

新型混沌遗传算法在多约束 QoS 路由的应用*

方仕勇, 邹恩[†], 辛建涛, 林锦钱, 林兰

(华南农业大学 南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要: 针对多约束 QoS 路由优化问题, 提出一种新型混沌遗传算法。算法采用节点序号编码, 混沌优化初始化种群, 以及能防止产生无效路径的交叉变异策略。利用混沌变量的随机性、遍历性特点有效增加初始种群的多样性, 改善了遗传算法早熟的不足。仿真实验证明, 该算法适用于较大规模的网络, 且具有收敛速度快和稳定性高的优点, 是一种解决多约束 QoS 路由问题的可行、高效的方法。

关键词: 混沌选径; 遗传算法; 多约束 QoS 路由; 节点序号编码

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3078-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.072

New chaos genetic algorithm applied in multi-constrained QoS routing

FANG Shi-yong, ZOU En[†], XIN Jian-tao, LIN Jin-qian, LIN Lan

(Key Lab of Key Technology on South Agricultural Machinery & Equipment for Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: This paper proposed a new chaos genetic algorithm to solve multi-constrained QoS routing problem. The algorithm used sequence code, chaotic population initialization, valid-path-assured crossover and mutation strategy. The advantages of chaotic variables such as stochastic and ergodic increased the diversity of initial population effectively, and avoided the premature in genetic algorithm. Simulation results show that the algorithm is applicable to large network and has fast convergence and high stability, and can solve the multi-constrained QoS routing problem effectively and efficiently.

Key words: chaotic path selection; genetic algorithm; multi-constrained QoS routing; sequence code

0 引言

随着网络通信的发展, 人们需要一种能够保障服务质量的通信来满足业务要求, 这就使 QoS 路由技术成为了现在网络通信的一个关键领域。QoS 路由网络满足用户对带宽、延时、延时抖动等参数的要求, 这种由两个或多个加法性或乘法性 QoS 参数任意组合的路由尺度问题属于 NP 完全问题^[1]。

目前对于多约束 QoS 路由问题, 一般采用遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等智能算法来解决, 但这些算法自身不可避免地存在一些缺陷。遗传算法具有群体寻优、全局并行搜索的优点, 非常适合用于多约束 QoS 路由问题; 但其早熟特性容易在搜索过程中陷入局部最优解。因此国内外学者提出采用混合智能算法, 取长补短, 并取得了一定成果^[2-4]。文献[5]提出一种基于遗传算法和蚁群算法融合的 QoS 路由算法, 在遗传算法找出初始解并转换为信息素初值的基础上, 利用蚁群算法获得最优解; 文献[6]提出一种基于量子遗传算法的 QoS 路由算法, 提高传统遗传算法的收敛速度以及全局收敛性。

本文结合混沌遍历性搜索特点^[7], 采用适应大规模网络

的节点序号编码^[8], 提出此编码方式的混沌选径方法, 并将其应用到初始化种群、变异规则中, 形成一种新型混沌遗传算法。该算法既适用于较大规模的网络, 又可充分利用混沌特点使遗传算法的种群保持多样性, 改善早熟问题^[9]。

1 QoS 路由网络模型

在研究 QoS 路由问题时, 网络的拓扑结构可以用一个无向赋权图 $G(V, E)$ 表示。其中: V 表示网络节点的集合, E 表示节点间能相互通信的链路集。设 s 为源节点, d 为目的节点, n 为总节点数, $p = (s, \dots, i, j, \dots, d)$ 为任意一条由源节点 s 到目的节点 d 的路径。本文进行如下定义。

定义 1 链路选择指示变量及 QoS 特征值。

链路选择指示变量:

$$\rho_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{链路}(i,j) \text{ 在路径 } p \text{ 上} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

带宽: $\text{BandWidth}(p) = \min(b_{i,j}\rho_{i,j})$ (2)

延时: $\text{Delay}(p) = \sum_{i=1}^n d_{i,j}\rho_{i,j}$ (3)

收稿日期: 2011-11-30; **修回日期:** 2011-01-03 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(31171457); 广东省产学研结合基金资助项目(2010B090400451); 华南农业大学校长基金资助项目(K071700, 2008X004)

作者简介: 方仕勇(1986-), 男, 广东广州人, 硕士研究生, 主要研究方向为多约束 QoS 路由、混沌优化等(fang-iverson@163.com); 邹恩(1956-), 女(通信作者), 湖南株洲人, 教授, 博士, 主要研究方向为神经网络、模糊控制、混沌优化等; 辛建涛(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为混沌优化等; 林锦钱(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为混沌优化等; 林兰(1988-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为混沌优化等。

$$\text{延时抖动: } \text{Delay_Jitter}(p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n J_{i,j} \rho_{i,j} \quad (4)$$

$$\text{跳数: } \text{Hop}(p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{i,j} \quad (5)$$

$$\text{费用: } \text{Cost}(p) = \text{Hop}(p) \quad (6)$$

其中: $i, j = 1, 2, \dots, n$; $b_{i,j}$ 、 $d_{i,j}$ 、 $J_{i,j}$ 分别是链路 (i, j) 上的带宽、延时及延时抖动, 带宽为凹性度量, 延时、延时抖动、跳数为加性度量, 费用 $\text{Cost}(p)$ 为路径 p 的跳数。

定义 2 设 B_{\min} 为最小带宽需求, D_{\max} 为允许最大端到端延时, J_{\max} 为允许最大端到端延时抖动, 则满足以下约束条件的路径 p 称为 QoS 路由的一个可行解:

$$\begin{cases} \text{BandWidth}(p) \geq B_{\min} \\ \text{Delay}(p) \leq D_{\max} \\ \text{Delay_Jitter}(p) \leq J_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

定义 3 在无向赋权图 $G(V, E)$ 的所有可行解中, 费用 Cost 最小的解称为 QoS 路由最优解, 其对应的路径 p 即为满足 QoS 路由约束条件的最优路径。

本文的 QoS 路由算法采用如下适应度函数:

$$\text{fitness}(p) = \alpha \times f_{\text{QoS}} \times f_c \quad (8)$$

$$f_{\text{QoS}} = \begin{cases} 1 & \text{满足 QoS 条件} \\ \beta & \text{其他} \end{cases}, \beta \in (0, 1) \quad (9)$$

$$f_c = \frac{1}{\text{Cost}(p)} \quad (10)$$

式中: α 为正实数; f_{QoS} 为 QoS 度量的惩罚函数。

由式(8)可见, 适应度函数的值为正, 且其值越大, 表明路径 p 的性能越好, 即满足 QoS 约束条件且费用小; 相反, 值越小则表明路径 p 不满足 QoS 约束条件或者费用太大。

2 新型混沌遗传多约束 QoS 路由算法

2.1 编码方法

QoS 路由由遗传算法中常用的编码方式为二进制编码和 $N \times N$ 二维二进制编码^[10], 但这两种方式编码的个体长度会随着网络规模的增大而急剧增大, 使得所需存储空间增大, 同时降低了算法的效率。结合 QoS 路由的特点, 本文采用节点序号编码, 使编码简单、直观, 适用于大规模多节点的网络, 且便于交叉和变异操作。

一个染色体个体可以表示为 $c = \{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_n \mid g_i \in V\}$, 其中 g_i 为路径中第 i 个节点的序号。由于每条路径的长度不等, 因此这种编码得出的个体是不等长的。

2.2 混沌初始化种群

混沌序列采用 Logistic 映射:

$$x_{n+1} = 4x_n(1 - x_n) \quad x \in (0, 1) \quad (11)$$

本文利用混沌序列随机生成从源节点到目的节点的 N 条路径个体形成初始种群, N 为种群个体数目。路径个体的生成方法是: 从源节点开始, 通过混沌映射随机选择一个相邻节点, 并将其加入到路径中; 然后从这个选中的节点继续混沌选择下一个相邻节点, 但在将节点加入路径前先判断是否存在回路, 如存在则重新选择新节点; 这样搜索下去直到目的节点为止。

假设可选择的下一跳相邻节点有 M 个, 并由它们组成一个可行节点空间, 且

$$\text{next} = \lfloor M \times x_n \rfloor \quad (12)$$

其中: $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取整, $x \in (0, 1)$ 。则混沌选径的具体方法如下:

根据式(11)将 N 条路径个体生成混沌序列 x_n , 根据式

(12)将生成的混沌序列 x_n 映射到可行节点空间, 则可行节点空间中的第 next 个元素即为选中的下一跳节点。

混沌选径能充分利用混沌序列的遍历性, 在选择路径时遍历每一个可行的节点, 使选径过程具有内在的规律性, 避免简单随机选径带来的不足, 从而提高各生成路径的不相关性, 增加初始种群的多样性, 改善遗传算法过早收敛于局部最优值的早熟现象。

2.3 交叉策略

交叉的方法为单点交叉法。在种群中选择两条路径, 并查找两条路径中的共同节点(源节点和目的节点除外)作为备选交叉节点。如果没有共同节点, 则不进行交叉操作, 因为强制交叉容易产生不存在的无效路径, 降低搜索效率; 否则随机选择一个备选交叉节点作为交叉点, 并交换交叉点之后的子路径。如果交换后的路径中有重复的节点, 则删除重复节点间的链路, 以保证无回路出现。如图 1 所示, 节点 16 为交叉点。

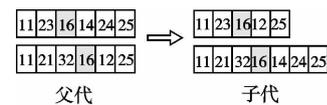


图1 路径交叉策略

2.4 混沌变异规则

为了避免在变异过程中产生不存在的无效路径, 以及维持种群多样性, 采用如下混沌变异方法:

a) 在待变异操作的路径个体中随机选择两个节点 k_s 和 k_d (源节点和目的节点除外), 参照 2.2 节中混沌选径的方法重新找到一条由 k_s 到 k_d 的子路径, 并将该路径替代回原路径中, 形成一个新的路径个体;

b) 若新路径中有重复的节点, 则删除重复节点间的链路, 以保证无回路出现;

c) 比较新路径与原路径的适应度, 若新路径的适应度比原路径大, 则用新路径个体替代原路径个体; 否则保留原路径个体, 结束变异过程。

这种混沌变异规则继续发挥了混沌选径的优点, 保持了迭代过程中种群的多样性。

3 算法步骤描述

根据以上分析, 本文优化算法步骤如下:

a) 初始化网络拓扑、遗传算法及各 QoS 约束条件参数, 并生成网络拓扑图;

b) 利用式(11)(12)的混沌选径方法生成由源节点到目的节点的 N 条路径个体, 形成初始种群;

c) 根据式(2)~(6)分别计算每个个体的带宽、延时、延时抖动及费用;

while N 条路径中存在不满足式(7)的非可行解 do

把非可行路径删除, 并重新用混沌选径生成新路径个体;

end while;

根据式(8)~(10)得出种群个体的适应度;

d) $\text{gen} = 1$;

while $\text{gen} < \text{maxgen}$ do

采用轮盘赌机制选择个体, 形成新种群;

根据交叉策略对个体进行交叉操作;

根据混沌变异规则对个体进行混沌变异操作;

$\text{gen} = \text{gen} + 1$;

计算子代种群中个体的适应度;

end while;

e) 在可行解中选择适应度最大的个体作为本算法的最优解输出。

从而找到了满足 QoS 约束条件且费用最小的路由,算法结束。

其中,gen 为迭代次数,maxgen 为最大遗传代数。

4 算法仿真

本文主要通过以下几点来评价该算法的性能:

a) 与不考虑 QoS 约束的遗传算法最优路径的对比来评价算法的有效性;

b) 与不加混沌优化的 QoS 遗传算法最佳适应度和平均适应度曲线对比来评价收敛速度及稳定性;

c) 在不同迭代次数下找到 QoS 路由最优解的平均成功率来评价算法的全局收敛性。

本文采用 MATLAB7.8.0 进行仿真实验,在 100 m × 100 m 的区域内随机分布 100 个节点,以 20 m 为节点间最大通信距离生成网络的邻接矩阵,并随机形成每条边的带宽、延时和延时抖动的值,其中带宽的随机取值范围为 [1, 10],延时为 [1, 30],延时抖动为 (0, 0.1),网络拓扑如图 2 所示。在实验中,设定种群个体数目 $N=50$,最大遗传代数 $Gen=100$,交叉概率 $P_c=0.7$,变异概率 $P_m=0.1$, $\alpha=1\ 000$, $\beta=0.05$,QoS 最小带宽需求 $B_{min}=2$,允许最大端到端延时 $D_{max}=130$,允许最大端到端延时抖动 $J_{max}=2$ 。

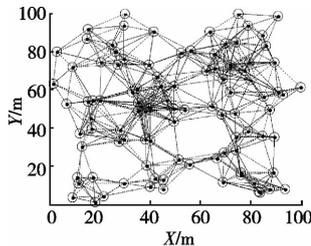


图2 网络拓扑

例 1 当源节点 $s=15$,目的节点 $d=49$ 时,将本文的新型 QoS 混沌遗传算法 (QCGA) 与不考虑 QoS 约束的标准遗传算法 (GA) 搜索到的最优路径进行对比,结果如表 1 所示。

表 1 源节点 $s=15$,目的节点 $d=49$ 时的最优路径

	最优路径	跳数	适应度
QCGA	(15,44,88,89,16,75,73,94,49)	8	125
GA	(15,88,89,55,21,6,49)	6	8.333 3

从表 1 可以看出,尽管 GA 搜索到的最优路径跳数更小,但是路径的适应度很小。因为 GA 没有考虑 QoS 条件的约束,更短的路径是以小带宽、高延时或高延时抖动为代价的。相反,本文 QCGA 搜索的路径适应度高,满足 QoS 约束且跳数最小。因此,本文的 QCGA 算法是可行、有效的。

例 2 选取两节点 54,86 分别为源节点和目的节点,图 3 显示了采用本文 QoS 混沌遗传算法 (QCGA) 和不加混沌优化的 QoS 遗传算法 (QGA) 搜索到的最优路径。图 4 显示了这两种算法的最佳适应度与平均适应度曲线。图 5 为 QCGA 与 QGA 在不同迭代次数下找到最优路径的平均成功率。

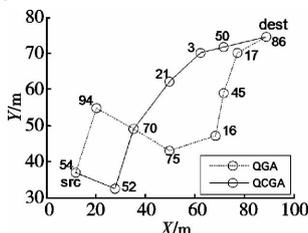


图3 最优路径

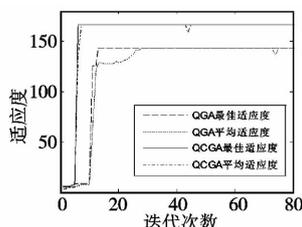


图4 最佳与平均适应度

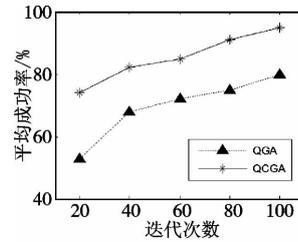


图5 不同迭代次数下的平均成功率

从图 3、4 可以看出,本文 QCGA 算法和 QGA 算法都能找到满足 QoS 路由的可行路径,但 QCGA 明显要优于 QGA。因为 QCGA 找到的路径跳数小、最佳适应度大,是 QoS 路由的最优路径;而且从适应度曲线可以看出 QCGA 的收敛速度快、稳定性好、搜索效率高。

从图 5 中可以看出,本文的 QCGA 算法搜索到 QoS 最优解的平均成功率明显要高于 QGA 算法。在迭代次数为 100 代时,QGA 有 80% 概率找到全局最优解,而 QCGA 找到全局最优解的概率达到 95%。由此可看出,QCGA 算法能有效地解决遗传算法容易陷入局部最优解的缺点,具有良好的全局收敛性;而且 QCGA 算法收敛到全局最优所需的迭代次数少,减少了收敛的时间,具有较高的搜索效率。

5 结束语

本文用提出的新型 QCGA 路由算法来求解包含以带宽、延时、延时抖动为 QoS 约束条件,并保证费用最小的 QoS 路由问题。仿真实验以最优路径的平均成功率、路径最佳适应度及平均适应度为性能指标进行对比分析,证明了本文的新型 QCGA 算法能有效提高遗传算法的收敛性能,利用混沌序列来增加种群的多样性有利于改善遗传算法易早熟、易陷入局部最优的问题,减少了搜索最优路由的迭代次数,提高了算法的效率。

参考文献:

- [1] WANG Z, CROWCROFT J. Quality-of-service for routing supporting multimedia applications [J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1996, 14(7): 1228-1234.
- [2] 邹恩,刘泽华,方仕勇,等. 基于混沌遗传算法的组播路由优化研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 155-157.
- [3] 杨波,宋耀良. 一种新的混沌遗传算法及其在多播路由选择中的应用[J]. 南京理工大学学报, 2004, 28(1): 30-33.
- [4] 岳承君,郑秀萍,井元伟. 基于混沌遗传算法的 QoS 组播路由 [J]. 东北大学学报:自然科学版, 2007, 28(10): 1446-1449.
- [5] 刘萍,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, 24(9): 224-227.
- [6] 陈年生,李腊元,董武世. 基于量子遗传算法的 QoS 路由算法 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(9): 2265-2267.
- [7] 柳贺,黄猛,黄道. 基于混沌搜索的优化方法的研究进展 [J]. 南京理工大学学报, 2005, 29(2): 124-128.
- [8] AHN C W, RAMAKRISHNA R S. A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 6(6): 566-579.
- [9] 周洪伟,原锦辉,张来顺. 遗传算法“早熟”现象的改进策略 [J]. 计算机工程, 2007, 33(19): 201-203.
- [10] FEI Xiang, LUO Jun-zhou, WU Jie-yi, et al. QoS routing based on genetic algorithm [J]. Computer Communications, 1999, 22(15): 1394-1399.