

基于混沌遗传的 Ad Hoc 网络组播路由算法

刘泽华, 邹 恩, 方仕勇, 辛建涛, 林锦钱

(华南农业大学工程学院自动化系, 广州 510642)

摘 要: 针对移动 Ad Hoc 网络(MANETS)的 QoS 组播路由优化问题, 提出一种基于混沌遗传的组播路由算法。利用混沌变量的遍历性特点对遗传算法的适应度函数进行优化, 避免遗传算法出现早熟现象。仿真实验结果表明, 该算法具有较好的收敛性和稳定性, 能解决多 QoS 约束下 MANETS 的组播路由问题。

关键词: 混沌; 遗传算法; Ad Hoc 网络; QoS 组播路由; 适应度函数

Multicast Routing Algorithm in Ad Hoc Networks Based on Chaos Genetic

LIU Ze-hua, ZOU En, FANG Shi-yong, XIN Jian-tao, LIN Jin-qian

(Automation Department, College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

【Abstract】 This paper proposes a multicast routing algorithm in Ad Hoc networks based on chaos genetic to solve the problem of QoS multicast routing in Mobile Ad Hoc Networks(MANETS). The ergodicity advantage of chaotic variables optimizes the fitness function of genetic algorithm, and effectively avoids the appearance of premature. Simulation results show that the algorithm converges fast and effective, has excellent stability, and solves the problem of multi-QoS constraints of MANETS multicast routing effectively.

【Key words】 chaos; genetic algorithm; Ad Hoc networks; QoS multicast routing; fitness function

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.19.060

1 概述

无线移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Networks, MANETS)是由一组带有无线收发装置的移动节点所组成的一个临时性多跳自治系统, 具有动态变化的拓扑结构、无中心和自组织等特性, 通过在各自通信范围内的移动单元之间的相互协作来完成组网和数据传输等任务^[1]。自组网不需要固定基础通信设施的支持, 具有可移动性、组网灵活、扩展能力强、抗毁性强、投资少等优点, 是目前网络研究中的热点问题。不少学者成功地提出了一些 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议, 文献[2]介绍了 TBP 路由协议、LBRM 路由协议和 ODMRP 路由协议, 文献[3]提出了 QMRP 路由协议等。但这些 QoS 路由协议均以链路代价(费用)作为第 1 度量, 而多播路由过程都是建立在满足多约束条件下代价最小的多播树, 即只考虑代价最优的算法不能保证网络其他资源利用的最优, 所以, 上述 QoS 路由协议不能真实地反应网络路由。

随着移动 Ad Hoc 网络应用的日益扩大, 分布式的实时应用除了要求网络具有多播能力外, 还要求有服务质量保证, 比如要求保证一定的带宽要求, 满足端到端的延迟、通信代价最小等不同 QoS 约束下的最佳路由方案^[4]。这就对移动 Ad Hoc 网络的应用提出了新的要求, 即具有多 QoS 约束^[5]。文献[6]证明了基于多个不相关可加度量的 QoS 组播路由问题是 NP 完全问题。一般对该问题的解决采用启发式算法, 但由于算法运算开销过大, 不能应用到大规模的网络中去, 研究者们探索把智能算法引入到无线网络的 QoS 组播路由问题的求解之中。文献[1,7]分别提出了基于蚁群算法、遗传算法的无线网络 QoS 组播路由问题, 且取得了较好的收敛性, 但由于蚁群算法的初始信息素匮乏及遗传算法的早熟现象, 影响了路由算法的收敛速度、最优路径的选取。文献[8]提出了一

种混合遗传算法求解无线网络组播路由问题, 该算法将蚁群算法与遗传算法相结合, 使用遗传算法生成信息素分布, 再利用蚂蚁算法求出全局最优解, 这样就能有效提高找出最短路由的速度。文献[9]将混沌与遗传算法相结合优化有线网络组播路由, 有效地克服了早熟问题。而将混沌优化理论应用于无线通信网络、Ad Hoc 网络的 QoS 组播路由算法的研究目前处于起步阶段, 相关研究并不多见。

本文考虑到移动 Ad Hoc 网络与传统有线网络的区别及自身固有的特点, 在已有研究有线网络 QoS 组播路由的基础上, 将具有遍历性特征的混沌优化引入到遗传算法之中, 利用混沌变量对遗传算法的适应度函数值进行优化, 相当于对种群进行扰动操作来增加种群的多样性, 此外混沌遍历性搜索特点可以抑制遗传算法早熟发生, 从而提高算法的收敛速度。

2 移动 Ad Hoc 网络模型与 QoS 路由问题描述

在研究移动 Ad Hoc 网络 QoS 组播路由时, 结合实际通信状态, 本文做如下相关约定:

(1) 在 Ad Hoc 网络中每个移动节点都有一个唯一的标识, 并且都有 GPS 的支持。

(2) 各个节点的有效发射距离相等设为 r , 任意 2 个节点

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)

作者简介: 刘泽华(1986—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 组播路由, 混沌优化; 邹 恩(通讯作者), 教授、博士; 方仕勇、辛建涛、林锦钱, 硕士研究生

收稿日期: 2011-04-29 **E-mail:** zouen63@yahoo.com

v_i, v_j 之间的距离为 $d(v_i, v_j)$, 若 $d(v_i, v_j) \leq r$, 则在彼此的发射范围之内, 称它们为相邻节点, 并且它们之间存在一条链路相连, 否则不相邻, 即无链路存在。

(3) 由于节点和链路在延时、代价、延时抖动等 QoS 约束方面具有等价性, 因此讨论中只考虑链路的延时、代价、延时抖动等 QoS 约束。

移动 Ad Hoc 网络可以通过有向连通图 $G(V, E)$ 来构造其网络模型, 其中, V 表示网络中的节点集; E 表示节点间能相互通信的双向链路集; $|V|$ 和 $|E|$ 分别表示节点数和链路数。设置相关 QoS 参数用于描述链路的状态。设 $P(s, d)$ 表示从源节点 s 到目的节点 d 的路径, $T(s, D)$ 表示一棵组播树, PTe 表示组播树的所有路径。 $s \in V$ 为组播树的源节点, $D \subseteq V - \{s\}$ 为组播树的目的节点集, $\{s\} \cup D$ 表示组播组, $R+$ 为实数集。

针对移动 Ad Hoc 网络的相关特性, 对于任一链路 $e \in PTe$ 。定义 4 种 QoS 特征值函数:

延时函数: $delay(e): E \rightarrow R+$

代价函数: $cost(e): E \rightarrow R+$

带宽函数: $bandwidth(e): E \rightarrow R+$

延时抖动函数: $delay_jitter(e): E \rightarrow R+$

其中, 延时函数、代价函数、延时抖动函数是加性 QoS 度量, 带宽函数为凹性 QoS 度量。

定义 1 整棵组播树的 4 种 QoS 度量构成如下:

$$delay(p(s, d)) = \sum_{e \in PTe} delay(e) \quad (1)$$

$$cost(p(s, d)) = \sum_{e \in PTe} cost(e) \quad (2)$$

$$bandwidth(p(s, d)) = \min(bandwidth(e), e \in PTe) \quad (3)$$

$$delay_jitter(p(s, d)) = \sum_{e \in PTe} delay_jitter(e) \quad (4)$$

定义 2 设 Δ 为加性 QoS 度量延时函数 $delay(e)$ 约束, θ 为加性 QoS 度量延迟抖动函数 $delay_jitter(e)$ 约束, ε 为凹性 QoS 度量带宽函数 $bandwidth(e)$ 约束。而对于加性 QoS 度量代价函数 $cost(e)$ 的约束, 定义为整棵组播树上所有链路代价之和的最小值。QoS 路由问题就是寻找一条有足够资源、能满足一个或多个 QoS 约束的可行路径, 因此, 组播多约束的 QoS 路由问题演化为找出满足以下条件的组播树:

$$\begin{cases} delay(p(s, d)) \leq \Delta \\ \min(cost(p(s, d))) \\ bandwidth(p(s, d)) \geq \varepsilon \\ delay_jitter(p(s, d)) \leq \theta \end{cases} \quad (5)$$

定义 3 对于 Ad Hoc 网络 $G(V, E)$ 中 $\forall e(i, j) \in E$, 若满足式(6), 则称 $e(i, j)$ 为可行链路:

$$\begin{cases} delay(i) + delay(e(i, j)) \leq \Delta \\ bandwidth(e(i, j)) \geq \varepsilon \\ delay_jitter(i) + delay_jitter(e(i, j)) \leq \theta \end{cases} \quad (6)$$

定义 4 对于 Ad Hoc 网络 $G(V, E)$ 中, 源节点 s , 目的节点 $d \in D$, 在 s 与 d 之间满足式(6)即为可行路径的前提下, 若代价最小, 则 $P(s, d)$ 为节点 s 与节点 d 之间的最佳路径。

3 混沌遗传组播路由算法

3.1 混沌优化

混沌是存在于非线性系统中的一种普遍现象。混沌运动具有遍历性、随机性、规律性等特点, 能在定义域内按其自

身规律不重复地遍历所有状态, 混沌遍历性的地毯式搜索特点可以用来进行全局优化搜索且能避免陷入局部极小^[10]。

本文采用 logistic 映射, 其表达式如下:

$$x_{n+1} = 4x_n(1-x_n), x \in (0, 1) \quad (7)$$

取任意初始值, logistic 映射迭代 200 次的混沌轨道如图 1 所示。

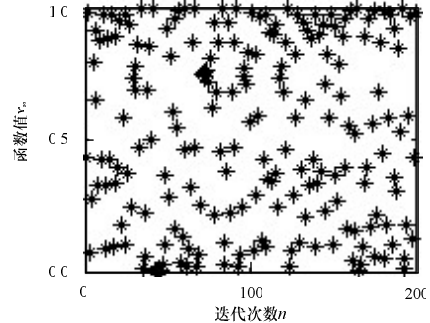


图 1 logistic 映射轨道图

由图 1 可以看出, logistic 映射具有很好的随机性、遍历性、规律性, 轨道布满整个混沌吸引子区域, 有效地避免了问题的解陷入局部最优值。

3.2 混沌遗传算法

遗传算法作为一种全局优化搜索算法, 以其简单通用、鲁棒性强、适用于并行处理等特点, 已广泛应用于 QoS 组播路由优化之中, 但由于遗传算法自身的不足, 如个体初始值选取不好、有效基因丢失等会造成算法过早收敛到局部最优解, 即早熟现象的出现, 从而影响最佳组播路由的选取, 降低路由算法的有效性、准确性。本文通过在遗传算法中引入混沌优化算法, 有效地克服了遗传算法早熟现象, 提高了算法的效率。

为了在同时满足 3 个 QoS 约束条件的前提下网络通信费用最少, 本文所采用的适应度函数如式(8)所示:

$$fitness(i) = \begin{cases} 0 & \begin{cases} delay(p(s, d)) > \Delta \\ bandwidth(p(s, d)) < \varepsilon \\ delay_jitter(p(s, d)) > \theta \end{cases} \\ 1/cost(i) & \begin{cases} delay(p(s, d)) \leq \Delta \& \\ bandwidth(p(s, d)) \geq \varepsilon \& \\ delay_jitter(p(s, d)) \leq \theta \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

其中, $cost(i)$ 为第 i 棵组播树的费用。

3.3 混沌遗传算法实现

根据以上分析, 混沌遗传算法的优化过程可描述如下:

Step1 初始化网络拓扑相关参数, 生成网络拓扑图。根据式(5)中带宽约束进行预处理, 生成新的网络拓扑图。

Step2 初始化组播路由的源节点、目的节点以及带宽、延迟、延迟抖动等 QoS 约束条件, 初始化遗传算法的种群个数、迭代代数、交叉概率、变异概率。

Step3 使用 `crtrouterp` 方法随机生成初始种群, 其中 `randpath` 方法用于产生一条随机路径即种群中的一个个体。

Step4 使用 `chrom_fitness` 方法根据式(1)~式(4)分别计算其延时、带宽、费用、延时抖动值, 根据式(6)判断路径是否可行, 若可行则再根据式(8)计算初始种群的适应度值, 否则为不可行路径。

Step5 选择初始种群中的最优值。利用式(7)对初始种群适应度函数值进行混沌优化, 得到最大 $fitness$ 值个体, 直接

遗传到子代种群中, 其余的个体则采用赌轮选择机制进行选择。

Step6 使用轮赌盘选择种群中剩余的优秀个体进行交叉变异操作。

Step7 使用单点交叉法, 用交叉概率 pc 进行交叉操作, 生成新的个体存于 Chrom_new 中。

Step8 在 Chrom_new 中对交叉操作产生的个体随机选取一个节点采用变异概率 pm 进行变异操作, 生成新个体存于 Chrom_new 中。

Step9 计算 Chrom_new 中种群的适应度值。按照式(5)的 QoS 约束条件, 选出可行解。

Step10 如果遗传代数达到设定值, 则算法转 Step11, 否则转 Step6。

Step11 在可行解中, 选出 fitness 值最大的染色体 $fitness(i)$ 作为最优解输出。从而找到了满足带宽、延时、延时抖动的 QoS 约束且费用最小的组播树, 即最佳路由, 算法结束。

4 算法仿真

为了研究本文的混沌遗传算法在移动 Ad Hoc 网络中路由的性能, 本文主要从算法的最大适应度值和平均适应度值的收敛情况, 以及是否能成功找到最佳路由进行了验证, 采用 Matlab 进行仿真验证。随机地在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的虚拟区域内产生 101 个节点, 网络拓扑图如图 2 所示。

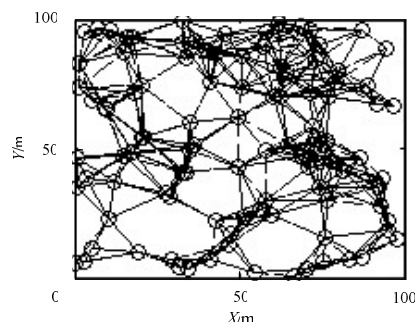


图2 网络拓扑图

任意 2 个节点的有效通信距离 $r=15\text{ m}$, 并由此生成整个网络的一个邻接矩阵; 然后在带宽的取值范围是 $[1, 10]$ 之间的整数、延时的取值范围是 $[1, 30]$ 之间的整数、延时抖动的取值范围是 $(0, 0.1)$ 之间的小数的条件下, 随机生成每条边的带宽、延时及延时抖动的值。

随机选取一个源节点, 多个目的节点, 在种群数为 50、最大遗传代数为 100、交叉概率为 0.7、变异概率为 0.05 的条件下, 通过仿真实验, 生成的移动 Ad Hoc 网络最短路径即最佳路由, 如图 3 所示。本文基于混沌遗传算法的最大适应度值及平均适应度值如图 4 所示; 基于遗传算法的最大适应度值及平均适应度值如图 5 所示。由图 3 可以看出, 本文算法能成功找到从指定源节点到目的节点且满足多 QoS 条件约束的最短路径, 即最佳路由。通过与图 5 的遗传算法无线 Ad Hoc 网络的 QoS 组播路由相对比, 图 4 清晰地说明, 本文的混沌遗传算法能快速高效地收敛到最佳路由, 同时避免了遗传算法容易陷入早熟的缺陷, 且收敛后算法稳定性好, 从而可证明本文所提算法由于混沌的全局遍历性及快速、稳定收敛性等使得算法在时间复杂度及空间复杂度方面优于基于遗传算法的 QoS 组播路由算法; 由图 4 与图 5 的对比可知, 本文算法在效果性能方面要明显优于图 5 所提算法。综上所述, 从理论和实验结果上证明了本文的混沌遗传算法能快速路由

成功, 且收敛后稳定性良好。

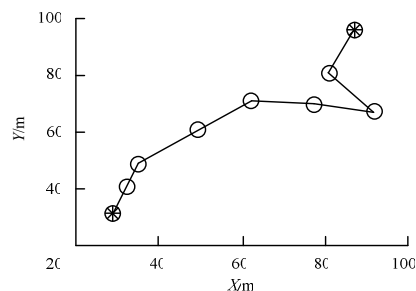


图3 最佳路由图

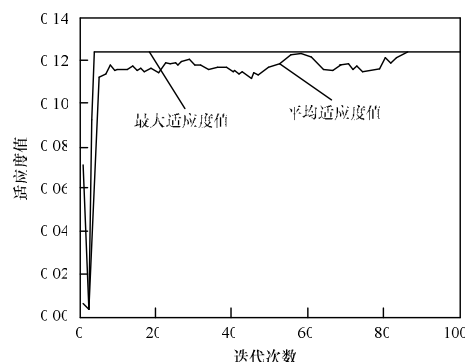


图4 混沌遗传算法最大及平均适应度值曲线

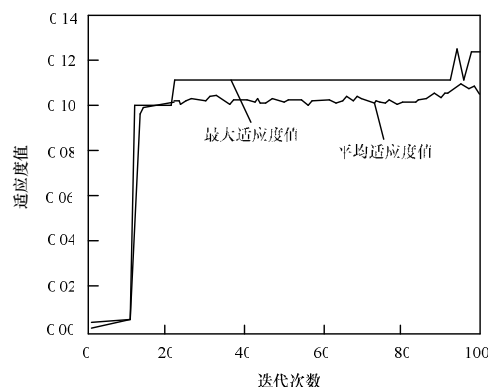


图5 遗传算法最大及平均适应度值曲线

5 结束语

本文通过在遗传算法中引入混沌优化算法, 并应用于移动 Ad Hoc 网络的 QoS 组播路由之中, 利用混沌映射的全局及局部遍历性优点, 成功地克服了遗传算法由于自身固有原因而引起的早熟现象, 比单纯遗传算法收敛速度更快, 收敛后具有更好的稳定性, 有效地解决了移动 Ad Hoc 网络的 QoS 组播路由问题, 为 Ad Hoc 网络路由算法的发展做出了贡献。

参考文献

- [1] 向阳, 李腊元, 孙 强, 等. Ad Hoc 网络基于蚁群的按需路由算法研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通工程与科学版, 2007, 31(2): 251-254.
- [2] 陈年生, 李腊元, 向 阳. 移动自组网 QoS 路由协议研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2004, 28(3): 349-352.
- [3] Li Layuan, Li Chunlin. A QoS Guaranteed Multicast Routing Protocol[J]. Computer Communications, 2004, 27(1): 59-69.
- [4] 李 飞, 候惠芳. 基于 GA 的多约束条件 QoS 组播路由算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(16): 198-200.

(下转第 193 页)