

基于蚁群算法的 WSN 路由协议研究

宋立新, 戴 赫

(哈尔滨理工大学 电气与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 针对层次路由 LEACH 协议存在簇头分布不均, 并且每次簇头轮换均在整个网络内进行, 会造成耗能过多以及蚁群算法应用于 LEACH 协议建立簇间多跳路由仍存在能耗不均衡的问题, 采用将网络节点进行区域划分, 并将节点剩余能量作为参考因素, 在区域内进行簇头节点的轮换选取的方法改进, 并通过将节点能量引入到转移概率和信息素更新公式中, 对蚁群路由算法进行改进, 利用其建立从簇头节点到汇聚节点的多跳路由的最优路径. 实验验证表明: 与 LEACH 协议相比, 改进协议整体上减少并均衡了能量的消耗, 延长了无线传感器网络的生命周期.

关键词: 无线传感器网络; 路由协议; 蚁群算法; 生命周期

中图分类号: TN393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)06-0088-05

Research on WSN Routing Protocol based on Ant Colony Algorithm

SONG Li-xin, DAI He

(School of Electrical and Electronic Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Aiming at the problems that hierarchical routing LEACH protocol has uneven distribution of cluster head and each cluster head rotation is carried out in the whole network which will result in excessive energy consumption, and the problem that energy consumption is not balanced when ant colony algorithm is applied to LEACH protocol to establish a multi-hop routing. Firstly, we use the method that divides the net nodes, take the node residual energy as reference factors and select the cluster head node in turn within the region to make an improvement. Then we improve the ant routing algorithm by introducing the energy of the nodes into the transition probabilities and pheromone updating formula and use the improved algorithm to establish the optimal path from the cluster head node to sink node multi-hop routing. Experiments show that compared with LEACH protocol, the improved protocol reduces and balances the overall energy consumption and extends the life cycle of a wireless sensor network.

Key words: wireless sensor networks; routing protocol; ant colony algorithm; life cycle

0 引 言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是由大量低成本、体积微小和资源有限的传感器节点在无线通信的模式下以多跳形式形成的自组织网络系统,目的是为了协作地感知、收集和处理监测区

域内的信息,并可靠地传输到观察者^[1],通常被部署在人类难以接近的极端环境来获取这些环境的信息,并且每个传感器节点所携带的能量有限而且往往不能对其进行能量补给.在传感器节点被散播到指定区域后便会自组织建立网络并开始执行工作.因此如何设计出具有自组织特性并适合于传感器网络特性的路由算法成为了当今对 WSN 研究的热点

收稿日期: 2014-01-22

作者简介: 宋立新(1963—),男,教授,硕士研究生导师, E-mail: lixins99@yahoo.com.cn;

戴 赫(1988—),女,硕士研究生.

之一^[4]. 一些为传统网络和 Ad hoc 网络设计的协议和算法并不适合应用于 WSN 中. WSN 路由协议设计的主要优化目标是减少能量消耗和促进负载均衡, 以提高网络生存时间, 而不是提高路径的稳定性^[5]. 现在, WSN 路由协议趋于智能化的发展方向, 越来越多的学者将人工智能算法用于 WSN 的路由技术中^[6]. 鉴于蚁群优化算法将问题求解的快速性、全局优化性以及高度的自组织性等特点合理结合, 与 WSN 低能耗、自组织的大规模网络路由快速建立的要求极其相似^[7], 并且实现起来相对简单, 因此尤为适合将基本蚁群算法应用于 WSN 的路由协议, 所以目前研究的热点主要是基于蚁群智能算法的 WSN 路由协议, 同时 WSN 层次路由协议提出了簇的概念, 实行了分级结构且具有良好的扩展性和广泛的应用性能更好的适应 WSN 规模的扩展等特点, 因此国内外学者对此也做了相关的研究.

SALEHPOUR 等在 LEACH 算法的基础上提出 ERC 算法^[8], 将蚁群算法应用到建立簇间多跳路由中, 虽然使网络的性能有了一定的提高, 但是鉴于蚁群算法自身的缺陷, 提升幅度不大. 王林等引入引力度函数概念和节点剩余能量来改进蚁群算法建立簇间路由^[9]. 虽然减少了能耗, 但是未根本解决全网簇头竞选的问题, 性能改善受到限制. 毕俊蕾等提出 ACOBR 方案^[10], 分别利用蚁群算法和最小生成树算法建立簇间和簇内路由. 虽然保证了网络传输的 QoS, 延长了网络寿命, 但是算法过于复杂, 节点维护的信息过多, 能耗过快, 在网络生命周期方面改善的并不多.

综上所述, 研究工作虽然取得了一定的成绩, 但是仍存在需要改进的地方, 例如蚁群算法收敛速度慢, 频繁的簇重组, 算法的复杂度等, 这些都制约着路由算法性能的改善, 所以基于蚁群算法的无线传感器网络层次路由算法仍需我们不断的进行探索研究. 本文主要尝试一种新的方法, 新的理论来减少网络节点的能量消耗和负载均衡, 用以完善无线传感器网络的性能, 延长 WSN 的生命周期.

1 区域划分

针对低能量自适应分簇路由 LEACH 存在簇头分布不均的缺陷, 采用将网络区域进行划分, 并在每个小区域内进行簇头的选取的方法, 改善算法因簇头分布不当导致的簇头在小范围内聚集, 造成一些节点由于距离因素选择不到合适的簇加入或者在簇

内与簇头单跳通信消耗过多能量以及频繁的簇重组带来的过度能量消耗问题.

Voronoi 图是一个关于空间划分的基础数据结构, 100 年来, 它被应用在与几何信息相关的各个领域. 它按照对象集合中元素的最近属性将空间划分成许多单元区域, 即由一组由连接两相邻点直线的垂直平分线组成的连续多边形组成, 并且每个 Voronoi 多边形包含而且仅包含一个点.

基于 Voronoi 图单元将网络区域进行划分, 汇聚节点位于网络的中心, 初始时, 以汇聚节点为中心, 分别在节点一倍至几倍通信半径、同时不相近的位置选取多个节点作为初始时的簇头节点, 构造 Voronoi 图, 其余节点则根据 Voronoi 多边形内的点到此多边形的圆点的距离最近的原则, 判断其分别归属于哪个 Voronoi 多边形, 因此由各 Voronoi 多边形便构成各网络区域单元, 构成各个簇, 其中每个单元即簇内包含若干节点. 区域划分示意图如图 1 所示.

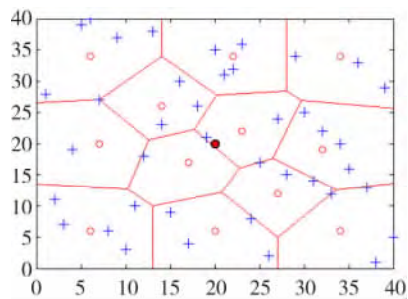


图1 区域划分示意图

图1 中黑边实心的圆点为汇聚节点, 圆圈为簇头节点, “+”为普通节点.

2 簇头选取

由于簇头节点在进行通信时会消耗较多的能量, 但是簇头轮换选取时并未考虑节点的剩余能量的问题, 易造成通信链路的破坏和负载不均衡, 同时簇头的轮换在整个网络中进行时, 会消耗大量的能量, 因此在以后每轮将节点的剩余能量作为簇头节点选取的参考因素之一, 同时考虑簇头的轮换选取工作在划分的区域内即簇内进行, 以达到均衡能耗和链路完整性的目的.

簇头轮换主要过程: 簇头到达设定轮数时, 向本簇内的普通节点广播消息, 宣布其不再担当簇头, 让普通节点向其传送自身的剩余能量值消息, 待接收完所有簇内节点传送的消息, 比较选择出剩余能量最大的节点担任下一轮簇头节点, 继而向簇内的节

点广播继任下一轮簇头节点的消息,并且自身变为普通节点,向簇头节点传送加入其簇的消息,其他节点收到消息后,也向簇头节点传送加入其簇的消息,簇头节点待接收完所有普通节点传送的加入消息后,进行 TDMA 时序分配,继而向其簇内节点广播每个节点的时序,完成簇头轮换,以后每个簇内节点即在其对应的时序进行数据传递。

初始时的簇头选取结束后进行广播,其余节点待收到所有簇头节点广播的消息后,选出距离其最近的簇头加入,发送加入消息,继而进行时序分配,数据传递,与以后簇头轮换时过程类似。图2为簇头轮换流程图。

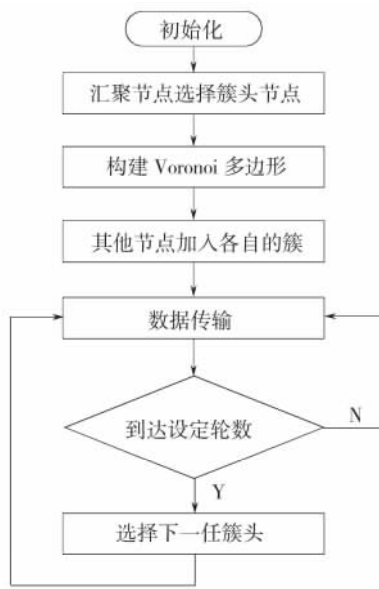


图2 簇头轮换流程图

3 基于蚁群算法的 WSN 路由协议

3.1 蚁群算法原理

蚁群算法^[9]是一种启发式算法,蚂蚁借助它们在通过的路径上留下的信息素彼此通信。每个蚂蚁可以嗅到其它蚂蚁留下的信息素并通过信息素引导自己的移动方向,但信息素会随著时间的流逝而挥发。因此,路径的长度和经过这条道路径的蚂蚁个数会影响信息素的浓度。另一方面,信息素的浓度将引导蚁群中其他蚂蚁的移动方向,如果有很多蚂蚁经过这条道路径,那么其它的蚂蚁选择这条路径的概率将会很高。这在蚁群系统中构成了一种信息素正向反馈机制。

3.2 基本蚁群路由算法

将 WSN 的拓扑结构模拟成一个无向图 $G(N, A)$, N 是节点集, A 是路径集。在初始化过程中,图中

所有的路径都被给定一个信息素值。当搜索活动开始,蚂蚁会随机的在候选的节点集中选择一个并开始搜寻过程中。在这个搜寻过程中,蚂蚁倾向于选择具有较高浓度的信息素和距离较短路径的下一个节点。当所有的蚂蚁都完成了他们的搜寻过程,更新全局信息素。这意味着所有路径上的信息素会蒸发掉一部分,每一个蚂蚁根据信息素蒸发参数更新它通过的路径上的信息素。随后蚂蚁会选择一个新的节点重新开始搜索过程。

我们假设一些蚂蚁在节点 i , 蚂蚁 k 根据概率 $P_{ij}^k(t)$ 访问下一个节点 j , $P_{ij}^k(t)$ 公式如下:

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{t \in \text{allowed}_k} [\tau_{it}(t)]^\alpha [\eta_{it}]^\beta} & i, j = (1, 2, \dots, n), j \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (1)$$

在式(1)中, $\text{allowed}_k = \{N - \text{tabu}_k\}$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的节点的集合; $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻残留在路径 (i, j) 上的信息量; α 为信息启发式因子,表示轨迹的相对重要性,反映了蚂蚁在运动过程中所积累的信息素在蚂蚁运动时所起的作用,其值越大,则该蚂蚁越倾向于选择其它蚂蚁以前经过的路线,蚂蚁之间的协作性越强; η_{ij} 为启发函数,表达式为

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (2)$$

式中: d_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的距离,对蚂蚁 k 而言, d_{ij} 越小,则 η_{ij} 越大, $P_{ij}^k(t)$ 也就越大,显然该启发函数表示蚂蚁从节点 i 转移到节点 j 的期望程度; β 为期望启发式因子,反映了蚂蚁在运动过程中启发信息在蚂蚁选择路径中受重视程度,其值越大,蚂蚁选择离它近的节点的可能性就越大。

为了避免残留信息素过多引起残留的信息量淹没启发信息,在每一只蚂蚁完成从初始节点到锚节点的遍历后,要对残留信息素进行更新处理。这种更新策略模仿了人类大脑记忆的特点,在新信息不断存入大脑的同时,存储在大脑中的旧信息随着时间的推移逐渐淡化,甚至忘记。由此, $t+n$ 时刻在路径 (i, j) 上的信息素量可按如下规则进行调整。

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (4)$$

式中: ρ 表示信息素挥发系数; $1-\rho$ 表示信息素残留

因子,为了防止信息的无限积累, ρ 的取值范围为 $\rho \in (0,1)$; $\Delta\tau_{ij}(t)$ 表示本次遍历中路径 (i,j) 上的信息素增量,初始时刻 $\Delta\tau_{ij}(t) = 0$; $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 表示第 k 只蚂蚁在本次遍历中留在路径 (i,j) 上的信息素量。

3.3 改进蚁群路由算法

应用基本蚁群算法建立簇间路由,在计算蚂蚁的转移概率时只考虑到当前节点到其邻居节点的路径上信息素含量以及路径的长度,而在 WSN 中这种策略不完全适合传感器网络的特性。在 WSN 中如果某些节点承担了过多的数据传递和转发的任务,消耗了过多的能量,造成节点能量消耗不均衡的问题,导致其过早死亡会造成网络无法再对这一区域进行监控和依靠这些节点进行数据传输的节点无法将其所收集到的信息传送给锚节点,为了解决这个问题,对蚂蚁转移概率和局部信息素更新公式进行改进。

通过将节点剩余能量水平引入到基本蚁群算法的蚂蚁转移概率的计算公式中,改进公式如下:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{\frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha}{E(j)^\lambda} [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{i \in \text{allowed}_k} \frac{[\tau_{it}(t)]^\alpha}{E(i)^\lambda} [\eta_{it}]^\beta} \quad (5)$$

其中: 传感器节点 j 到目前为止所消耗的能量 $E(j) = C - P(j)$, C 为传感器节点的初始化能量, $P(j)$ 为节点 j 的剩余能量水平; λ 为定义的常量,指明了节点剩余能量对转移概率计算的影响程度。式(5)指出,在算法中每当一只蚂蚁 k 选择下一跳节点 j 时会考虑到该蚂蚁当前所处节点 i 到节点 j 的路径上信息素的含量水平 $\tau_{ij}(t)$ 、节点 j 已经消耗的能量 $E(j)$ 以及路径 (i,j) 之间的距离,可有效的提高网络的能量均衡水平,延长整个网络的生命周期。

与此同时,对局部信息素更新的改进公式如下:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q_{\text{global}}}{\left(C - \frac{P_{\min k}}{P_{\text{avgk}}}\right) L_k} \quad (6)$$

其中: Q_{global} 为一个全局设定的常量; L_k 为蚂蚁 k 从源节点到特定锚节点所走过的距离和; $P_{\min k}$ 为蚂蚁 k 在算法一次迭代过程中从源节点到目标节点间所记录的节点的最小剩余能量; C 为每个普通节点初始化时所具备的能量水平; P_{avgk} 为蚂蚁 k 在算法一次迭代的过程中所通过路径上所有节点剩余能量水平的平均值。

可以看出,式(6)兼顾了蚂蚁从源节点到锚节点所走过路径的总长度和路径中具有最小能量的传感器节点。如果只在路径信息素更新过程中考虑节

点能量问题,那么将使得该算法无法达到最短路由的目的。

从式(6)中可以清晰的看到,如果蚂蚁 k 经过的路径中某个传感器节点的能量剩余水平非常的低,那么该路径最后得到的信息素更新量也会受到负面影响。所以最后经过算法的多次迭代该路径会慢慢被蚂蚁所放弃。这样也保证了能量剩余水平低的传感器节点不会过多的参与到整体网络数据的传输活动中来,从而避免了该节点能量迅速的耗尽。相反的,如果一条蚂蚁经过的路径上所有传感器节点中剩余能量水平的最低值相对来说较高,那么该路径会获得相对较大的信息素更新量。最终改善网络能耗均衡的问题。

4 实验与性能分析

本文采用 NS2(Network Simulator2) 作为仿真平台,同时在 Cygwin 软件模拟的 Linux 环境下,使用 C++ 语言和 TCL 脚本语言联合编程的方式对 LEACH 协议进行改进和仿真。

本实验将使用文 [10] 中提出的传感器节点能量模型,该模型也是目前最为通用的传感器节点的能量模型。下面给出该模型的具体形式: $\varepsilon_{Tx} = (\beta_1 + \beta_2 r^n) b$; $\varepsilon_{Rx} = \gamma_1 b$ 。其中: ε_{Tx} 为节点无线发射模块所需要的能量, ε_{Rx} 为无线接收模块所需要的能量, β_1 、 β_2 、 γ_1 由传感器节点的硬件与无线环境所决定, r 为传输距离, b 为传感器节点的数据传输比特率。

实验包含 101 个节点,其中有 100 个普通节点和一个汇聚节点,分布在 $100 \times 100 \text{ m}^2$ 的区域范围内,汇聚节点的坐标为 (50,50),整个网络划分为 5 个簇,节点通信半径为 20 m,仿真时间为 3 600 s,算法仿真参数设置如表 1 所示。

表 1 算法仿真参数设置

参数设置	$\beta_1/$ (J·bit ⁻¹)	$\beta_2/$ (J·bit ⁻¹ ·m ⁻²)	$\gamma_1/$ (J·bit ⁻¹)	n (bit·s ⁻¹)	$b/$ (bit·s ⁻¹)	Q_{global}	G/J	α	β	γ	ρ
参数值	4.5×10^{-8}	10^{-11}	1.35×10^{-7}	2	4000	100	2	0.4	0.4	0.2	0.8

由于无线传感器网络路由算法设计的主要目标是尽可能地减少能量消耗,均衡能量消耗,以延长网络生命周期。因此,为了验证算法的性能,从节点存活轮数和能量消耗两个方面与原 LEACH 协议和基于基本蚁群算法的 LEACH-ANT 协议进行对比。图 3 为改进协议与 LEACH、LEACH-ANT 协议生命周期对比图。

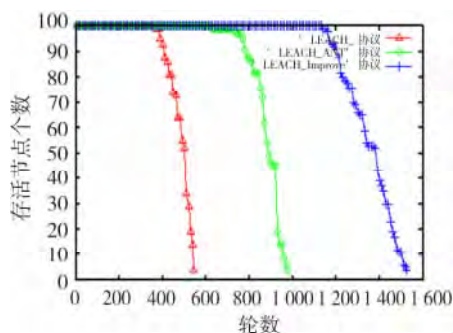


图3 改进协议与 LEACH、LEACH—ANT 协议生命周期对比

从图3中可以看出,改进协议在1520轮时第一个节点死亡,1520轮时节点全部死亡,而 LEACH 和 LEACH—ANT 协议分别在380、620轮时第一个节点死亡,550、980轮时全部节点死亡,因此改进协议的生命周期比 LEACH 和 LEACH—ANT 协议均要长,达到了预期的效果,证明了算法的有效性。

在能量消耗方面,全网共100个节点,每个节点的初始能量为2J,因此全网总能量为200J,图4为改进协议与 LEACH、LEACH—ANT 协议能量消耗对比图。

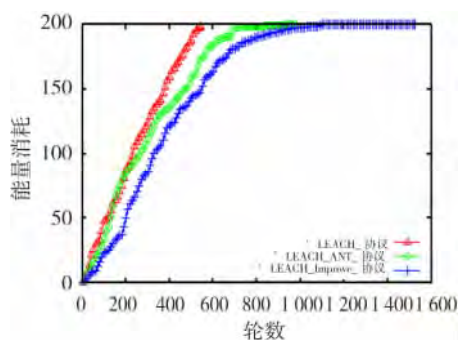


图4 改进协议与 LEACH、LEACH—ANT 能量消耗对比图

从图4中可以看出,LEACH 和 LEACH—ANT 协议分别在550、980轮时全网能量消耗殆尽,这正好与图3中得出的在550、980轮时全部节点死亡的结论相一致;而改进协议在1520轮时全网的能量消耗殆尽,与图3中得出的全部节点在1520轮时死亡的结论相一致。LEACH 协议节点全部死亡在约第550轮,此时全网

能量消耗为200J,LEACH—ANT 协议的全网能量消耗为169J,改进协议的全网能量消耗为157J,同时改进协议的图线趋于平缓,说明每轮改进协议比 LEACH、LEACH—ANT 协议消耗的能量要少,而且能量消耗更加均衡,有利的延长了网络的生命周期。

5 结 语

本文对基于蚁群算法的 WSN 路由协议进行了研究,进行了网络区域划分,改进了簇头选取方法和应用于建立簇间路由的基本蚁群算法,减少并均衡了网络能耗,延长了网络的生命周期。同时蚁群算法是群体智能算法,还存在收敛速度慢等缺点,以后可以考虑将蚁群算法进行进一步的改进,以期达到更好的效果。

参 考 文 献:

- [1] 宋飞. 无线传感器网络安全路由机制的研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009: 1-4.
- [2] 孙亚光. 基于蚁群算法的无线传感器网络路由协议的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011: 11-25.
- [3] 杨波. 基于蚁群算法的无线传感器网络路由协议研究 [D]. 西安电子科技大学通信工程学院学术年会, 2008: 1-5.
- [4] 刘晓东. 一种改进的蚁群 WSN 路由算法 [J]. 上海师范大学学报, 2008, 12(3): 265-270.
- [5] 李虎雄, 张克旺. 基于蚁群优化的无线传感器网络路由优化算法 [J]. 西北工业大学学报, 2012, 30(3): 356-360.
- [6] SALEHPOUR A A, MIRMOBIN B, AFZALI-KUSHA A, et al. An energy efficient routing protocol for cluster-based wireless sensor networks using ant colony optimization [J] // Innovations in Information Technology, International Conference on IEEE, 2008: 455-459.
- [7] 王林, 潘军. 无线传感器网络中基于能量优化的路由协议 ANT-LEACH [J]. 计算机应用, 2011, 31(11): 2891-2894.
- [8] 毕俊蕾, 李致远. 使用蚁群优化的 WMSNs 负载均衡路由方案 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(18): 80-84.
- [9] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 45-50.
- [10] MOHAPATRA P, LI J. Analytical Modeling and Mitigation Techniques for the Energy Hole Problem in Sensor Networks [J]. Pervasive Mobile Computing, 2007, 3(3): 233-254.

(编辑: 温泽宇)