

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.01.016

基于混沌遗传算法的多目标 QoS 组播路由优化

邹恩¹, 蓝江林^{1,2}, 刘泽华¹, 方仕勇¹

(1. 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2. 华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广东 广州 510641)

摘要: 针对遗传算法易发生早熟收敛的缺点, 提出了一种既满足时延、时延抖动及带宽等约束, 又能使通信代价最小的混沌遗传算法。该算法利用混沌扰动算子对种群进行扰动操作, 增加种群的多样性, 抑制遗传早熟收敛的发生, 提高收敛速度。仿真结果表明了该算法的有效性、快速收敛性及稳定性。

关键词: 混沌优化; 遗传算法; QoS 组播路由

中图分类号: TP313.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)01-0070-04

Optimization of Multi-Objective QoS Multicast Routing Based on Chaotic Genetic Algorithm

Zou En¹, Lan Jianglin^{1,2}, Liu Zehua¹, Fang Shiyong¹

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. School of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: To overcome the drawback that the premature convergence is liable to take place in genetic algorithm, a lowest cost chaotic genetic algorithm with delay, delay jitter and bandwidth constraints is proposed. Introducing the chaotic perturbation to operate the population with a perturbation, the proposed algorithm is employed to maintain the diversity of the population in genetic algorithm, thus to overcome the premature and improve the convergence rate. The simulation results show that the proposed algorithm is effective, quick and stable.

Keywords: chaotic optimization; genetic algorithm; QoS multicast routing

0 引言

随着多媒体技术的飞速发展, 网络已成为人们生活和工作中不可缺少的部分。在视频会议、网络教学、远程医疗和网络游戏等大信息网络实时传送中, 都是多个用户同时参与, 需要消耗大量的网络资源, 且基础通信网络需提供满足服务质量 (quality

of service, QoS) 的组播服务^[1], 因此, 多目标 QoS 组播路由引起了人们的广泛关注。从路由的角度来说, 多目标 QoS 组播路由问题是找到能满足所要求的 QoS 目标的最优组播树问题^[1-3]。目前, 已有多种算法解决多目标 QoS 组播路由问题, 其中的遗传算法在全局优化中取得了较好成绩^[4], 是该领域中较常用的一种方法。但是, 遗传算法依赖于初始条件,

收稿日期: 2011-08-02

基金项目: 国家 863 计划基金资助项目 (2006AA10Z262), 广东省科技厅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), 广东省大学生创新基金资助项目 (1056410009)

作者简介: 邹恩 (1956-), 女, 湖南株洲人, 华南农业大学教授, 博士, 主要从事神经网络, 模糊控制, 混沌优化及多目标 QoS 组播路由的智能优化方面的研究, E-mail: zouen10@scau.edu.cn

通信作者: 蓝江林 (1986-), 男, 广东汕头人, 华南理工大学硕士生, 主要研究方向为混沌优化, E-mail: lanjianglin@126.com

如果初始值选取不当,在进化过程中交叉算子产生新个体的能力会降低,使得种群的多样性减少,最优个体的适应度值得不到提高,最终会产生早熟现象。

混沌是一种普遍存在的非线性现象,看似混乱,却有着精致的内在结构,其行为复杂且类似随机,但存在固有的内在规律性,具有随机性、遍历性、规律性等独特性质^[5],所以适合用于全局优化。本文针对遗传算法容易陷入早熟的缺点,将混沌优化嵌入遗传算法中,对遗传算法的适应度函数值进行混沌优化,并在优化过程中利用混沌扰动算子对种群进行扰动操作来增加其多样性,抑制遗传早熟收敛的发生,提高系统收敛速度。

1 数学模型描述

在研究路由问题时,将通信网络看成是一个有向加权图 $G=(V, E)$ ^[6],其中 V 表示网络结点集合, E 表示网络链路集合。考虑一般性,本文假定网络中任意一对结点之间最多只存在一条链路,源结点 $s \in V$ 和组成员结点集合 $D \subset V$, 集合 T 为图 G 中源结点 s 连接到所有组成员结点 $d_i \in D$ 的所有组播树集合。给定一棵组播树 $t \in T$, $e(i, j) \in t$ 是组播树 t 中的一条边, $p_i \in t$ 是组播树中从 s 通往组成员结点 d_i 的路径,可定义组播树的 QoS 参数如下:

$$\text{bandwidth}(t) = \min\{\text{bandwidth}(e(i, j)), e(i, j) \in t\}; \quad (1)$$

$$\text{delay}(p_i) = \sum_{e(j, k) \in p_i} \text{delay}(e(j, k)); \quad (2)$$

$$\text{delay}(t) = \max\{\text{delay}(p_i), d_i \in D\}; \quad (3)$$

$$\text{cost}(t) = \sum_{e(j, k) \in t} \text{cost}(e(j, k)). \quad (4)$$

式中: $\text{bandwidth}(e(i, j))$ 表示链路 $e(i, j)$ 的带宽;

$\text{delay}(e(i, k))$ 表示链路 $e(i, k)$ 的时延;

$\text{delay}(p_i)$ 表示路径 p_i 的时延;

$\text{cost}(e(i, k))$ 表示链路 $e(i, k)$ 的代价。

由以上定义,多目标 QoS 组播路由问题可描述为线性规划模型,如式(5)所示:

$$F = \min\{\text{cost}(t)\};$$

$$\begin{cases} \text{bandwidth}(t) \geq B_{\min}; \\ \text{delay}(t) \leq D_{\max}; \\ |\text{delay}(p_i) - \text{delay}(p_j)| \leq \delta_c \end{cases} \quad (5)$$

式中: B_{\min} 为最小带宽约束;

D_{\max} 为最大时延约束;

δ 为 2 条到达组播结点的路径时延之差,即时延抖动的上限边界值。

式(5)说明多目标 QoS 组播路由问题需满足最小带宽、最大时延和最大时延抖动等限制条件,以最小网络通信代价为优化目标的线性规划模型。

2 算法设计与实现

2.1 编码和初始种群的生成

根据网络路由的特点和遗传算法的编码原则,本文采用对给定的一个源结点和一组目的结点序列编码,群体中的每个染色体代表一棵组播树,对于组播树中的路径,以该路径经过的物理结点标识号作为其编码值。

初始种群根据种群规模的大小随机生成,具体实现方法是:

1) 对每个目的结点 $d \in D$, 利用 Dijkstra 最短路径算法求出源结点 s 到目的结点 d 的所有满足最大时延限制 D_{\max} 的路径,组成路径集;

2) 分别从每个路径集中选择一条路径组成一棵组播树,作为初始群体的染色体。显然,这样构成的组播树覆盖了所有目的结点,并能满足最大时延限制条件。

2.2 适应度评估

适应度是反映被选个体性能的指标,性能好(即满足式(5)的约束条件)的个体适应度值大,反之,性能差的个体则适应度值小。本文采用的适应度函数为

$$\text{fitness}(i) = 1 / (A_0 * R(i) + B_0), \quad (6)$$

式中: A_0, B_0 为常数;

$R(i) = B(i) * D(i) * C(i)$, 为该路径的资源消耗函数, $B(i), D(i), C(i)$ 分别对应于该路径上的带宽、时延和代价。

2.3 混沌优化

混沌优化的基本思想是:先将待优变量从解空间映射到混沌空间,成为混沌变量;然后,利用混沌变量的运动特点,在定义域内依次遍历各点并进行比较,以较优点作为当前最优点,再以此点为中心,施加一混沌小扰动;最后,在小范围内进行细搜索,直至找到最优点^[7-9]。混沌遍历具有地毯式搜索的特点,因此,可进行全局优化搜索,且能避免陷入局部极小。只要遍历的时间足够长,就能在混沌遍历轨迹上找到任意精度的最优解。

本文采用的混沌扰动算子为 Logistic 映射,即

$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n), n = 0, 1, \dots, N; x_0 \in (0, 1), \quad (7)$$

式中: n 为混沌变量优化的次数;

μ 为控制参数。

当 $\mu=4$ 时, Logistic映射是 $(0, 1)$ 区间上的满映射, 系统处于混沌状态, 且 x_n 在 $(0, 1)$ 区间范围内遍历, 产生混沌变量序列。

2.4 遗传操作

遗传操作是对选择的个体进行交叉和变异操作, 产生继承优良特性的下一代, 这样不断地朝更优解的方向进行, 直到满足条件为止。

本文首先对混沌优化和轮盘赌选出的个体, 采用概率 p_c 进行交叉操作, 得到新的个体, 然后对新的个体采用概率 p_m 进行变异操作。若迭代代数没有到设定值, 就从变异操作后的解集中, 找出适应度函数值最大的染色体, 再从染色体集中找到满足网络时延、时延抖动和带宽等约束条件, 及通信代价最小的有效路径, 即最佳路由。最佳路由是该路由起点到路由终点两点间的最佳组播路由, 是算法搜索的目标。

2.5 算法实现步骤

根据以上分析, 基于混沌遗传算法的多目标 QoS 组播路由优化步骤如下:

- 1) 编码并生成初始化群体, 输入遗传算法的相关参数。
- 2) 根据公式(1)~(4)分别计算网路的带宽、

时延和代价, 再判断其是否满足式(5)的约束条件。若满足, 则计入可行解集, 再利用适应度函数计算其适应度值; 否则为不可行解。

3) 采用式(7)对可行解集的适应度值进行混沌优化, 选出适应度值最大的个体, 放到要进行遗传操作的个体集中。

4) 通过轮盘赌对可行解集的个体进行选择, 放到要进行遗传操作的个体集中。

5) 对要进行遗传操作的个体集采用概率 p_c 和 p_m 进行交叉和变异操作, 生成新一代种群, 并求出相应的适应度值。

6) 若满足迭代条件, 从新一代种群中选出适应度值最大的个体, 即为最优解; 否则转到步骤3)。

3 仿真结果与分析

在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的空间内, 随机生成一个源结点和多个目的结点的网络, 并随机生成各边的带宽和时延, 其中带宽的取值范围为 $[1, 15]$ 之间的整数, 时延的取值范围为 $[1, 25]$ 之间的整数, 初始种群为100, 遗传代数为100, 交叉概率 $p_c=0.75$, 变异概率 $p_m=0.05$ 。遗传算法和混沌遗传算法的仿真实验结果如图1和图2所示。

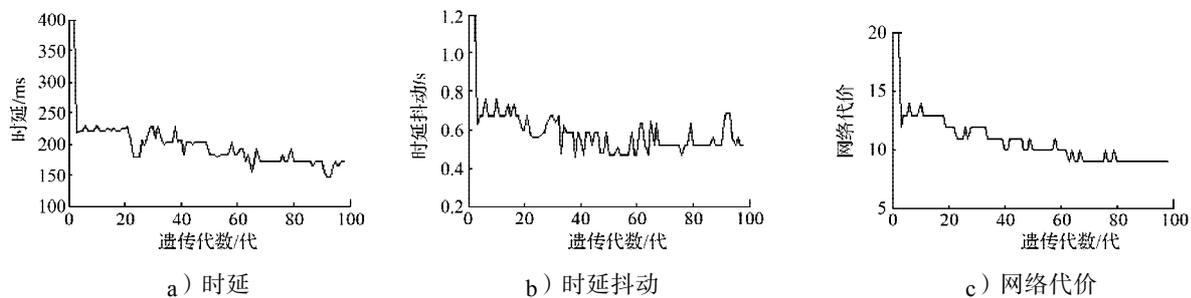


图1 遗传算法实验结果

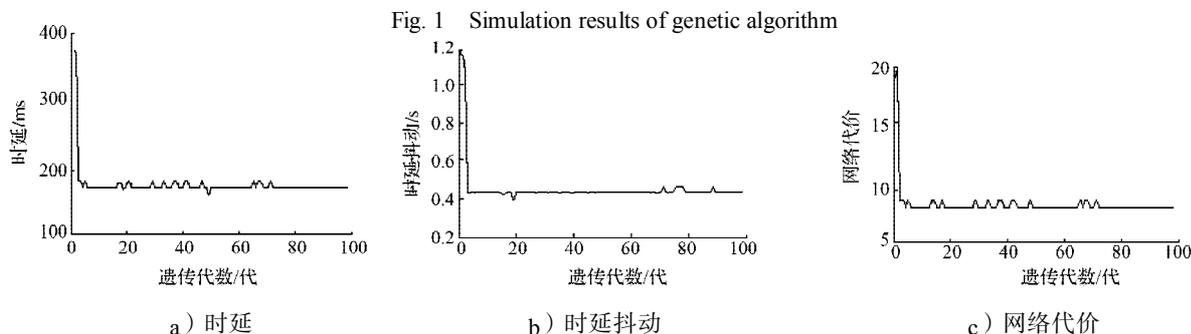


图2 混沌遗传算法实验结果

Fig. 2 Simulation results of chaotic genetic algorithm

2种算法的实验结果对比表明: 混沌遗传算法运行时的时延、时延抖动和网络代价都较小, 在收敛性、收敛速度、稳定性等方面也较优。这一结果说

明混沌遗传算法能有效地解决遗传算法中出现的早熟收敛问题。

4 结语

针对遗传算法在多目标QoS组播路由中,易发生早熟收敛的问题,本文将混沌扰动引入遗传算法中。这样,既有效地克服了遗传算法的早熟收敛缺陷,又能快速地搜索到全局最优解(即最佳路由),满足了时延、时延抖动和带宽等约束,使通信代价最小,提高了算法效率。仿真实验结果表明了所提出方法的有效性。

参考文献:

- [1] 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): 1446-1448.
Yue Chengjun, Zheng Xiuping, Jing Yuanwei. QoS Multicast Routing Based on Chaotic Genetic Algorithm[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2007, 28(10): 1446-1448.
- [2] 孙倩,王新华,刘丽.QoS组播路由算法分析[J].计算机技术与发展,2009,19(8): 96-99.
Sun Qian, Wang Xinhua, Liu Li. An Analysis of QoS Multicast Routing Algorithms[J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(8): 96-99.
- [3] 王兴伟,赵志杰,黄敏.一种基于混合混沌遗传算法的QoS组播路由算法[J].计算机工程与应用,2006,42(23): 112-114.
Wang Xingwei, Zhao Zhijie, Huang Min. A Hybrid-Chaotic-Genetic-Algorithm-Based QoS Multicast Routing Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(23): 112-114.
- [4] 石坚,邹玲,董天临,等.遗传算法在组播路由选择中的应用[J].电子学报,2000,28(5): 88-89.
Shi Jian, Zou Ling, Dong Tainlin, et al. The Application of Genetic Algorithm in Multicast Routing[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(5): 88-89.
- [5] 邹恩,李祥飞,陈建国.混沌控制及其优化应用[M].长沙:国防科技大学出版社,2002: 10-11.
Zou En, Li Xiangfei, Chen Jianguo. Chaotic Control and Its Optimized Application[M]. Changsha: National University of Defence Technology Press, 2002: 10-11.
- [6] 石钊,葛连升.一种解多QoS约束组播问题的改进蚁群算法[J].山东大学学报:理学版,2007,42(9): 41-45.
Shi Zhao, Ge Liansheng. Modified Ant Colony Algorithm for the Multi-QoS Constraint Multicast Routing Problem [J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2007, 42(9): 41-45.
- [7] 潘达儒,杜明辉.混沌遗传算法在IP网络组播路由中的应用[J].计算机工程,2005,31(23): 11-13.
Pan Daru, Du Minghui. Applications of Chaotic Genetic Algorithm in Multicast Routing of IP Networks[J]. Computer Engineering, 2005, 31(23): 11-13.
- [8] 杨波.基于混沌理论的遗传算法改进及应用研究[D].南京:南京理工大学,2003: 28-32.
Yang Bo. Improvement and Application of Genetic Algorithms Based on Chaos Theory[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2003: 28-32.
- [9] Feng Xiang, Li Junzhou, Wang Jieyi, et al. QoS Routing Based on Genetic Algorithm[J]. Computer Communications, 1999, 22(15/16): 1392-1399.

(责任编辑:邓彬)