

蚁群—遗传算法的无线传感器网络路径优化

莫桂江

(广西现代职业技术学院, 广西 河池 547000)

摘 要: 为了提高无线传感器网络路径优化效率, 快速找到最优路径, 提出基于蚁群—遗传算法的传感器路径优化方法. 利用遗传算法的快速全局搜索能力和蚁群算法的正反馈机制, 实现了两种算法的融合. 仿真结果表明, 蚁群—遗传算法在时间和性能上都优于单独的蚁群算法和遗传算法, 能快速找到无线传感器网络最优路径, 有效延长了网络的生命周期.

关键词: 无线传感器网络; 遗传算法; 蚁群算法; 网络路径

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2011)09—0139—04

Wireless Sensor Network Path Optimization Based on Ant Colony—Genetic Algorithm

MO Gui-jiang

(Modern College of Guangxi, Hechi 547000, China)

Abstract: In order to improve the wireless sensor network path optimization efficiency, quick to find the optimal path, based on ant colony—genetic algorithm sensor path optimization method. Using genetic algorithm is proposed to fast the global search ability and ant colony algorithm for positive feedback mechanism, to realize the integration of the two algorithm. Simulation results show that the ant colony—the genetic algorithm in time and performance is better than the single ant colony algorithm and genetic algorithm, can quickly find wireless sensor network optimal path, prolong the network lifetime.

Key words: wireless sensor network; genetic algorithm; ant colony algorithm; network path

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)综合了嵌入式技术、无线通信技术、传感器技术和分布式信息处理技术等, 由大量能量有限传感器节点以多跳自组织方式形成一个无线网络, 其在生物医疗、环境监测、军事国防等领域具有十分广阔的应用前景^[1].

相对于传统无线网络, 无线传感器网络上节点能量有限, 且不能更换, 因此降低能耗是无线传感器网络的核心问题. 由于在无线传感器网络, 数据传输消耗能量较多, 即找到一条源节点到目标节点数据传输最优路径成为重要, 使无线传感器网络生命周

期最大化^[2]. 由于传感器节点能量有限, 路径优化设计不仅考虑数据传输路径的长度, 还要考虑节省能量和网络能量均衡等问题, 因此无线传感器网络路径优化是一个典型多目标优化问题^[3-5].

为解决无线传感器网络路径优化过程存在难题, 文中结合蚁群算法和遗传算法的优点, 提出一种蚁群—遗传网络路径优化算法. 通过具体仿真实验对蚁群—遗传网络路径优化算法的性能进行验证, 验证其有效性.

2 无线传感器网络路径优化问题的描述

首先在对无线传感器网络作如下假设:

(1) 每一个传感器节点都有唯一的 ID 号.

(2)无线传感器网络节点分布于二维空间,每一个传感器节点传输功率和通信能力相同。

(3)每一个传感器节点初始能量相等,节点一时部署好后,就不能移动。

在无线传感器网络中,收集到监测数据的传感器节点作为路径优化的源节点,数据经过多跳方式汇聚到汇聚节点,汇聚节点传送到基站,基站作为目标节点^[6]。将无线传感器网络抽象成一个无向赋权图 $G = \langle V, E \rangle$, V 表示无线传感器网络节点集, E 表示节点间通信链路集,分别表示如下:

$$V = \{V_{\text{head}}, v_1, v_2, \dots, v_n\} \quad (1)$$

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \quad (2)$$

其中, V_{head} 表示 G 的簇头节点, v_i 表示该簇内的其他感知节点。

设 λ_0 表示 V 中各节点的有效传输距离,那么有:

$$E = \{e_i \mid D(v_j, v_k) \leq \lambda_0, v_j, v_k \in V\} \quad (3)$$

若无线网络传感器节点 i 和 j 之间是否可以有效链连通路,可能采用如下式表示:

$$\begin{cases} L(i, j) = L(j, i) = 1 & \text{构成有效链路} \\ L(i, j) = L(j, i) = 0 & \text{不构成有效链路} \end{cases} \quad (4)$$

无线传感器网络的路径优化就是找到一条源节点和目标点之间数据传输路径最短,消耗能量最少,网络生命周期最长的路径,是一个多目标优化问题。采用传统穷尽法进行寻优,花费时间长,难以满足现代无线传感器网络通信的实时性要求,采用单一群智能算法均存在各自的缺陷,难以找到最优网络路径。文中结合蚁群算法和遗传算法优点,将两者结合起来,形成一种功能强大的无线传感器网络路径优化算法,从而获得最优的无线传感器网络路径。

3 无线传感器网络路径优化算法

3.1 蚁群算法和遗传算法融合的基本思想

蚁群算法是通过信息素不断积累和更新找到最优解,具有并行全局、分布式搜索能力,但其初期信息素的十分缺乏,导致算法求解速度缓慢,从而影响算法的整体性能^[7]。遗传算法具有全局搜索能力,搜索速度快,对于大规模数据的最优目标求解优势明显,但不能利用系统的反馈信息,当求解到一定范围时,会产生大量冗余迭代,导致算法整体求解效率比较低^[8]。通过对蚁群算法和遗传算法研究,发两者的总体态势如图 1 所示。

从图 1 可知, t_a 是一个时间分隔点,在 t_a 以前(搜索前期)蚁群算法速度缓慢,但是在 t_a 之后,收

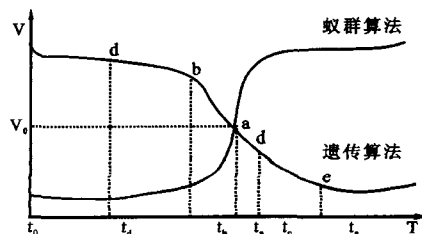


图 1 蚁群算法和遗传算法的时间—速度曲线

敛速度显著提高。而遗传算法在之间收敛速度很快,然而在 t_a 之后,最优解的效率显著降低。根据对两种算法优缺点分析,文中利用两者优势实现互补。蚁群算法和遗传算法融合的基本思想为:首先利用遗传算法全局、群体性、快速搜索等优点产生无线传感器路径优初始解,并将其转化为蚁群算法的初始信息素,然后利用蚁群算法的高效收敛的优势和正反馈机制获得路径最优解,这样既发挥蚁群算法和遗传算法在寻优过程中各自的优势,同时克服了蚁群算法初始信息素缺乏和遗传算法最优解搜索效率低的不足问题。将遗传算法与蚁群算法相融合的算法称为蚁群算法—遗传,其算法的实现过程如图 2 所示。

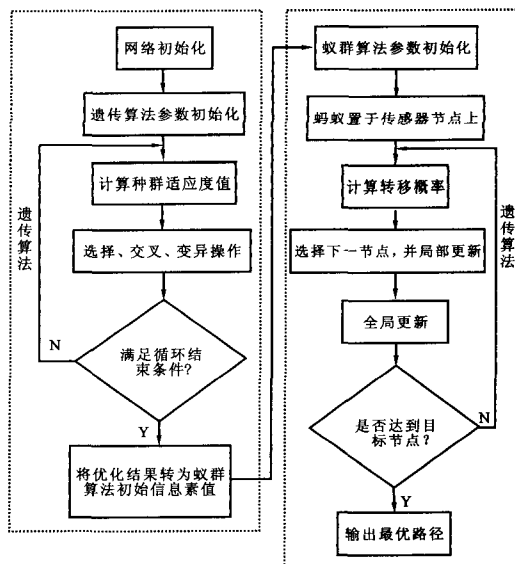


图 2 蚁群—遗传算法工作流程

3.2 蚁群—遗传算法

3.2.2 遗传算法设计

(1) 染色体编码

染色体编码方式直接决定了无线传感器网络路径优化效率和效果,无线传感器网络通信的路径是由节点序列组成,因此采用浮点编码方式。设源传感器节点为: $P_1 = (x_1, y_1)$, 目标传感器节点为: $P_n = (x_n, y_n)$, 那么路径可以描述为:

$$\begin{aligned} \text{Path} &= [P_1, P_2, \dots, P_n] \\ &= \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\} \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 适应度函数

无线传感器节点能量很有限,因此进行适应度函数设计需要同时考虑路径长度、节点能量消耗和整个网络能量均衡等情况,尽量使用剩余能量多的节点进行通信,避免使用能量较少的节点,这样可以使网络能量消耗尽量平衡,延长整个网络生存周期.一条由 n 个传感器节点组成的可行路径的适应度函数为:

$$f(p) = w_d d(p) + w_e e(p) + w_l l(p) \quad (6)$$

其中, w_d 为路长度权重, w_e 为能量消耗权重, w_l 为整个网络能量消耗权重. $e(p)$ 为路径的能量消耗, $l(p)$ 为网络能量的均衡.

(3) 选择算子

采用最优个体保留策略和轮盘赌选择算法选择最优个体进行下一代.

(4) 交叉算子

根据无线传感器节点序列编码特点,本文采用单点交叉方法产生新的解,即在父代群体中随机挑选若干个染色体进行交叉,并随机选取一个基因位作为交叉点,将两父代染色体相对应用的基因进行交换.

(5) 变异算子

从种群中随机选择一条染色体,并在该染色体中随机找一个传感器节点 k ,将传感器节点之前所有传感器节点加入到子代中,然后以传感器节点 k 为起点,以原来目标传感器节点为终点,寻找一条不含传感器节点 k 之前所有节点的数据通信路径,并将该条数据通信路径加入子代后面.

3.2.2 蚁群算法设计

在蚁群算法的无线传感器网络路径优化阶段,充分利用遗传算法获得路径优化结果,蚁群算法的初始信息素值由该路径优化结果转换而来,这样就很好的防止避免蚁群算法由于信息素缺乏导致收敛速度慢的缺陷出现.

(1) 信息素初值

遗传算法获得的无线传感器网络路径优化结果是源传感器节点到目标传感器节点的一条路径,所以首先必须将路径信息转换为蚁群算法的各路径上信息素.设遗传算法获得的路径优化结果为路径集合 V ,取前 20% 作为初始化信息素路径,令

$$\tau_{ij}(\alpha) = \frac{c}{f(p)} \quad (7)$$

(2) 路径选择

在 t 时刻,由传感器节点 i 到传感器节点 j 的路径选择如下:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{u \in N_i} [\tau_{iu}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{iu}(t)]^\beta}, & \text{若 } j \in N_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

(3) 局部信息素调整

当蚂蚁从传感器节点 i 移到传感器节点 j ,其路径上的信息素需要更新,即

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho_1) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (9)$$

(4) 全局信息素调整

当全部蚂蚁进行一次循环后,就要对全局信息素进行更新处理,加快最优解的收敛速度,具体更新规则如下:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho_2) \cdot \tau_{ij}(t) + \rho_2 \cdot F \quad (10)$$

3.3 蚁群-遗传算法的无线传感器网络路径优化

蚁群-遗传算法的无线传感器网络路径优化的具体步骤如下:

(1) 初始化无线传感器网络. 确定节点能量状态,通信距离等参数.

(2) 将无线传感器网络路径优化问题进行描述,并进行相应预处理.

(3) 遗传参数初始化,包括种群规模、交叉和变异概率,最大进化代数以及终止条件.

(4) 采用随机方法产生遗传算法的初始种群,即无线传感器网络路径优化问题的最初解.

(5) 计算初始种群中每一个体的适应度值.

(6) 迭代初始值设置为 1.

(7) 使用最佳个体保留策略和轮盘赌和选取新种群,采用交叉和变异产生新的个体.

(8) 将遗传算法的最优 20% 个体转换成蚁群算法路径上的信息素初值.

(9) 蚁群算法控制参数初始化.

(10) 将蚂蚁放置路径的源传感器节点上,并采用式(8)选择自己的路径.

(11) 对路径上的信息素值进行局部更新.

(12) 当所有蚂蚁完成从源传感器节点到目标传感器节点的路径选择后,对路径上的信息素值进行全局更新.

(13) 迭代次数加 1

(14) 当找到无线传感器网络路径时,就输出结果,不然重复上述步骤,继续进行.

4 实验仿真

4.1 仿真环境和参数设置

为了测试蚁群—遗传算法的在无线传感器网络路径优化性能,文中利用网络仿真软件 NS2,建立相应仿真平台进行测试. 遗传算法种群规模为 20,最大进化代数 500,交叉概率为 0.7,变异概率为 0.03,蚁群的蚂蚁个数为 10, $\alpha=0.2$, $\rho=0.2$, $\beta=2$. 共无线传感器节点 500 个,随机散布在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域内.

4.2 网络生命周期的比较

网络生命期定义为无线传感器网络从运行开始到整个网络中死亡节点数低于原来总节点数一半所持续的时间,采用遗传算法作为对比模型. 仿真得到蚁群算法和蚁群—遗传算法的实验结果如图 3 所示. 可以看出,采用蚁群—遗传算法对无线传感器网络路径优化后,整个网络的生命周期大大延长,同时传感器节点感知数据量越大,整个网络生命周期延长越多,仿真实验结果表明,采用蚁群—遗传算法解决了传统遗传算法在无线传感器路径优化中存在的缺陷,有效延长了整个无线传感器网络的生命周期.

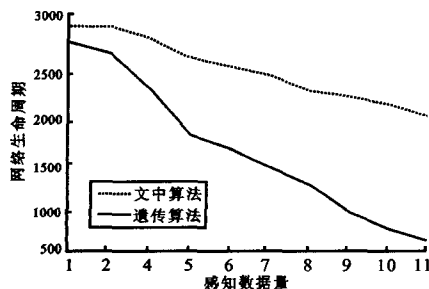


图3 网络生命周期比较

4.3 无线传感器最优路径的搜索成功率比较

传统遗传算法、蚁群算法和蚁群—遗传算法的无线传感器最优路径的平均搜索成功率如图 4 所示. 蚁群—遗传算法网络最优路径的平均搜索成功率远远高于传统遗传算法,实验结果表明文中算法结合蚁群算法和遗传算法两者的优点,实现互补,提高了无线传感器最优路径的平均搜索成功率.

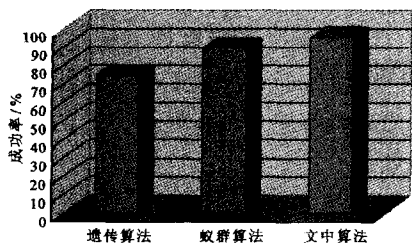


图4 三种算法的网络最优路径搜索成功率

4.4 网络最优路径优化

采用蚁群—遗传算法获得的无线传感器最优路径如图 5 所示. 从仿真图形中可知,文中算法通史很好地达到了预定目的,算法具有快速、有效的特点,是一种有效的无线传感器网络路径优化算法.

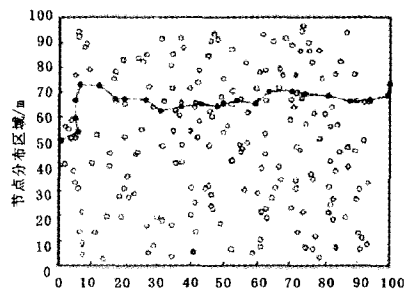


图5 蚁群—遗传算法获得的最优网络路径

5 结束语

蚁群—遗传算法综合了蚁群算法和遗传算法两者的优点,寻优速度快、效率高. 文中将其引入到无线传感器网络路径优化中. 仿真实验结果表明,蚁群—遗传算法能够很快找到一条最优的无线传感器网络通信路径,有效地利用了节点能量,延长了网络的生命周期,实现各传感器节点的负载均衡,在无线传感器网络应用中有着广泛的前景.

参考文献:

- [1] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003,14 (7):1282-1291.
- [2] 崔莉,鞠海玲,苗勇,等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42 (1): 163-174.
- [3] 杨挺,孙雨耕,杨郁,等. 无线传感器网络中一种节省资源的快速重路由算法[J]. 传感技术学报, 2005, 18(3): 445-448.
- [4] 刘庆,王培康. 无线传感器网络的安全分簇路由协议[J]. 计算机仿真, 2009,26(4):167-170.
- [5] 袁浩. 基于粒子群算法的 WSN 路径优化[J]. 计算机工程, 2010,36(4):91-95.
- [6] 邹少军. 基于量子遗传算法的无线传感器网络路径优化[J]. 计算机测量与控制, 2010,18(3):723-726.
- [7] 雷霖,李伟峰,王厚军. 基于遗传算法的无线传感器网络路径优化[J]. 电子科技大学学报, 2009,38(2):227-230.
- [8] 曹恒智,余先川. 单亲遗传模拟退火及在组合优化问题中的应用[J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(3): 38-41.

作者简介:

莫桂江 男,(1975—),研究方向为电子技术应用与控制、数字信号处理技术.