

一种基于蚁群算法的 WSN 能效均衡路由

苏 兵^{1,2}, 黄 娟¹

(1 常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164;

2 常州大学 常州市过程感知与互联技术重点实验室, 江苏 常州 213164)

摘 要: 为了解决无线传感器网络的能耗不均衡问题, 提出了一种基于蚁群算法(ACO)的自适应能量均衡路由算法(EBEA). 该算法将节点的能量密度融入到启发因子中, 利用蚂蚁的动态适应性在全局范围内寻求最优路径让网络达能量均衡的效果. 仿真实验结果表明, 与 LEACH 算法相比, 该算法能够均衡整个网络的能耗, 并有效的避免了网络分割或者“能量空洞”现象, 延长网络的生命周期.

关键词: 能量密度; 蚁群算法; 无线传感器网; 能量均衡

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)11-0050-03

Energy Balancing Routing Algorithm Based on ACO for Wireless Sensor Networks

SU Bing^{1,2}, HUANG Juan¹

(1 School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;

2 Key Laboratory of Process Perception and Internet Technology of Changzhou, Changzhou University,
Changzhou 213164, China)

Abstract: In order to solve the problem of unbalanced energy consumption of wireless sensor networks, in this paper, we propose an energy balance adaptive routing algorithm based on Ant Colony Optimization (ACO). It takes energy density of the node into the heuristic factor and utilizes the dynamic adaptability of ants to find the optimal path, balancing energy consumption of the whole network. Simulation results show that, comparing with the LEACH algorithm, it balances energy consumption of the whole network and avoids the problem of network partition or the “energy hole” phenomenon effectively and extends the network lifetime effectively.

Key words: energy density; ACO algorithm; wireless sensor networks; energy balance

1 引言

无线传感器网(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测环境中能量受限的传感器节点构成, 节点感知被测对象、采集所需数据进行相应的数据融合以无线多跳的通信方式将数据信息传输给汇聚节点(Sink)^[1-2]. 传感器节点的计算能力、存储空间、本身的电池能量都有限, 由于分布的地理位置不同, 导致一些节点承担过多的通信量, 在“热区”问题中易导致节点过早失效, 产生能量空洞和网络

分割, 影响网络生存寿命^[3].

因此, 如何有效均衡利用有限能量资源是许多学者研究 WSN 路由算法考虑的因素^[4-5]. 文献[6]提出一种蚁群竞争 WSN 能量均衡路由算法(AERA), 通过不同节点能量参数与蚂蚁信息素之间的相互作用决定该路径上蚂蚁的数量竞争选取一条最优路径并使各传感器节点的能量均衡消耗. 文献[7]提出了一种基于蚁群的能量意识路由将蚁群优化算法应用于无线传感器网络中, 同时兼顾了通信节点的当前能量、节点间距离平方等因素对全网

能耗均衡的影响因素,使得蚁群的自组织和自适应寻优机制具有能量意识.文献[6-7]都只考虑节点的当前能量,但并未考虑到节点周围的能量环境,这将影响整个网络的生存寿命.本文设计了一个基于蚂蚁算法的能耗均衡路由算法(Banlanced Energy Consumption Routing Algorithm based on ACO for WSN,BEBA),不再仅仅考虑单个节点的剩余能量作为路由选择的能量标准,也将考虑周围节点环境能量对节点的影响,因此蚂蚁选择下一中继节点时考虑自身的能量密度、当前能耗比和新增代价的估算,通过蚁群的自适应达到全网能量均衡优化;同时在能量密度的范围内,对路由节点建立以一个周期性动态更新的备份表,提高网络应对突发故障的恢复能力.

2 基于 ACO 的能耗均衡路由算法

2.1 能量密度函数及备份表策略

为了达到全网能耗达到均衡的效果,本文除了考虑节点自身能量^[8]之外,还考虑该节点周围的能量情况.因此本文引入了节点的能量密度的概念,用公式表示节点 j 的能量密度函数定义为:

$$ND(j) = \frac{\sum_{n=1}^m E_j(n) - m * M}{m} \quad (1)$$

其中, $ND(j)$ 为节点 j 的能量密度函数,表示以节点 j 为中心, r 为通信半径的圆内所有节点的平均剩余能量,用来衡量节点 j 周围的能量状态; M 是为了避免节点过早死亡预设的节点用地监测和接收等所使用的最小保留能量.

路径维护通常是周期性通过从源节点到 Sink 节点采用泛洪查询来维护路径的活动性.若路径上的路由节点发生故障或失效,重新实施泛洪,在一定时间内选举出新的路由节点,开销比较大.本文针对此问题,提出基于能量密度范围的备份表策略,只需少量信息交换,迅速切换剩余能量较高的最近节点进行替换.

备份表策略的思想如下:在路由节点 j 的能量密度范围内,在备份表里以堆的方式存储三个剩余能量较高、代价低的备份节点,对路由节点 j 进行备份.网络初始时各节点广播自己的能量信息,若以 r 为半径的区域内的节点 j 当选为路由节点时,选取三个剩余能量最优的节点相关信息存入作为备份, k 轮后范围内所有节点广播互相通报自己的剩余能量,就可以动态维护节点的能量排序信息.当检测到

节点 j 发生故障时,迅速切换至备份节点,避免长时间网络分割造成通信中断.根据能量密度概念,能量密度越高,节点周围的能量分布越丰富,而广播限制在以 r 为半径的圆内, r 应该远小于节点的通信半径,虽然会导致路径代价不精确,但相比重新泛洪,产生的开销可以忽略.

2.2 蚁群算法模型

在研究能耗均衡的路由算法的过程中,本文把蚁群算法应用到无线传感器网络中,将无线传感器网络看作为连通的无向加权连通图 $G(V, E)$, V 为无线传感器网络中的节点集, E 为边集, τ_{ij} 为边 $e(v_i, v_j)$ 的信息素.初始时,各种路径上的信息素的浓度相同,设 $\tau_{ij}(0) = C$, C 为常数.蚂蚁 k ($k=1, 2, \dots, m$) 在运动过程中,根据各路径上的信息素浓度决定转移方向,从节点 V_i 选择节点 V_j 作为下一个中继的转移概率为:

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{k \in N} \tau_{ik}^\alpha \eta_{ik}^\beta}, \quad \forall j \in N_i \quad (2)$$

其中, α, β 为信息素和能见度对蚂蚁决策影响的相对程度; τ_{ij} 为此时在边 $e(v_i, v_j)$ 上残留的信息量,初始值为 τ_0 ; α 和 β 用来加强或者减弱 τ_{ij} 和 η_{ij} 的值.启发因子 η_{ij} 为边 (i, j) 的能见度,通常定义为 i 与 j 之间的距离倒数.

为了均衡网络中节点的能耗,本文将能达到能量均衡的因素考虑在内,对转移概率 P_{ij} 中的启发因子作一些改进,将节点 j 的能量密度、能/耗比和选择节点 j 新增的估计代价融入到启发因子中,公式如下:

$$\eta_{ij} = \frac{ND(j) \cdot E_r(j)}{\Delta E_{ij} \cdot E_c(j)} = \frac{\left(\sum_{n=1}^m E_j(n) - m * M \right) \cdot E_r(j)}{\Delta E_{ij} \cdot E_c(j) \cdot m},$$

$$\Delta E_{ij} = \begin{cases} (a_{11} + a_{12} \cdot d_{jx}^2 + a_{13}) \cdot k_i & \text{若节点 } j \text{ 有一个下中继} \\ (a_{11} + a_{12} \cdot d^2 + a_{13}) \cdot k_i & \text{若节点 } j \text{ 没有下一个中继} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $ND(j)$ 为节点 j 的节点密度, $E_r(j)$ 、 $E_c(j)$ 为节点 j 当前的剩余能量、能耗.节点 i 发送 k_i bits 数据给下一个中继 j ,如不进行数据融合的情况下节点 j 接收并发送 k_i bits 数据所新增的能耗为 ΔE_{ij} ;若节点 j 已有下一个中继节点 x ,发送 k_i bits 数据的能耗是按 d_{jx} 来计算;若节点 j 没连通下一个中继节点,发送 k_i bits 数据的能耗则按单跳距离 d 来估算.

因此,在节点选择下一跳转移概率时,也受能耗

比的影响,会依据节点的能量密度情况选取。

2.3 信息素的更新

当蚂蚁 k 完成一次旅程,生成一个解决方案后,需要在所经过的路径上释放一定的信息素,可以用下述方程来表示:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过}(i,j) \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

其中, Q 体现所留信息素数量的一个常数, L_k 通常表示第 k 只蚂蚁在本次循环中所走的路径长度,在这里则用在本次循环中所选择路径上所有节点的能量消耗来表示。

当蚂蚁从节点 i 到 j 的过程中,信息素做如下的更新:

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

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

$\Delta\tau_{ij}$ 表示本次循环中路径上 ij 的信息量的增量; $\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留下路径上 ij 的信息量; ρ 为信息素的蒸发率。

3 仿真实验和结果分析

为了验证基于 ACO 能量均衡的算法 EBEA 的有效性,本文的仿真实验采用的是网络模拟软件 NS2 将 EBEA 算法与 LEACH 协议进行性能的分析比较。设 100 个传感器节点随机分布在为 $200\text{m} \times 200\text{m}$ 方形的网络范围内,节点初始能量为 5J , sink 节点位于 $(100, 150)$ 处,节点具有可控的射频功率与数据融合功能。在仿真实验中主要考虑传感器节点发送、接收数据和进行数据融合所消耗的能量,其中的参数取值为: $\rho=0.1, \alpha=1, \beta=2, Q=1$ 。

(1) 网络生命周期

基于节点的能量密度,使得路径中的节点拥有高能量密度,EBEA 算法每次都是选择代价最小能耗均衡的路径传输数据。每个节点采用动态备份策略,当某些节点能量耗尽时切换至备份节点,保持一个稳定的主干网络,这一机制在网络生存死亡的最后一段时间表现显著,大大减少了因节点频繁死亡带来的开销。如图 1 所示,EBEA 较 LEACH 在网络寿命上延长了 45%。

(2) 网络的恢复能力

如图 2 中所示,考察的是路由节点突发故障时网络的恢复能力。假设在第 5 轮时路径上其中某些

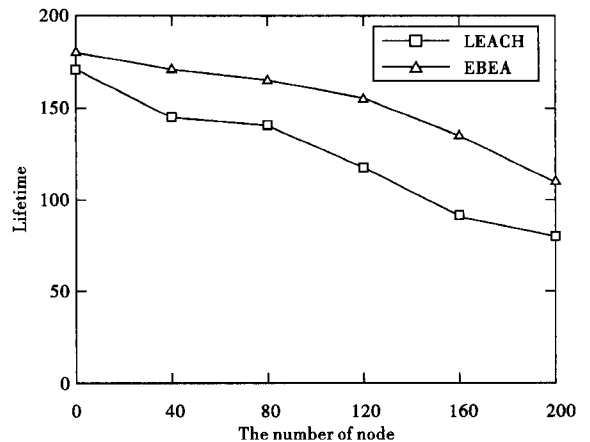


图 1 LEACH 与 EBEA 的生命周期

节点突然失效, LEACH 则重新泛洪, 重新构建路径; 而 EBEA 路由算法中, 每个路由由节点考虑自身的能量密度情况, 在该范围内都将建立动态更新的备份表, 当节点遇到突发故障时, 迅速调用备份表切换至备份节点代替失效节点, 修补节点故障造成的网络分割。模拟结果表明, 采用动态备选表策略的 EBEA 算法有较强的鲁棒性, 可靠性更强。

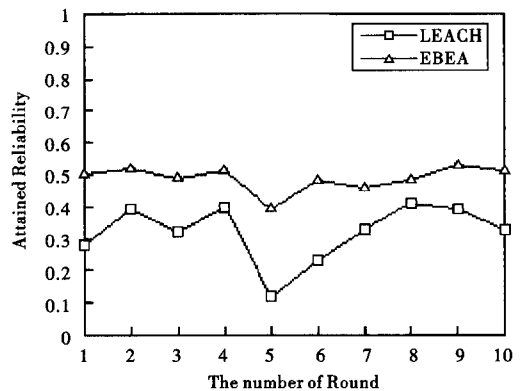


图 2 突发故障下某一条路径节点网络恢复能力

4 结束语

本文提出了一种更新的蚁群算法的能量均衡路由策略, 将节点的实际能量密度情况信息赋予蚂蚁, 让具有这种信息的蚂蚁在复杂的路由中选取一条能量均衡的最优解。在此过程中对路径上每个节点采用备份策略, 提高突发故障时, 网络的恢复能力。仿真结果表明该算法可有效的应用到 WSN 的能量均衡路由算法中, 同时验证了本文提出的路由算法在网络能量均衡方面有很好的性能, 网络寿命在一定程度上得到延长, 有较好的鲁棒性。

(下转第 57 页)

5 结束语

本文定义了基于相似关系的不相似知识颗粒,导出了基于不相似知识粒的否定决策类的下、上近似集,通过否定决策类的正域可以获得确定性否定决策规则,通过否定决策类的边界域可以获得不确定性否定决策规则,最后研究了基于属性重要度的启发式分布约简的算法,获得简化的否定决策规则,这就为否定决策规则的实用化打下基础.为此,笔者下一步将进行否定决策规则在人工智能的规则搜索、模式分类和决策分析中的实际应用工作研究.

参考文献:

- [1] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356.
- [2] Stefanowski, Tsoukias. Incomplete information tables and rough classification[J]. Computational Intelligence, 2001(17): 545-566.
- [3] 陈功平, 秦乐阳. 粗糙运算的产生式关联规则获取方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(5): 113-117.
- [4] Qian Y H, Liang J Y. Positive approximation and rule extracting in incomplete information systems[J]. International Journal of Computer Science and Knowledge Engineering, 2008, 2(1): 51-63.
- [5] Yang X B, Yu D J, Yang J Y, et al. Difference relation based rough set and negative rules in incomplete information system[J]. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2009, 17(5): 649-665.
- [6] 张明, 唐振民, 杨习贝. 不完备信息系统中的否定决策规则和知识约简[J]. 控制与决策, 2011, 26(6): 851-856.
- [7] Tsumoto S. Automated discovery of positive and negative knowledge in clinical databases[J]. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2000, 19(4): 56-62.
- [8] Yao Y Y. Three-way decisions with probabilistic rough sets[J]. Information Sciences, 2010, 180(3): 341-353.

作者简介:

徐维艳 女, (1978—), 硕士, 讲师. 研究方向为模糊分析、粗糙集及其应用.

魏敏 女, (1980—), 硕士, 讲师. 研究方向为模糊集、粗糙集.

张明 男, (1978—), 博士生, 讲师. 研究方向为粗糙集理论及应用、粒计算.

(上接第 52 页)

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] Cheng Z, Perillo M, Heinzelman W B. General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment strategies[J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2008, 7(4): 484-497.
- [3] Xiaobing Wu, Guihai Chen, Sajal K Das. Avoiding energy holes in wireless sensor networks with nonuniform node distribution[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, 2008, 19(5): 710-720.
- [4] Geyang Li, Yang Cao, Xun Gao, et al. Energy balancerouting protocol for wireless sensor networks based on fuzzy next-hop selection[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2009, 14(2): 101-104.
- [5] Qiu R, Zhao H. Energy balance hierarchical data aggregation mechanism for wireless sensor network[C] // Proceedings of the 2009 International Conference on Information Engineering: 2009.
- [6] 张曦煌, 夏佳, 沈玉方, 等. 一种蚁群竞争 WSN 能量均衡路由算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(8): 1825-1827, 1830.
- [7] 王青正, 闵林, 郭拯危, 等. 基于蚁群优化的无线传感器网络能耗均衡路由算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4716-4718.
- [8] Ko Rensong, Lai Chihchung. Density-based routing mechanism for sensor networks[C] // Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communication. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005: 341-346.

作者简介:

苏兵 男, (1972—), 博士, 副教授. 研究方向为计算机软件工程、无线传感器网络、计算机网络及网络安全.

黄娟 女, (1987—), 硕士生. 研究方向为无线传感器网络.