

面向蚁群机制的无线传感器网络节能路由算法

高 媛, 米奕萍

(中北大学 电子与计算机科学技术学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 针对无线传感器网络资源受限、能量约束问题, 提出了 ESRAC 算法. 该算法综合 PEGASIS 算法及蚁群算法的优点, 考虑到全网的能量消耗, 将能量因子加入到概率选择模型和信息素更新机制中, 构造最短路由. 并且利用混沌扰动, 使蚁群算法跳离局部最优解, 避免路由过程中的热点问题. 仿真实验表明该算法更好地节约了全网能量, 延长了网络的生命周期.

关键词: 无线传感器网络; 蚁群算法; 混沌理论; ESRAC 算法; 生命周期; 能量均衡

中图分类号: TN915.04

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)08-0015-04

An Energy-Saving Routing Oriented Ant Colony Mechanism in Wireless Sensor Networks

GAO Yuan, MI Yi-ping

(School of Electronic and Computer Science and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: As the limitation of resources of wireless sensor networks, an adaptive energy-saving routing oriented ant mechanism is proposed which synthesizes the concept of ACO and PEGASIS protocol. In the algorithm, it uses the probability model which adds the energy factor to construct the shortest route by taking account of the energy consumption of the whole network. In addition, it uses chaotic disturbance to jump off a local optimal solution and avoid the hot spots in the routing process. Simulation results show that it can save the energy and prolong the life cycle of the whole network better.

Key words: wireless sensor network; ant colony algorithm; chaos theory; ESRAC; life cycle; energy balance

1 引言

无线传感器网络(WSN)中传感器节点一般由电池供电,且不能更新和补充,网络中存在严重的能量约束问题.因此,如何高效地使用能量以最大化网络的生命周期一直是无线传感器网络路由协议设计的首要目标.由于蚁群算法具有的自组织、自动寻优和动态特性等都尤为适合具有同样特性的 WSN,现在许多学者已将蚁群优化机制应用于无线传感器网络路由技术中;如 EEABR^[1]、PSACA^[2]、WSN 中动态自适议群路由算法^[3] ARAWSN^[4]等.本文提出了 ESRAC(energy saving routing based on ant colony for WSN, ESRAC)路由算法.该算法将蚁群优化算

法^[5-6]运用到 PEGASIS 算法中,以期找到一条传输能量消耗小且节点平均剩余能量大的最优路径;并且通过混沌扰动,解决路由过程中的“热点”问题.所谓的“热点”问题,就是路由过度集中于某一路径,造成该路径上的节点能量消耗过快.

2 ESRAC 算法的实现

2.1 网络模型

对一个二维平面中的 WSN,该算法给出如下假设:基站固定且远离传感器节点,能量可无限供应;无线信道是对等的并且无线收发是全方位的;网络中的所有节点初始能量相同、不可移动,且都可以与基站进行一跳通信.

收稿日期: 2012-01-25; 修回日期: 2012-03-12

基金项目: 国家自然科学基金(60876077)

采用一阶无线电损耗模型^[7],当传感器节点发送 K bit 数据到距离为 d 的接收方时,收发双方消耗的能量分别为:

$$\text{发送方: } E_{Tx} = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \quad (1)$$

$$\text{接收方: } E_{Rx}(k, d) = E_{elec} * k \quad (2)$$

2.2 蚁群算法模型

2.2.1 概率选择模型

无线传感器网络中更多地是考虑如何很好地均衡全网能量,延长网络寿命.根据公式(1)和(2)中的网络能量消耗计算方法,可知能量消耗与距离平方和的大小有关系,因此,要利用蚁群算法找到一条距离平方和最小的路径.但是,不能只单纯地追求能量消耗最小,这样会导致该路径上的节点被频繁使用,能量消耗加剧,甚至造成节点过早死亡的后果.因此,还要在蚁群算法的状态转移函数中加入能量因子.

设网络中有 N 个节点,初始状态时,所有边都被赋予相同的信息素.每一轮通信之前,在网络中放置 m 只蚂蚁,并将蚂蚁分为前向蚂蚁和后向蚂蚁.前向蚂蚁承担搜索并建立路由的任务.在 t 时刻,蚂蚁 k 根据式(3)计算状态转移概率,决定自己的转移方向.当前位于节点 i 的蚂蚁 k 选择节点 j 作为下一个访问节点的概率是:

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta E_j(t)}{\sum_{s \notin \text{tabu}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta E_s(t)}, & s \notin \text{tabu}_k \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4)$$

式中, τ_{ij} 是信息素启发因子,表示 t 时刻链路 (i, j) 上残留的信息素; η_{ij} 表示能量消耗的启发因子. α , β 分别为信息素水平和能量消耗的权重值.如前所述,节点传输能量消耗主要是与距离的平方有关,因此,将能量消耗启发信息定义为: $\eta_{ij} = 1/d_{ij}^2$; $E_j(t)$ 表示被选节点 v_j 在 t 时刻剩余能量; tabu_k 是禁忌表,记录蚂蚁 k 当前走过的节点,并随着进化过程作动态调整;此处用来避免形成路由回路.由此概率选择模型可知, d_{ij}^2 越小,表示所走路径越短,节点的能量消耗越小; E_j 越大,表示节点的剩余能量越大,则 p_{ij}^k 越大,节点 j 被选中的可能性越大.

2.2.2 信息素更新机制

当前向蚂蚁周游完所有节点后,即刻转化为后向蚂蚁,对最优路径上的信息素进行更新,以增强算法的正反馈机制,加快后续蚂蚁的搜索速度.信息素

更新机制如下:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t+1) \quad (5)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (6)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{QE}{L_k^2}, & \text{ant}_k \in e(i, j) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

其中, ρ 表示信息素的挥发程度,随着时间的推移,路径上的信息素会逐渐挥发; $\Delta\tau_{ij}$ 表示本次循环中链路 (i, j) 上的信息素的增量; $\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留在链路 (i, j) 上的信息素总量; E 为第 k 只蚂蚁所走过的路径上的总能量; L_k^2 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中所走路径长度的平方和.

2.2.3 信息素更新机制的改进

上述的蚁群算法模型虽然可以很好地降低节点的能量消耗;但是该算法在进行信息素更新时,最优路径上的信息素总是得到一定程度的加强,而其他路径上的信息素不但没有得到加强,反而会随着时间的推移不断挥发,使其更加难以被搜索到;从而使算法陷入局部最优解.这样,蚂蚁就会过分集中在最优路径上,将会导致该路径上网络节点的能量急剧减少,使整个网络的生命周期缩短.这就是所谓的“热点”问题.

为了解决上述问题,此处引入混沌理论,在信息素的更新机制中加入了混沌扰动.所谓混沌,就是指在确定系统中出现的一种貌似无规则,实则有着精致内在结构的一类现象,是存在于非线性系统中的一种较为普遍的现象^[8].它具有随机性、遍历性、规律性等特点,从而在进行优化搜索时可避免陷入局部极小.

混沌优化的基本思想就是用类似载波的方法将混沌序列引入到优化变量中,传统的用来产生混沌序列的映射是 Logistic 映射,其次还有立方映射和无线折叠映射函数.由于 Logistic 映射的实现较为简单,符合无线传感器网络资源有限的特点,此处选用 Logistic 映射.

综上,为了使得网络中的数据流量尽可能经过不同的路径,从而使得整个网络的能量消耗相对均衡,并且能够有效避免蚁群算法陷入局部最优解的缺陷,本文对信息素更新机制进行了如下两个方面的改进:

① 在调整信息量时加入混沌序列 Z_q , Z_q 采用 Logistic 映射.因此,将式(5)更改为:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t+1) + Z_q \quad (8)$$

$$Z_{q+1} = \mu Z_q (1 - Z_q) \quad (9)$$

其中 μ 是控制参量, 当 $\mu=4$ 时, 系统完全处于混沌状态. 本文中取 $\mu=4$ 时的混沌序列; $q=0, 1, 2, \dots, n$; 设 $Z_0=0.2$.

② 采用时变函数 $Q(t)$ 来代替基本蚁群算法中信息素的常数项——信息素总强度 Q :

$$Q(t) = \begin{cases} 50 & t \leq 100 \\ 100 & 100 < t \leq 200 \\ 200 & \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

2.3 算法实现

在 2.2 节构造的蚁群算法模型的基础上, 结合 PEGASIS 算法, 提出了 ESRAC 算法, 该算法与 PEGASIS 算法一样, 主要包含两个过程: 一是节点成链阶段; 二是数据传输阶段. 图 1 详细介绍了算法的节点成链的过程, 在 ESRAC 算法中, 基站利用蚁群算法最终构造出一条全局最优路由. 在数据传输阶段, ESRAC 算法采用与 PEGASIS 算法相同的方式传输信息, 均采用令牌环机制进行数据的传输, 且边传输边融合, 减小传输的数据量. 但是, 在链头的选举机制中略有不同, ESRAC 算法并不是轮流充当链头, 而是选取离基站近的、剩余能量较多的节点担任链头节点; 这样既可以减少节点的能量消耗, 又可以防止剩余能量较低的节点过早死亡.

3 仿真实验与结果分析

为了验证 ESRAC 算法的有效性, 利用 Matlab 对 ESRAC 算法和 PEGASIS 算法、基本蚁群路由算法(在 PEGASIS 算法的基础上采用基本蚁群路由算法建链)分别进行了仿真对比. 仿真环境如下: 在一个 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的区域内利用坐标数据随机生成 100 个节点的网络拓扑结构, 基站位于坐标 (50, 300) 处, 节点初始能量为 1J, 发送 1bit 数据消耗能量 50nJ, 放大电路单位能耗为 100pJ, 融合 1bit 数据消耗量 5nJ, 仿真总时间为 500s, 选取的优化控制参数为: $\alpha=1$, $\beta=5$, $\rho=0.7$, $\tau_{m0}=0$, $m=30$.

仿真实验主要对比了网络的生命周期和网络的能量消耗两个性能指标. 该实验中, 以网络的通信轮数表示网络的生命周期, 轮数越大表示节点的寿命越长, 网络生存周期越长.

如图 2 所示, ESRAC 算法的性能明显优于 PEGASIS 和蚁群路由算法. PEGASIS 算法在第 1023 轮时出现第一个死亡节点, 一半节点死亡时在第 1947 轮, 到 2123 轮时所有节点全部死亡. 基本蚁群路由算法在第 2069 轮时开始有死亡节点, 在第

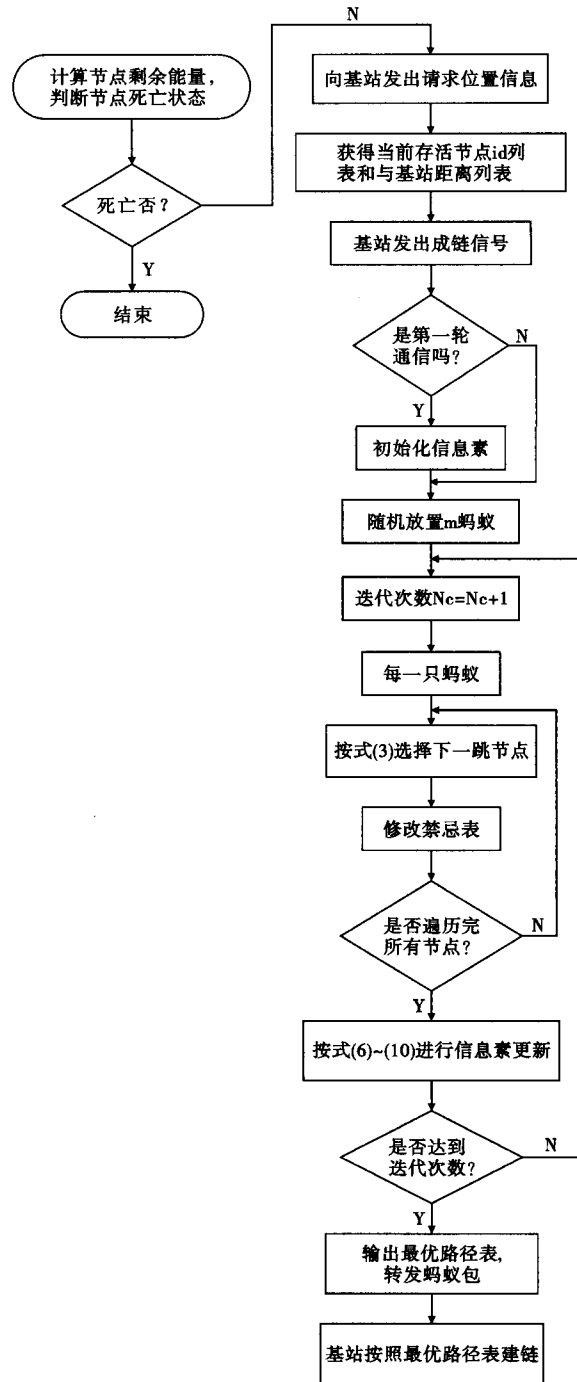


图1 ESRAC 算法成链阶段的流程

2118 轮一半节点死亡, 到第 2147 轮全部节点死亡. 而在 ESRAC 算法中, 在第 2084 轮时才出现第一个死亡节点, 是 PEGASIS 算法的 2.03 倍, 略优于基本蚁群路由算法; 在第 2315 轮时一半节点死亡, 在第 2417 轮时全部节点死亡.

首先分析 PEGASIS 算法和 ESRAC 算法的性能. 因为 PEGASIS 算法采用贪婪算法建链, 只能得到局部最优链, 生成的链中往往还含有相邻节点间

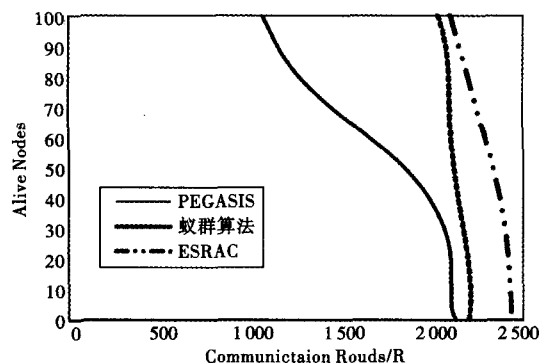


图2 生命周期对比

的长链,这样就增加了传输能耗,造成节点负荷过大;而 ESRAC 算法是采用蚁群机制构造的全局最优链,缩短了通信链的长度,从而减少了节点的能量消耗,而且链头的选择也比于 PEGASIS 算法节能;因此 ESRAC 算法第一个节点的生命周期在 PEGASIS 算法的基础上提高了一倍多。

然后对比 ESRAC 算法和基本蚁群路由算法。因为 ESRAC 算法和基本蚁群路由算法都是采用蚁群路由,刚开始时,基本蚁群路由并不会陷于局部最优解的困境,因此,两种算法第一个节点的生命周期接近。但是随着时间的推移,由于 ESRAC 算法采用混沌思想扰动信息素更新,使蚁群有更多的搜索空间,不会集中于某一较优路径上,既避免了这一路径上的节点由于频繁使用而能量消耗过快,又能发现更优的路径。因此,ESRAC 算法的生命周期高于基本蚁群路由算法。

从图 3 可以看出 ESRAC 算法中全网的能量消耗明显低于 PEGASIS 和基本蚁群路由算法。

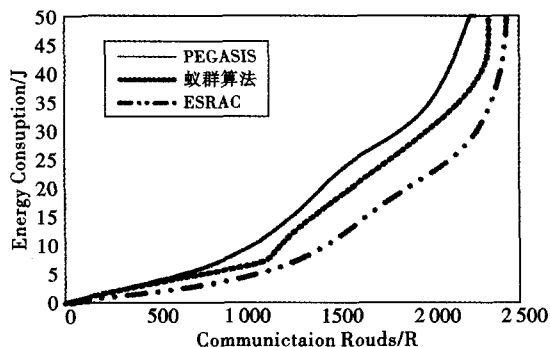


图3 全网能量消耗

4 结束语

本文针对无线传感器网络能量有限的特性,在

PEGASIS 算法的基础上提出了基于蚁群的节能路由算法 ESRAC。利用带有混沌扰动信息素更新机制和加入能量因子的概率选择模型来进行路由,避免由于基本蚁群算法的自身缺陷而造成的局部最优,最终构造出一条能量消耗小并能均衡全网能量的路径。经过仿真对比,该算法的生命周期和能量消耗的性能都优于 PEGASIS 算法和基本蚁群路由算法。然而由于蚁群算法的复杂度高,搜索蚂蚁的最佳数量等问题使算法并不能应用在大规模样本的训练中,下一步将对这些方面做更深入的研究。

参考文献:

- [1] Camilo T, Carreto C, Silva J S, et al. An energy-efficient ant-based routing algorithm for wireless sensor networks[C]// Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence. Brussels, Belgium, 2006(4150):49-59.
- [2] 杨靖,熊伟丽,徐保国.无线传感器网络中基于蚁群算法的路由算法[J].计算机工程,2009,35(6):4-6.
- [3] 郭新华,蒋艳,曹建霞.WSN 中动态自适应蚁群路由算法[J].微电子学与计算机,2008,25(12):157-160.
- [4] 梁华为,陈万明,李帅,等.一种无线传感器网络蚁群优化路由算法[J].传感器技术学报,2007,20(11):2450-2455.
- [5] Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, Alberto Coloni. The ants system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1996, 26 (1):1-13.
- [6] 孟志刚.混沌蚁群算法及其在连续优化中的应用[J].机器产品开发与创新,2010,23 (4):29-31.
- [7] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]// The Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii: Maui,2000.
- [8] 李兵,蒋慰孙.混沌优化方法及其应用[J].控制理论与应用,1997,14(4):613-615.
- [9] 陶利民,郭俊恩.带有近邻选择策略和遗传算子的蚁群算法[J].微电子学与计算机,2010,24(4):179-185.

作者简介:

高媛女,(1972—),博士,副教授.研究方向为无线传感器网络.

米奕萍女,(1986—),硕士研究生.研究方向为无线传感器网络.