

# 基于退火遗传算法的 无线传感器网络路由优化研究

梁衡<sup>1</sup>, 刘新新<sup>2</sup>, 郑远攀<sup>2</sup>, 徐二锋<sup>3</sup>

- (1. 许昌学院 计算机与科学技术学院, 河南 许昌 461000;
2. 郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450001;
3. 弘润华夏大酒店, 河南 郑州 450002)

**摘要:**针对无线传感器中节点能量有限且网络拓扑结构不稳定的问题,提出了一种基于退火遗传算法寻求无线传感器网络最优路径的方法.该方法采用变长路径编码方式,综合考虑节点间通信消耗、通信距离和路径最短等因素,同时选择相应的退火遗传操作算子,通过优化选取种群、计算适应度函数、合理交叉、有效变异和降温退火操作,达到无线传感器网络最优路径的目标.仿真结果表明,基于退火遗传算法的无线传感器网络路由协议能够有效减少节点能耗,延长网络生存周期.

**关键词:**退火遗传算法;无线传感器网络;路由协议

**中图分类号:**TP393 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2012.06.025

## Study on routing optimization for wireless sensor networks based on annealing genetic algorithm

LIANG Heng<sup>1</sup>, LIU Xin-xin<sup>2</sup>, ZHENG Yuan-pan<sup>2</sup>, XU Er-feng<sup>3</sup>

- (1. School of Computer and Science Technology, Xuchang University, Xuchang 461000, China;
2. College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
3. Hong Embellish the Chinese Hotel, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of wireless sensor networks limited nodes energy and unstable network topology structure, a method of searching wireless sensor network optimal path was put forward based on annealing genetic algorithm, which adopts variable-length encoding mode, considers the inter-node communication consumption, communication distance and the shortest path and other factors, and selects the appropriate annealing genetic operators, through the optimal selection of stocks, the calculation of the fitness function, a reasonable cross-effective variation and cooling annealing operation, to achieve the objectives of the optimal path of the wireless sensor network. Simulation results showed that the algorithm can effectively balance node energy consumption, prolong the network survival cycle.

**Key words:** annealing genetic algorithm; wireless sensor networks (WSNs); routing protocol

## 0 引言

随着计算机技术以及通信技术的迅速发展,无

线传感网络成为众多学者研究的重点.无线传感器网络是由监测区域内大量微型传感器节点组成的多跳自组织网络,能够将逻辑上的信息世界与真实

的物理世界结合起来. 由于其较强的容错性能以及自组织能力, 通常被应用于人不可到达或危险的区域. 与传统无线网络相比, 无线传感网络节点能量有限, 网络结构也不稳定, 因此其对无线传感器网络路由协议提出了更高的要求.

针对无线传感器网络的特点, 国内外已有众多学者对其路由协议做了大量的研究. 张玉等<sup>[1]</sup>提出了通过改进遗传算法来提高其收敛性的无线传感器网络 QoS 路由算法, 虽然能够满足带宽-时延要求的路由选择, 但忽略了实际路由中路径不一定完全定长的特点. 高德民等<sup>[2]</sup>采用了变长染色体编码方式, 并利用遗传算法实现了全局网络最优路径寻求的方法, 延长了网络生存时间, 但易陷入局部最优解. 本文根据无线传感网络路由节点的特点, 综合遗传算法收敛速度快, 模拟退火算法局部搜索能力强的特点, 提出一种能够解决多约束优化问题的自适应网络最优算法, 应用到无线传感器网络路由中.

## 1 路由模型

无线传感网络路由优化中, 其连通性是首要解决的问题, 即任意 2 个节点间必须存在有效路径. 为方便计算, 可以将其描述为一种带权无向图<sup>[2]</sup>  $G = \langle V, A \rangle$ , 源节点  $v_1$  到目标节点  $v_n$  间的链路集合表示为  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ , 节点间各条通信链路的集合表示为  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ , 节点  $v_i$  到  $v_j$  的距离表示为  $d(v_i, v_j)$ , 链路长度表示为

$$L = \sum_{v_i, v_j \in V} d(v_i, v_j)$$

无线传感器网络路由优化的另一个影响因素是能量消耗, 如何减少路径中的能量消耗, 延长网络生存周期是本文研究的另一个重要问题. 在传感器各个节点的传输过程中, 通信能量消耗远远大于计算能量消耗, 因此可忽略计算能量消耗, 只考虑通信能量消耗<sup>[3]</sup>. 此外, 为防止通信过程中随着通信距离的增加而导致能量消耗急剧增加, 本研究采用多跳短距离无线通信方式, 其关系表示为

$$E = kd(v_i, v_j)^n$$

其中,  $k$  为常数,  $2 < n < 4$ . 考虑到发送端和接收端之间的距离不远, 但有障碍物阻挡, 干扰比较大, 又受接收天线性能的影响, 选取  $n \approx 4$ .

## 2 算法模型

### 2.1 编码

针对网络路由中存在路径变长的情况, 本文采

用变长染色体编码方案, 使用基于路径表示的编码方法. 染色体中的基因编号用节点 ID 号表示, 用源节点到目标节点所经过的节点号序列表示路径, 形成一个染色体. 染色体中的第 1 个基因表示源节点, 最后 1 个基因表示目标节点, 同一个数据包在同一个节点上只能转发 1 次, 因此在进行路由转发时, 每个节点最多只能转发 1 次. 事实上, 数据包从源节点到基站的传输过程中经过的节点数是不固定的, 基站到目标节点便形成不定长染色体, 从源节点到目标节点形成的多个不定长染色体组成的个体称为路径种群.

### 2.2 适应度函数

搜索进化过程中的算法主要是确定适应度函数, 其直接影响到算法的收敛速度和最优解的寻找. 一般情况下, 根据目标函数来确定适应度函数, 种群中总是选取适应度最大的作为遗传的父代<sup>[4]</sup>, 因此适应度函数的取值越大越好. 衡量路由算法性能的标准主要有网络延时、可靠性、网络生命周期等, 通过多路径可以保证网络可靠性, 通过基站性能可以调整网络延时. 延长网络生命周期, 只有通过优化路由来减少网络耗能, 才能提高适应值.

定义源节点到目标节点间的指示变量

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{边} \langle v_i, v_j \rangle \text{ 在路径中} \\ 0 & \text{边} \langle v_i, v_j \rangle \text{ 不在路径中} \end{cases}$$

针对路径最短问题, 则要求链路长度最短, 即

$$\min z(x) = \sum_i \sum_j d(v_i, v_j) x_{i,j}$$

路径耗能最少作为无线传感器网络路由协议的目标之一, 即

$$\min E = \min \sum_{i,j} kd(v_i, v_j)^4$$

适应度函数可以表示为

$$F_i = \min z(x) \cdot \min E = \min \sum_i \sum_j d(v_i, v_j) x_{i,j} \cdot \min \sum_{i,j} kd(v_i, v_j)^4$$

### 2.3 选择算子

选择算子是决定群体中的个体能否被遗传的关键因素, 适应度越高, 个体被遗传到下一代群体的概率就越大; 反之, 概率就越小. 为避免陷入局部最优解, 本文在初始种群基础上, 采用最佳个体保留与轮盘赌选择<sup>[5-6]</sup>相结合的方法. 首先保留群体中适应度最高的  $N$  个个体, 直接遗传到下一代群体中, 然后根据适应度比率  $P_i = F_i / \sum_{i=1}^n F_i$  ( $F_i$  为第  $i$  个个体的适应度) 计算出个体选择概率, 选定作为遗传种群的个体. 这样不仅保留了种群中的优秀个

体,也维持了各代种群的多样性,降低了种群之间的相似性,提高了选择操作的效率<sup>[6]</sup>。

## 2.4 交叉操作

交叉运算是指两配对染色体依据交叉概率按某种方式相互交换其部分基因,从而形成2个新个体的运算方法.常用的交叉算子有一点交叉、二点交叉和多点交叉等方法.考虑传感器网络路由的特殊性,本文采用一种特殊的交叉方法:随机产生两个种群个体,设置一个或多个基因相同处为交叉点,将个体染色体分成几个块,根据交叉概率 $P_c$ 交换其交叉点部分染色体,产生新的个体,直到所有个体中不再出现重复基因为止。

## 2.5 变异

为保持群体的多样性、种群全局最优和局部路径收敛到最优,而且进化不会过早收敛,本文将局部路径看成基因块,采用顺序交换<sup>[7]</sup>和随机交换方式来进行基因的变异操作.把某基因位的值进行变异,以变异概率 $P_m$ 随机改变其值,来改变父代的特性,产生新的个体.随着变异率的逐步降低,算法收敛的速度逐步加快,算法的局部搜索能力逐步提高。

## 2.6 退火选择操作

标准遗传算法中,种群进化前期收敛速度较快,能够快速找到最优解,但在进化后期收敛速度将变慢,并易找到次优解从而陷入局部最优解.在进化后期加入模拟退火算法,加快进化后期收敛速度,有助于获取全局最优解.主要操作对象为经过变异操作后适应度较低的种群个体.依据 Metropolis 准则,以

$$P = \exp\left(\frac{\Delta F}{K \times T_t}\right) > \text{rand}[0,1)$$

的概率选择可以作为新种群的个体. $F$ 为定义的适应度函数 $F_i$ 与实际计算的适应度函数 $F'_i$ 的差值, $K$ 为系数, $T_t$ 为第 $t$ 代时的温度.为保证算法在进化初期能够收敛,在选择适应度较差子代作为新种群个体时,使用较高的选择概率 $P$ .随着迭代次数 $t$ 的增加,概率将逐渐减小.直到满足下列条件之一时,结束算法:1)已完成预设的迭代次数;2)计算误差未超出预设的误差范围;3)退火温度达到预设的结束温度.其中,温度的控制是整个退火操作的关键,它决定了选取适应度较差的子代作为新种群个体的概率<sup>[8]</sup>。

## 3 算法实现

退火遗传算法的求解过程<sup>[9]</sup>如下。

1)初始化种群,设置种群个数 $N$ ,最大进化代数 $m$ ,变叉概率 $P_c$ ,变异概率 $P_m$ ,退火控制温度 $T_t = T_0$ 。

2)计算种群中全部个体的适应度值。

3)经过选择、交叉和变异操作,产生新的种群个体。

4)计算新种群中全部个体的适应度函数值。

5)判断种群是否收敛,跳转到步骤3,否则设置计数器 $t = 0$ 和退火代数,并对新种群个体进行退火操作:按照 Metropolis 准则来判断当前种群个体是否作为新的遗传种群,若计数器 $t$ 小于预先设置的退火代数,则跳转到步骤1;否则用本次退火操作后的个体替换种群中适应度最差的个体。

6)如果进化代数达到最大代数,则按照一定方式进行降温处理,将进化代数 $T = T + 1$ ,并跳转到步骤2,否则整个优化过程结果,输出最优解.算法整体流程如图1所示。

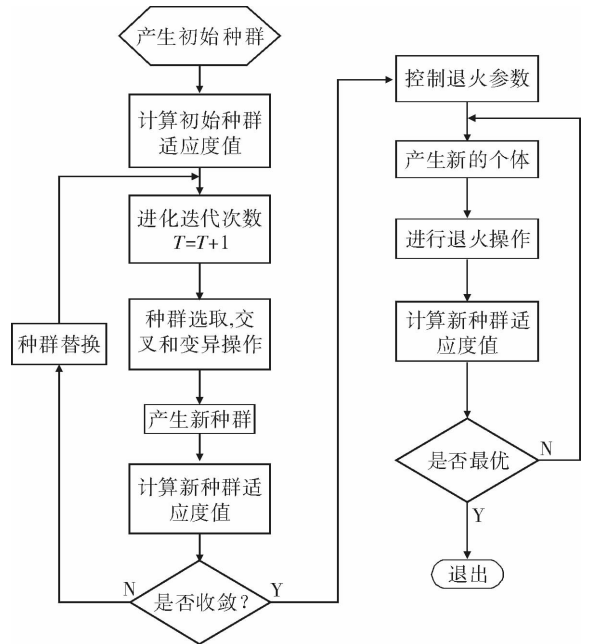


图1 退火遗传算法整体流程图

## 4 仿真结果与分析

仿真环境中,随机选择分布在 $100 \times 100 \text{ m}^2$ 平面区域内的100个传感器节点,各个节点之间的通信功率根据实际需要选择.定义每个节点拥有相同初始能量 $E_{start} = 10 \text{ J}$ ,交叉概率 $P_c = 0.8$ , $\Delta F = 0.001$ , $K = 0.01$ ,变异概率 $P_m$ 在算法前期选取为0.15,后期选取为0.05。

仿真试验使用退火遗传算法、遗传算法和周集

良等<sup>[5]</sup>提出的基于遗传算法的 WSNs 多路径路由优化模型进行仿真比较,共进行 30 组试验,取平均值作为最终结果.收敛迭代次数和传输延迟的比较结果见表 1.以传感器总能量消耗作为衡量指标的 3 种算法模型的能量消耗比较见图 2.从表 1 和图 2 可以看出,基于遗传算法的 WSNs 多路径路由优化模型的传输路径是在基站进行计算的,信息传输过程中不存在向其他节点发送信息产生的传输消耗,所以不会造成不必要的能量消耗及传输时延.基于可变长度染色体编码的遗传算法模型与退火遗传算法模型在传输初期的能量消耗接近基于遗传算法的 WSNs 多路径路由优化模型,但在收敛过程中传输链路中包含优越节点,使得整个链路的能量消耗增长速度缓慢,传输时长低于基于遗传算法的 WSNs 多路径路由优化模型.而退火遗传算法模型在传输路径进化中增加模拟退火算法,使得进化后期路径选择更具准确性,能量消耗及传输时长更优于基于可变长度染色体编码的遗传算法模型.

表 1 3 种算法实验结果比较

算法	收敛迭代次数	传输延迟/s
退火遗传算法	250	200
遗传算法	270	230
最短路径算法	280	240

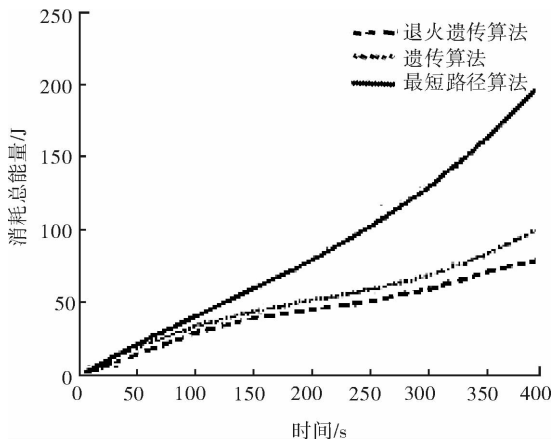


图 2 3 种算法的能量消耗比较

## 5 结论

本文基于标准遗传算法和模拟退火算法,提出了应用退火遗传算法寻求最优且耗能最少路径的方法,结合无线传感器网络路由特点,采用变长路径编码方式,并综合考虑节点间通信消耗、通信距离和路径最短等因素,同时选择相应的退火遗传操作算子,通过优化选取种群、计算适应度函数、合理交叉、有效变异和降温退火操作,最终寻找到一条最优路径.仿真结果表明,该算法能够有效减少节点的能耗,延长网络生存周期.

### 参考文献:

- [1] 张玉,蔡红梅.基于遗传算法的无线传感器网络 QoS 路由优化[J].华北水利水电学院学报:自然科学版,2009,30(4):75.
- [2] 高德民,钱焕延,汪峥.基于遗传算法的无线传感器网络路由协议研究[J].计算机应用研究,2010,27(17):4226.
- [3] Shafiuallah G M, Gyasi-Agyei A, Wolfs P J. A survey of energy-efficient and QoS-aware routing protocols for wireless sensor networks [C]//Novel Algorithms and Techniques in Telecommunications, Automation and Industrial Electronics, Netherlands; Springe, 2008; 352-357.
- [4] 玄光南,程润伟.遗传算法与工程优化[M].北京:清华大学出版社,2004:157-233.
- [5] 周集良,李彩霞,曹奇英.基于遗传算法的 WSNs 多路径路由优化[J].计算机应用,2009,29(2):521.
- [6] Xiao X P. Traffic engineering with MPLS in the Internet [J]. IEEE Networking, 2000, 14(2):28.
- [7] Thepvilojanapong N, Tobe Y, Sezaki K. An efficient multicast routing protocol for wireless sensor networks [J]. IEIC Technical Report, 2005, 104(690):419.
- [8] 刘彬,张仁津.基于退火遗传算法的 NURBS 曲线逼近[J].山东大学学报:工学版,2010,40(5):96.
- [9] 谭胜兰.模拟退火遗传算法在网络负载均衡中应用研究[J].计算机仿真,2011,28(12):111.