代内, 算法所获得的最优路径没有明显变优, 且反映信息素“集中”程度的函数 $\omega^2 < C$, 则根据式 (12) 对全局最优路径上的信息素进行全局更新。否则, 根据式 (3) 对全局最优路径上的信息素进行全局更新。

Step10: 如果 $l < \text{Num}$, 则执行 Step3, 否则执行 Step11。

Step11: 输出最优路径 $\text{Path}_{\text{best}}$, 算法结束。

5 仿真实验

利用图 1 所示的具有 25 个节点路由的网络用 Matlab 软件进行仿真。只考虑链路的带宽, 延时和费用约束, 每条链路属性用三元组 (带宽, 延时, 费用) 描述。

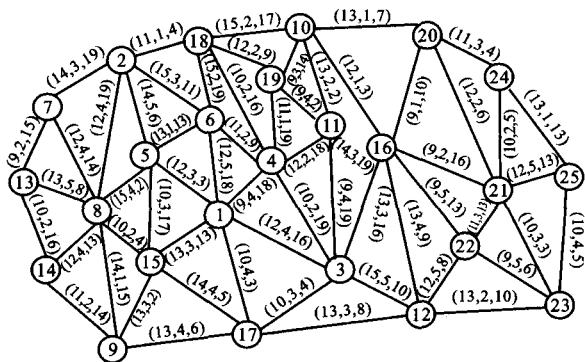


图 1 网络模型

设现有业务路由请求, 源节点 $vs = 25$, 目标节点为 2, 9, 带宽要求 $B = 8$, 延时要求 $D = 46$ 。选取的参数为: $\alpha = 1, \beta = 2, \rho_0 = 0.3, \rho = 0.1, Q = 2, \varphi = 0.6, q_0 = 0.9, C = 0.05, Z = \text{Num}/5, z_0$ 取 $(0, 1)$ 间的随机数, $\mu = 3.8, \xi = 1.06$, 初始各链路的信息素

为 1, 放置在源点的蚂蚁的数量 $m = 10$, 迭代次数为 20。

图 2 所示为本文算法和基本蚁群算法 20 次迭代中搜索到的最优路径费用和延时随迭代次数变化曲线。

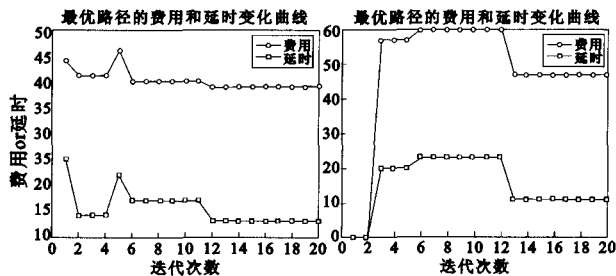


图 2 两种算法最优路径的费用和延时变化曲线

表 1 所示为本文算法和基本蚁群算法的路由结果路径特性参数比较。

表 1 两种算法路由结果比较

算法类型	最优路径	费用	延时	迭代次数
本文算法	25-23-12-17-9	39	13	12
基本蚁群算法	25-21-20-10-18-2	47	11	13

从图 2 和表 1 可以看出: 本文算法最优路径的费用和延时变化曲线前期出现了一些波动, 说明算法的全局搜索能力得到扩大。比较两种算法的结果可以看出: 同样的网络模型, 在满足相同的 QoS 选播路由约束条件下, 本文算法在 12 次迭代内找到最优路径。基本蚁群算法在 13 次迭代内收敛, 但其最优路径陷入局部最优。仿真结果表明, 本文算法全局搜索能力较强, 能够跳出局部最优, 快速收敛到全局最优解, 算法是可行和有效的。

6 结束语

针对蚁群算法的早熟、停滞和加速收敛之间的矛盾, 同时结合 QoS 选播路由问题的特点, 对蚁群算法进行了改进, 将节点选择与解的优劣程度相结合, 自适应调整节点选择, 扩大全局搜索范围; 根据路径上信息素的“集中”程度对算法作了早熟收敛判断, 并引入信息素的混沌扰动更新机制, 使算法能够跳出局部极值区间。仿真结果表明, 本文算法是可行和有效的。

参考文献:

- [1] Partridge C, Mendez T, Milliken W. Host anycast service[S]. Cambridge: RFC1546, 1993.

(下转第 118 页)

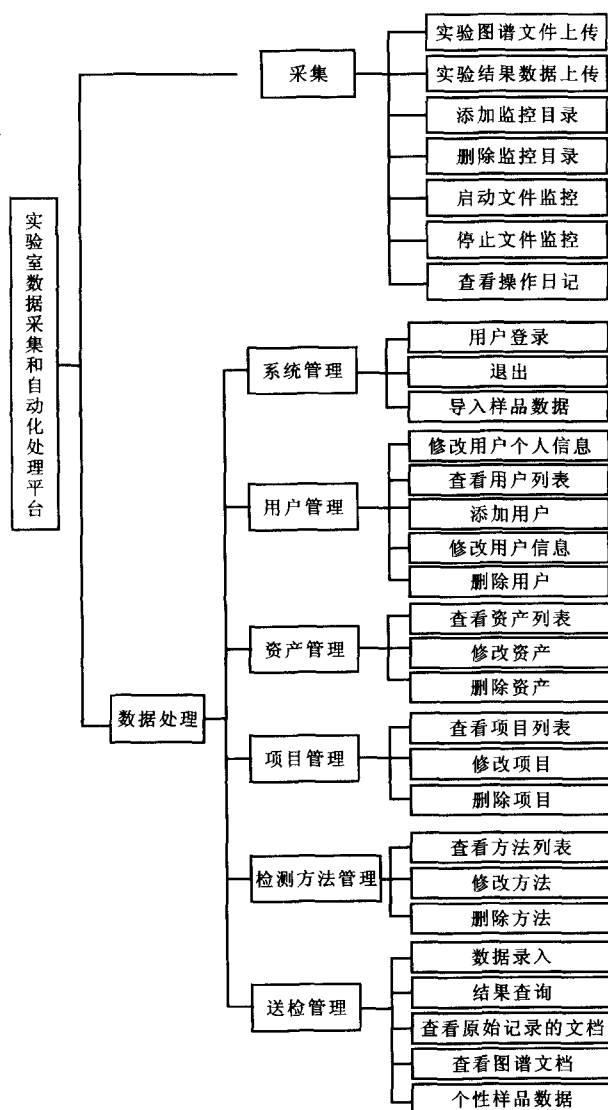


图3 系统功能模块图

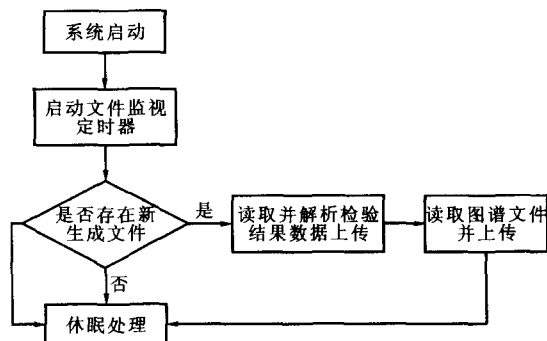


图4 数据采集流程

4 结束语

本文对实验中常用的气相、液相仪和质谱仪的输出数据进行采集和开发实验室数据处理平台,通过选择仪器设备的种类、实验类型、实验检测等项目,最后自动生成检测项目的原始记录单,实现了实验过程电子化监控与记录单数字化管理的需求。

参考文献:

- [1] 齐尚忠. LIMS 系统及数字化质检实验室建设[J]. 分析仪器, 2009(6):90-93.
- [2] 新的实验室标准 ISO/IEC17025[J]. 中国标准化, 2000(9):31.
- [3] 方华. 浅析 ISO/IEC17025 与 ISO/IEC 导则 25 的关系[J]. 中国检验检疫, 2000(6):26-27.
- [4] 钱爱萍. LIMS 系统的应用分析及展望[J]. 软件导刊, 2009,8(12):3-4.

作者简介:

陆清男, (1963—), 研究员. 研究方向为软件开发、网络应用、嵌入式平台设计和 RFID 技术研究应用。

(上接第 115 页)

- [2] Hinden R, Deering S. IP version 6 addressing architecture [R]. USA: Palo Alto, RFC1884, IETF, 1995, 12:9-18.
- [3] Wang Z, Corwcroft J. Qulaity-of-service routing for supporting multimedia applications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1996, 14(7): 1228-1234.
- [4] 陈燕, 宋玲, 李陶深. 基于遗传算法的求解时延约束的选播 QoS 路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(12): 46-49.
- [5] 李陶深, 陈松乔, 杨明. 改进的粒子群优化算法在 QoS 选播路由中的应用[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31

(1):67-71.

- [6] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation (S0302-9743), 1997, 1(1):53-66.
- [7] 黄润生, 黄浩. 混沌及其应用[M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.

作者简介:

李永胜男, (1979—), 硕士, 讲师. 研究方向为智能算法及应用。

李熏男, (1977—), 讲师. 研究方向为多媒体技术。