

# 基于改进蚁群算法的 WSN 分簇路由机制研究

赵宏, 王灵霞

(兰州文理学院 网络中心, 兰州 730000)

**摘要:** 针对现有的用于无线传感器网络 (WSN) 的分簇路由协议, 存在着所有簇头直接与汇聚节点通信、远离汇聚节点的簇头能量消耗过快等一系列的问题, 根据蚁群算法 (ACA) 及 WSN 分簇路由算法的特点, 对 ACA 进行改进并引入到 WSN 分簇路由机制中, 提出一种基于改进蚁群算法的 WSN 分簇路由算法; 该算法将到汇聚节点的距离设定为启发函数以找到簇头下沉的最佳路径和提高蚁群算法的效率, 同时, 在选择节点概率公式时将该节点的剩余能量考虑在内, 在数据传输过程中, 减少了簇头节点的能量消耗, 进而实现节点能量的高效利用, 增强网络的使用寿命, 以实现网络通信的高效; 通过仿真, 结果表明, 该算法是可行的、有效的。

**关键词:** 无线传感器网络; 蚁群算法; 分簇路由; 启发函数; 剩余能量

## Clustering Routing Algorithm for WSN Based on Improved Ant Colony Algorithm

Zhao Hong, Wang Lingxia

(Lanzhou University of Arts and Science, Lanzhou 73000, China)

**Abstract:** In view of the clustering routing protocol currently used in Wireless Sensor Network (WSN), there are problems such as all cluster heads directly communicate with the aggregation nodes, the energy consumption of cluster heads away from the aggregation nodes is too fast, etc. Based on the characteristics of Ant Colony Algorithm (ACA) and the WSN Clustering Routing Algorithm, the ACA is improved and introduced into the WSN clustering routing mechanism, and then a WSN clustering routing algorithm with improved ACA is proposed. The algorithm sets the distance to the aggregation node as the heuristic function to find out the best path to cluster sinking and improve the ACA efficiency; at the same time, the residual energy of the node is taken into account at the selection of probability formula for the nodes, and the energy consumption of cluster nodes during data transmission is reduced, so that the node energy is utilized in high efficiency, the service life of the network is enhanced and more efficient network communication is achieved. Through simulation, the results show that the algorithm is feasible and effective.

**Keywords:** Wireless sensor network; Ant colony algorithm; Clustering algorithm; Inspired by the function; The remaining energy

## 0 引言

随着现代无线通信的迅速发展, 无线传感器网络 (WSN) 的研究就成为了一个研究的焦点, 它将网络分布区域的各种检测信息进行实时检测、感知和采集, 处理采集到的信息, 便可传给需要用户。无线传感器网络在军事、工业、医学、环境等领域都得到了广泛应用<sup>[1-3]</sup>。以无线通信方式连接起来的有限个微型传感器组成一种多跳自组织的无线网络为传感器网络。其中, 传感器节点由传感器节点和汇聚节点组成。无线网络的传输寿命受传感器节点的电池能量、存储容量和通信带宽等的影响。目前, 怎样延长无线网络的使用寿命是一大难题。网络路由是实现网络高效通信的基础, 这使得 WSN 的路由算法作为一项关键技术已经成为目前的研究热点。

基于路由协议逻辑结构的差异, 路由协议由平面路由协议和分簇路由协议组成<sup>[4]</sup>。其中, 分簇路由协议以节点能量的高

效利用而被广泛应用在 WSN 中。文献 [5-6] 提出了一种低能量自适应分簇路由 (LEACH) 算法的分簇协议。然而, 此算法依旧存在着所有簇头直接与汇聚节点通信、远离汇聚节点的簇头能量消耗过快等一系列的问题。

由上文分析, 本文详细分析了蚁群算法 (ACA) 和无线传感器网络分簇路由算法, 对 ACA 进行了改进并将其应用于 WSN 分簇路由机制中, 基于蚁群算法, 提出了无线传感器网络簇间路由算法 CRIAC (Clustering routing algorithm for WSN based on improved ant colony algorithm)。该算法将改进的蚁群算法应用到 WSN 分簇路由机制中, 使得在数据传输过程中, 减少了簇头节点的能量消耗, 从而能够高效地使用节点能量, 延长网络生命周期, 最终实现网络的高效通信。而本文主要完成从簇头节点到汇聚节点的多跳最优路径搜寻。

## 1 蚁群算法

蚁群算法是一种新型的模拟进化算法。目前, 该算法进行了很大改进, 通过引入正反馈并行机制, 其具有鲁棒性强和与其他类似算法易于结合等优点<sup>[7]</sup>。目前, 蚁群算法已经从最初的仅仅用于解决旅行商问题 (TSP), 发展到用于解决路径规划、任务调度等众多复杂问题的优化, 并得到了证实。

收稿日期:2014-04-07; 修回日期:2013-05-08。

**基金项目:** 甘肃省高等学校研究生导师科研项目 (1213-05); 甘肃省教育科学“十二五”重点课题 ([2012]GSGXZ07)。

**作者简介:** 赵宏 (1972-), 女, 甘肃渭源人, 硕士, 讲师, 主要从事网络安全、网络技术方向的研究。

信息素 (pheromone) 为蚂蚁在觅食过程中行进路上分泌的一种液体。蚂蚁就会通过该分泌物来寻找路径。假如该条路径上的分泌物越多, 其就意味着蚂蚁在这条路径上行走的可能性就越大。这种现象可以用正反馈现象解释, 该信息帮助蚂蚁来进行最短路径的选择。这样就导致一个路径上的信息素越积越多, 其他路径上的信息素就逐渐减少。

根据蚂蚁寻找食物的原理, 科学家们设计了寻找最优路径的基本蚁群算法, 主要步骤为:

- 1)  $m$  只蚂蚁从巢穴中出发寻找食物;
- 2) 蚂蚁在进行进路途中, 会在所经过的路上留下信息素 (pheromone)。在刚开始时, 路径上的信息素含量一样, 在  $t$  时刻, 设路径  $(i, j)$  上的信息素浓度为  $\tau_{ij}(t)$ , 且  $\tau_{ij}(0) = C$ ,  $C$  为常数。
- 3) 从巢穴出发的蚂蚁, 根据各条路径上的信息素浓度的大小来决定下一个所走的路径, 也就是转移方向, 其中转移概率下定义:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_K(i)} [\tau_{\mu j}(t)]^\alpha \times [\eta_{\mu j}(t)]^\beta}, & j \in J_K(i) \\ 0, & j \notin J_K(i) \end{cases} \quad (1)$$

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}} = \frac{1}{\sqrt{(x_j - x_i)^2} + \sqrt{(y_j - y_i)^2}} \quad (2)$$

其中: 在  $t$  时刻蚂蚁  $k$  由节点  $i$  转移到节点  $j$  的状态转移概率用  $p_{ij}^k(t)$  表示, 其中  $k = 1, 2, 3 \dots m$ ; 在  $t$  时刻在路径  $(i, j)$  连线上残留的信息量用  $\tau_{ij}(t)$  表示; 由城市  $i$  转移到城市  $j$  的期望程度用  $\eta_{ij}(t)$  表示, 被称为先验知识,  $d_{ij}$  节点  $i$  到节点  $j$  之间的距离; 信息启发式因子记作  $\alpha$ , 其直接反应了路径上信息素的浓度; 期望启发式因子记作  $\beta$ , 其直接反应期望值的重要性; 蚂蚁  $k$  在节点  $i$  下一跳所能到达的节点的集合记作  $J_k(i)$ , 即蚂蚁  $k$  在节点  $i$  的邻居节点集合。

4) 当一只蚂蚁到达觅食源时, 对路径上的信息素进行更新以保证启发信息的有效性。按照式 (3)、(4) 和 (5) 的规则对  $(t+n)$  时刻路径  $(i, j)$  上的信息素进行更新。

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

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

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{d_{ij}}, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁在 } t \text{ 和 } t+1 \text{ 之间经过 } (i, j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $n$  为所经过节点的数目; 信息素挥发系数记作  $\rho$ , 为避免信息素积累过度,  $A_c \in [0, 1)$ , 信息的残留系数记作  $1-\rho$ ;  $Q$  是一个常量, 其代表蚂蚁完成任务, 也就是到达食物源的过程中在经过的路径上所释放的信息素总量。

## 2 基于改进蚁群的簇间路由算法 (CRIAC)

### 2.1 通信模型

根据分簇路由协议的特点, 通常状况下, WSN 由多个簇组成, 其中任何一个簇由一个簇头和多个簇成员组成, 多个簇头组合在一起形成一个更高级网络<sup>[9]</sup>。簇中的节点由簇头节点和簇内成员节点组成, 其中簇内成员节点完成收集数据并传输

给所属簇的簇头的任务, 簇头节点对收集到的数据进行融合处理并以单跳或者多跳的方式传至汇聚节点。

定义 1: 簇头节点有效通信距离: 簇头节点所能实现正常持续通信的距离;

定义 2: 簇头节点物理距离: 簇头节点在地里位置上的实际直线距离;

定义 3: 邻居簇头节点: 在簇头节点  $i$  有效通信距离内的所有其他节点称为簇头节点  $i$  的邻居簇头节点。

簇头节点之间通信的约束条件为: 簇头节点有效通信距离大于物理距离。

基于蚂蚁觅食原理, 当要搜寻从簇头节点  $i$  到汇聚节点的路由时, 我们就分配  $m$  只蚂蚁至簇头节点  $i$ , 这样任何一只蚂蚁就会在簇头节点  $i$  和汇聚节点之间寻找最优路径, 通过大量的搜索后, 便会形成一条最优路径。

### 2.2 CRIAC 算法及实现

基于改进蚁群算法的 WSN 簇间路由算法 (CRIAC) 存在周期性回合, 其中任何一个回合都是由分成簇形成阶段和簇间路由阶段组成<sup>[10]</sup>。首先进行簇的形成阶段, 然后进行簇间路由阶段。在第二阶段, 首先用改进的蚁群算法进行簇头节点到汇聚节点的寻优过程, 当每一个簇头到汇聚节点的最优路径均产生以后, 再进行数据的传输。然后使簇头节点沿着最优路径进行数据的传输, 直到某个簇头节点能量低于某个固定的常值时, 进入到下一个回合, 重新选择簇头, 寻找最优路径和进行数据的传输。

#### 1) 簇形成阶段:

由于本文所要研究的是簇头节点到汇聚节点的最优路径的寻找, 故此阶段省略, 假设簇形成阶段已经完成。

#### 2) 簇间路由阶段:

该阶段分为两个部分, 第一部分为最优路径的建立, 即本文所提出的采用改进的蚁群算法来进行簇头节点到汇聚节点最优路径的搜索; 完成数据的传输, 从而保证簇头节点沿着之前所形成的最优路径传输数据到汇聚节点, 直到出现有簇头节点的能量值低于一个固定的常值时, 再次进入到下个回合, 依次进行簇的形成阶段和簇间路由阶段。

#### 2.2.1 最优路径的建立

采用 CRIAC 算法进行最优路径的实现过程如下。

步骤 1: 在每个簇头节点上放置  $m$  只蚂蚁, 设置 3 个矩阵和一个单元数组, 分别为 *Tabu*、*PL*、*Shortest-path* 和 *Routes*, 并且初始化它们。*Tabu* 用来记录蚂蚁访问过的簇头节点; *PL* 用来存储每次迭代中每只蚂蚁爬行的路线长度, *Shortest-path* 用来存储每次迭代的最短路径, *Routes* 存储每只蚂蚁的爬行路线所依次经过的簇头节点。

步骤 2: 每个簇头节点上的这  $m$  只蚂蚁依据概率选择公式  $p$  来选择下一个所要到达的簇头节点,  $p$  由表达式 (6) 和 (7) 计算所得。之后在 *Tabu* 中添加已经访问的簇头节点, 此路径的长度也会相应的增加到 *PL* 中, *Routes* 也会记录下来此节点, 且在蚂蚁所走过的每一条边上都会进行信息素的更新, 此局部更新表达式如 (8)。重复步骤 2 直到从每个簇头出发的  $m$  只蚂蚁均访问到汇聚节点。

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_K(i)} [\tau_{i\mu}(t)]^\alpha \times [\eta_{i\mu}(t)]^\beta}, & j \in J_K(i) \\ 0, & j \notin J_K(i) \end{cases} \quad (6)$$

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij} + d_{jN}} \quad (7)$$

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \frac{Q}{d_{ij}} \quad (8)$$

其中： $E_j$  表示簇头节点  $j$  的当前可用能量， $d_{jN}$  表示节点  $j$  到汇聚节点(用  $N$  表示) 的距离。在状态转移概率表达式中，本文考虑了 3 个因素，分别是信息素浓度，启发函数，和节点的当前可用能量。一方面，启发函数与之前提到的。 $\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}}$  有所区别，还更多的考虑了下一跳节点与汇聚节点之间的距离，这样会使得收敛速度更快；另一方面，在基本蚁群算法基础上，我们还考虑了节点的当前可用能量。

无线传感器网络是有生命周期的，网络的生命周期为网络开始建立到网络中出现第一个能量消耗尽的节点这段时间<sup>[11]</sup>。自身受到能量有限，不能及时进行能量供给的制约，所以对能量高效利用，可以延长网络的生命周期。同时要均衡网络的能量消耗情况，避免出现部分节点的负载过量的情况<sup>[12]</sup>。本文中，在进行下一跳节点的选择时，加入了对能量的考虑，能够均衡网络能量消耗，避免了那种低能耗节点被选择的可能，所以便会保证此类节点的存活，从而达到了延长网络生命的周期。

在表达式 (8) 中，信息素的更新与此路径的距离成反比，即路径越短的，所增加的信息素会越多，这样会使得短路径上信息素浓度大，从而被选择的可能性也会变大。

步骤 3：从每一个簇头节点的  $m$  只蚂蚁中选取一只拥有最优函数的蚂蚁，选取它的路径为本次迭代的最优路径，最优函数如下定义：

$$F = \max(f(m)) = \max\left(\frac{e\_average(m)}{length(m)}\right) \quad (9)$$

其中： $e\_average(m)$  表示第  $m$  只蚂蚁所经过的所有节点的平均剩余能量， $length(m)$  表示第  $m$  只蚂蚁所经过的路径的总长度。从表达式 (9) 不难看出，最优函数表明我们所选择出来的路径是一条路径距离最短且路径上点的平均剩余能量最多的路径，既考虑了选择最短路径，又没有忽略能量在节点选举中的影响，从而达到了选择最短路径和平衡网络负载两种要求，提高了网络能量的利用率，延长了网络的生命周期。

步骤 4：对一步骤中选择出来的最优路径进行信息素的更新，使得此最优路径上的信息素浓度更大，优于其他路径，使得后来的蚂蚁在选择路径时会更倾向于选择此路径。更新表达式如 (10) 示：

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \frac{Q}{best\_length} \quad (10)$$

其中： $best\_length$  表示最优路径的长度。信息素更新之后，重复步骤 2、3 和 4，直到所有簇头节点都找到自己到汇聚节点的最优路径。

### 2.2.2 数据的传输

当最优路径均建立好之后，簇间路由机制便开始进入数

据的传输这一阶段。每个簇头节点将会沿着它们各自的最优路径开始进行数据的传输，直到出现有簇头节点的当前可用能量低于我们所指定的常数值时，进行下一个回合，重新进行簇头的选举，路径的寻优以及数据的传输。

## 3 仿真实验与分析

为了验证本文提出的 CRIAC 算法在无线传感器网络中寻找簇头节点到汇聚节点最优路径上的优越性，本实验在基于 Matlab 平台上进行了路径寻优的仿真。具体的仿真环境为：在  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  的正方形区域内随机布置 102 个簇头节点，汇聚节点的坐标为 (10, 10)，如图 1 所示。算法参数为：

$M = 102, K = 100, \alpha = 1, \beta = 5, \rho = 0.5, Q = 100, M$  为蚂蚁数目,  $K$  为迭代次数。

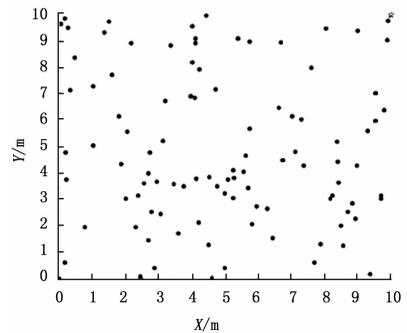


图 1 节点随机分布图

在无线传感器网络中，本文所提出的 CRIAC 算法在其路径寻优过程中，有两个改进启发函数的改进和状态转移概率中加入了节点当前可用能量的考虑。为了验证 CRIAC 算法中两个改进点的可行性及优越性，我们引进一个中间过渡的算法称为算法 1。

同 CRIAC 算法一样，算法 1 也是在基本蚁群算法的基础之上，对其启发函数和信息素更新法则做了相应的改进，同样采用公式 (7)，(8)，(9)，(10)。但在转移概率中却没有考虑能量问题，依然采用的是公式 (1)，而没有采用公式 (6)，所以它相当于 CRIAC 算法中的第一个改进点。

通过对算法 1，CRIAC 算法和基本蚁群算法它们二者之间的模拟仿真比较，来直观的说明给出的 CRIAC 算法的有效性。

1) 算法 1 与基本蚁群算法的比较如图 2~3 所示。

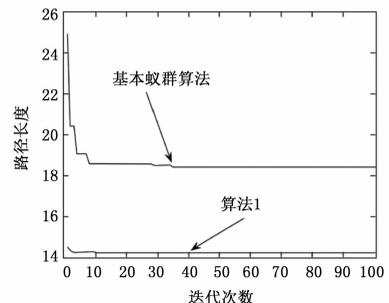


图 2 算法 1 与基本蚁群算法对于最短路径长度的对比

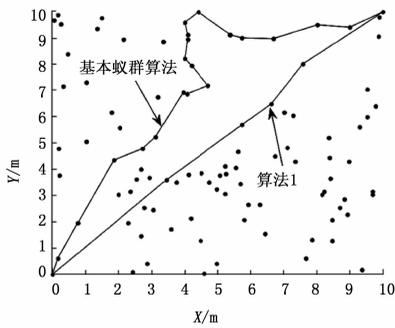


图 3 算法 1 与基本蚁群算法对于最优路径的对比

从图 2 可以看出, 在迭代次数 100 次以内, 算法 1 的最短路径长度明显小于基本蚁群算法, 从而也可说明算法 1 的快速收敛性; 从图 3 可以看出, 显然, 算法 1 得出的最优路径优于基本蚁群算法。因此, 本文对基本蚁群算法中启发函数进行了一定的改进 (算法 1) 会使得形成的最短路径更快、更好, 从而也能说明 CRIAC 算法第一个改进点的优越之处。

2) 算法 1 和 CRIAC 算法的比较如图 4~5 所示:

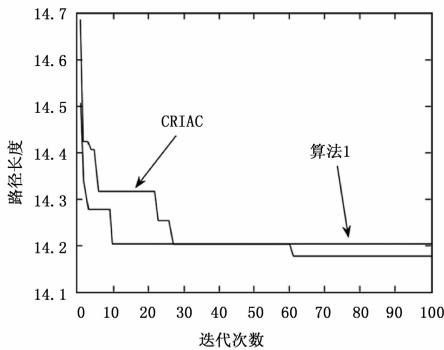


图 4 算法 1 与 CRIAC 算法对于最短路径长度的对比

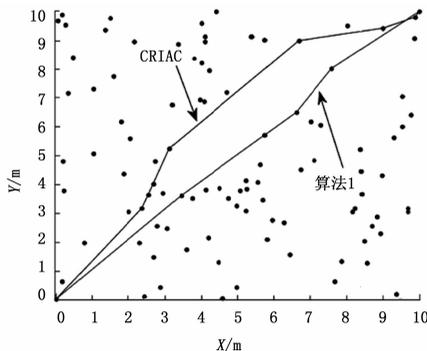


图 5 算法 1 与 CRIAC 算法对于最优路径的对比

对于启发函数, 这两种算法都进行了改进, 但是在 CRIAC 算法中, 增加了状态转移概率的有改进, 也就是把节点的能量考虑了进去。从图 4 可以看出两种算法的最短路径的长度没有很大的区别, 均优于基本蚁群算法。但是在图 5 中, 对于最优路径的产生它们却有了明显的不同。虽然 CRIAC 算法所得到的最优路径在长度方面没有算法 1 好, 但是它却是考虑了节点的当前可用能量, 可以均衡节点负载, 避免某些具有低能量的节点被过多的选择, 从而导致出现节点失效的情况。所以, 综合考虑, 在无线传感器网络最优路径的寻找中, CRIAC 算法优于算法 1 和基本蚁群算法, 能够找到距离短且均衡网络负载的最优路径, 提高网络能量利用率, 延长网络寿命。

### 4 结论

本文将改进的蚁群算法应用到无线传感器网络的簇间路由机制中, 提出了一种基于改进蚁群算法的 WSN 分簇路由算法。通过仿真, 结果表明, 该算法在最短路径搜索和均衡网络负载方面的性能都得到了改进和提高。通过应用网络簇间路由算法, 会延长了网络的生命周期。但是, 如何有效提高网络的能量利用率方面, 使网络的生命周期最大化, 这方面工作还有待于进一步的加强, 这也将是我们接下来所要进行的任务。

### 参考文献:

- [1] 苏 森, 钱 还, 王煦法. 基于蚁群的无线传感器网络双簇头算法 [J]. 计算机工程, 2012, 34 (13): 174-176.
- [2] Li H, Yang S L, et al. Overall energy-balanced routing protocol [J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 46 (2): 86-90.
- [3] 鲍 荣, 潘 浩, 董齐芬, 等. 基于信息素扩散模型蚁群算法的无线传感网路由研究 [J]. 传感技术学报, 2011, 24 (11): 1644-1648.
- [4] Rahman K C. A Survey on Sensor Network [J]. Journal of Computer and Information, 2010, 1 (1): 76-87.
- [5] 何延杰, 李腊元. WSN 中一种能量均衡的分簇路由协议的设计 [J]. 传感技术学报, 2011, 22 (10): 1500-1514.
- [6] 朱子健, 赵广社. WSN 非对称集中式能量有效路由算法 [J]. 计算机工程, 2012, 35 (3): 155-157.
- [7] 庄 雄, 杨永明, 丁 唯, 等. 一种消除无线传感器网络簇间干扰的 TDMA 协议及实现 [J]. 传感技术学报, 2011, 22 (8): 1186-1192.
- [8] 王 健, 朱建启. 全局自适应蚁群优化算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2010, 6 (6): 1083-1087.
- [9] 韩冬雪, 张瑞华. 基于 PSO 的无线传感器网络双簇头分簇算法 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (10): 100-102.
- [10] 刘述钢, 刘宏立, 詹 杰, 等. 无线传感器网络中能耗均衡的混合通信算法研究 [J]. 通信学报, 2012, 30 (1): 12-17.
- [11] 田 炜, 杨 震. 新的位置感知分簇算法 [J]. 通信学报, 2010, 31 (3): 25-30.
- [12] Wang G, Wang Y, Tao X. Clustering Routing Algorithm for Wireless Sensor Network Based on Ant Colony [J]. Computer Engineering, 2013, 36 (18), 73-75.