

# 蚁群算法在无线传感器网络路由中的应用研究

杨靖<sup>1,2</sup>, 林溢<sup>2</sup>, 熊伟丽<sup>1</sup>, 徐保国<sup>1</sup>

YANG Jing<sup>1,2</sup>, LIN Yi<sup>2</sup>, XIONG Wei-li<sup>1</sup>, XU Bao-guo<sup>1</sup>

1. 江南大学 通信与控制工程学院, 江苏 无锡 214122

2. 贵州大学 教务处, 贵阳 550025

1. School of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

2. Office of Academic Affairs, Guizhou University, Guiyang 550025, China

E-mail: yj.china@126.com

**YANG Jing, LIN Yi, XIONG Wei-li, et al. Research of ant colony algorithm on routing in wireless sensor networks. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(22): 13-15.**

**Abstract:** It is one of the central problems in Wireless Sensor Networks (WSNs) to design rational routing algorithm. The paper proposes a new unicast routing algorithm for WSNs based on Ant Colony Algorithm (ACA). The algorithm uses the positive feedback and distributed computation to find routing. The simulation result shows that the algorithm is rational and efficient, and the convergent speed and robustness of the algorithm are better than that of the typical unicast routing algorithm.

**Key words:** Ant Colony Algorithm (ACA); Wireless Sensor Networks (WSNs); unicast; routing

**摘要:** 设计合理的路由算法是无线传感器网络中的核心问题之一。基于蚁群算法提出了一种可用于无线传感器网络的单播路由算法, 该算法利用蚁群算法正反馈及分布式计算的特点寻找从源节点到目的节点的最少跳数路径。仿真实验证明了该算法是合理的及有效的, 具有可扩展性的特点, 同时在收敛速度和鲁棒性上优于典型的单播路由算法。

**关键词:** 蚁群算法; 无线传感器网络; 单播; 路由

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.22.004 **文章编号:** 1002-8331(2008)22-0013-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

## 1 引言

无线传感器网络利用集成化的微型传感器间的协作, 可对监控对象的相关信息感知、检测、处理; 并通过合理地设计路由协议及路由算法, 可将数据以自组织多跳方式传送到用户终端。

路由算法的作用是初始化并维护包含路径信息的路由表。路由算法在路由协议的帮助下确定相应的路由表, 通常路由算法可分为单播<sup>[1]</sup>、多播以及广播路由算法。

蚁群算法<sup>[2,3]</sup>是一种群体智能算法, 通过候选解组成的群体在不断进化中寻求最优解, 最初用于解决组合优化问题中的旅行商问题<sup>[4]</sup>、二次分配问题 (Quadratic Assignment Problem, QAP) 等问题, 并取得了较好的效果。蚁群算法具有分布式并行计算、自组织、正反馈的特点, 且有较强的鲁棒性。

在无线传感器网络中, 除了多播和广播方式以外, 单播也是一个很重要的任务, 这是因为在 WSNs 中, 很多情况下是某个节点将监控数据传送到汇聚节点。文献[5, 6]介绍了蚁群算法在传统网络中的应用, 由于无线传感器网络自身的特点, 传统网络的路由协议不能很好地适用于无线传感器网络。本文根据无线传感器网络的特点, 将蚁群算法用于无线传感器网络, 提

出了一种新的单播路由算法——基于蚁群算法的随机漫步路由算法 RWRA (Random Walk Routing Algorithm based on ACA)。该算法在基本蚁群算法的基础上引入约束条件, 加快了算法的收敛速度; 同时考虑到实际使用环境中节点的计算能力及存储能力有限, 算法尽量简化执行步骤, 降低了计算开销。

算法基本思想:

(1) 采用一组“蚂蚁”个体作为人工代理进行并行搜索, 寻找从源节点到目的节点的最优路径;

(2) 采用局部搜索和全局搜索相接合的方式; 同时采用变异策略, 避免算法过早收敛;

(3) 采用两种类型的“人工蚂蚁”分别执行不同信息素更新算法, 协同完成建立路由的过程。

## 2 基于蚁群算法的随机漫步路由算法

### 2.1 算法模型描述

该路径寻优问题属于 NP 类问题, 可以参照蚁群算法求解 TSP 问题的模型, 设每个无线传感器节点对应基本蚁群算法中的城市, 节点间需传送的数据包对应人工蚂蚁; 文中实际是利

**基金项目:** 国家科技部“863”研究计划 (the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA10A301, No.2006AA10Z335); 贵州省科技基金 (No.黔科合 GY 字(2007)3044)。

**作者简介:** 杨靖 (1973-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、群体智能等; 林溢 (1973-), 男, 实验师, 主要研究方向为数据库管理等; 熊伟丽 (1979-), 女, 讲师, 博士, 主要研究方向为无线传感器网络、群体智能等; 徐保国 (1950-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线传感器网络、现场总线等。

**收稿日期:** 2008-03-03 **修回日期:** 2008-04-25

用从源节点出发的人工蚂蚁试探搜索到目的节点的最优路径(跳数最少),约束条件是节点间实际通信的距离小于节点额定的通信距离。

该问题的数学描述:在无线传感器网络中有  $n$  个节点的集合  $Z=\{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}$ , 其中令  $z_i$  为目的节点, 寻找除  $z_i$  外的某个节点到  $z_i$  的最少跳数, 令  $t_{ij}$  为节点  $i$  到节点  $j$  的跳数, 则该问题的跳数矩阵可以用  $T=(t_{ij})$  表示, 若  $i, j$  间无连接,  $t_{ij}=0$ , 则寻找从节点  $i$  到  $n$  的通路  $\mu$ , 使得跳数最少, 即  $\text{Min}T(\mu)=\sum_{i_j \in \mu} t_{ij}$ ,

$T(\mu)$  为从  $i$  到  $n$  的跳数,  $t_{ij}$  表示  $i$  到  $j$  的跳数; 约束条件  $L_{ij}$  小于  $P_{ij}$  ( $L_{ij}$  为节点  $i, j$  间实际距离,  $P_{ij}$  为节点通信半径)。

基于以上分析, 建立基于蚁群算法的模型如下:

蚁群算法有 3 种基本模型: 在 ant-cycle 模型中, 蚂蚁完成整个循环后才更新路径上的信息; 而在 ant-quantity 模型和 ant-density 模型中, 蚂蚁在完成每一步搜索后即更新路径信息。文中综合了这几种算法的优点, 在路由搜索阶段使用 ant-quantity 模型求解; 在路由建立阶段使用 ant-cycle 模型进行求解。

基本参数有节点数  $N$ , 人工蚂蚁数  $m$ , 循环最大代数  $N_{\max}$ , 跳数  $JNum$ , 信息素  $\tau_{ij}$ , 增量  $\Delta\tau_{ij}$ , 节点有效通信距离  $L=\text{常数}$ , 节点物理距离  $d_{ij}=\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}$ 。

信息素调整公式:

$$\tau_{ij}(t, t+1)=(1-\rho) \times \tau_{ij}(t)+\Delta \tau_{ij}^k(t, t+1) \quad (1)$$

信息素增量公式:

$$\Delta \tau_k(i, j)=\frac{Q}{d_{ij}} \quad (2)$$

$$\Delta \tau_k(i, j)=\frac{Q}{L_k} \quad (3)$$

搜索概率公式:

$$P_{ij}=\frac{\tau_{ij}^{\alpha} \times \eta^{\beta}}{\sum_k \tau_{ij}^{\alpha} \times \eta^{\beta}} \quad (4)$$

s.t.  $d_{ij} \leq L$  或者  $d_{ix} > d_{jx}$

式(1)中  $0 \leq \rho \leq 1$  为信息素消逝速率; 式(2), 式(3)中,  $Q=1 \sim 100$  之间的一整数; 式(4)是搜索概率和约束条件,  $d_{ix}$  是当前节点到目的节点的距离,  $d_{jx}$  是下一可能节点到目的节点的距离,  $P_{ij}$  为下一步搜索概率。

## 2.2 算法设计

### 2.2.1 算法规则及步骤

设在无线传感器网络中有  $n$  个节点, 节点位置已知, 目的节点通过广播方式公布了自己的位置。下面算法完成从源节点到目的节点的路由。

(1) 算法规则

**规则 1** 从源节点出发  $m$  只搜索蚂蚁, 搜索蚂蚁携带信息为当前跳数及经过的节点号。

**规则 2** 人工蚂蚁共有两种类型: 搜索蚂蚁(完成路径搜索), 路径建立蚂蚁(保存路由信息)。搜索蚂蚁按公式(1)、(2)更新信息素; 路径建立蚂蚁按公式(1)、(3)更新信息素。

**规则 3** 路径建立蚂蚁执行变异操作, 即路径建立蚂蚁返回时按小概率从邻居节点中随机选择一个节点作为下一跳节点。

**规则 4** 搜索蚂蚁按公式(4)寻找下一跳节点。

**规则 5** 搜索蚂蚁如果在一跳内就找到目的节点, 该人工

蚂蚁将不再参与后续搜索。

**规则 6** 搜索蚂蚁每代搜索停止条件为超出限制跳数或搜索节点已为目的节点。总停止条件为总循环代数已满。

(2) 算法步骤

**步骤 1** 将搜索蚂蚁放置在源节点上, 初始化跳数计数器  $JNum=1$ , 循环次数计数器  $Nmax=C$  (常数), 将源节点加入禁忌表, 信息素初始值  $\tau_{ij}(0)=0.1, \Delta\tau_{ij}(0)=0$ 。

**步骤 2** 搜索蚂蚁按规则 2, 规则 4 寻找下一跳节点, 更新禁忌表。

**步骤 3** 搜索蚂蚁按公式(1)、(2); 路径建立蚂蚁按公式(1)、(3)更新各路径上的信息素值。

**步骤 4** 按规则 5、规则 6 判断是否每只人工蚂蚁均满足迭代终止条件, 不满足条件的人工蚂蚁返回步骤 2 继续执行搜索, 如满足停止条件则保存当前最优解。

### 2.2.2 非通路

利用上述算法选择下一跳节点时, 有可能出现非通路现象。如图 1 所示, 如搜索从节点 1 到节点 6 的路径时, 按上述算法, 会形成如图所示的非通路, 即搜索到节点 5 时, 按以上算法, 人工蚂蚁将找不到到节点 6 的合适路径。

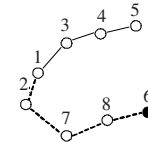


图 1 非通路示意图

从图 1 可以看出, 当人工蚂蚁搜索到节点 5 时, 由于与节点 5 相连的所有节点都在禁忌表中, 这可以当成判断非通路出现的条件: 即当某个节点的邻居节点都在禁忌表中时, 有非通路存在。此时, 人工蚂蚁将回退到上一跳节点, 同时将当前节点置入禁忌表中, 然后从上一跳节点重新开始搜索, 直至找到目的节点的路径。

## 3 算法复杂性分析及仿真

### 3.1 算法复杂性分析

鉴于基本蚁群算法具较高的时间复杂度, 所以针对所用算法在文中的时间复杂度进行分析。文中算法寻找的是从源节点到目的节点的最优路径, 当人工蚂蚁按公式(4)选择下一跳节点时, 只需搜索邻居节点, 而非除禁忌表中节点外的所有节点, 总体上降低了计算次数。且因文中采用的算法是分布式并行算法, 所以算法的时间复杂度情况可以通过任一只人工蚂蚁在搜索过程中遇到的最坏情况来计算。

设在网络中有  $n$  个节点,  $m$  只人工蚂蚁, 总循环代数为  $Nmax$ 。对任一只人工蚂蚁来说, 最坏的搜索情况是从起始节点出发, 经过了除目的节点外的所有节点后才到目的节点, 则在这种情况下的时间复杂度为  $O(Nmax \times m \times (n-1)^2)$ , 在考虑搜索约束条件后, 算法的时间复杂度将小于  $O(Nmax \times m \times (n-1)^2)$ 。

### 3.2 仿真

文中仿真实验主要验证该算法的可扩展性、算法的时间复杂度及路径跳数、鲁棒性。按无线传感器网络中节点的布撒特点, 节点间是连通的。

#### 3.2.1 可扩展性

将传感器节点布置在  $240 \times 240$  的矩形区域中, 分别采用标

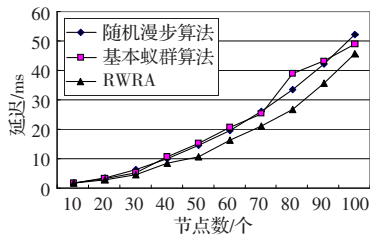


图3 时间复杂度比较

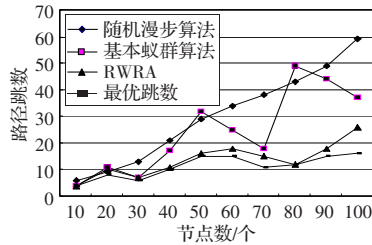


图4 各算法路径跳数比较

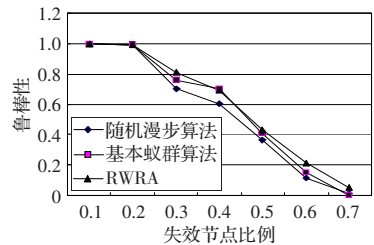


图5 鲁棒性比较

准网格方式及随机布置方式生成节点坐标。假定所有节点位置布置后保持不变,且位置情况已知, $\alpha=2, \beta=2, \rho=0.1, Q=1, d_{ij}=50$ (图2(a)), $L=50, N_{max}=40$ ,人工蚂蚁数为节点数减1。

从图2(a)、图2(b)可以看出,不论节点是采用标准网格布置,还是随机布置,各节点均能找到到目的节点的最优路径(图中目的节点分别为16号和20号节点)。

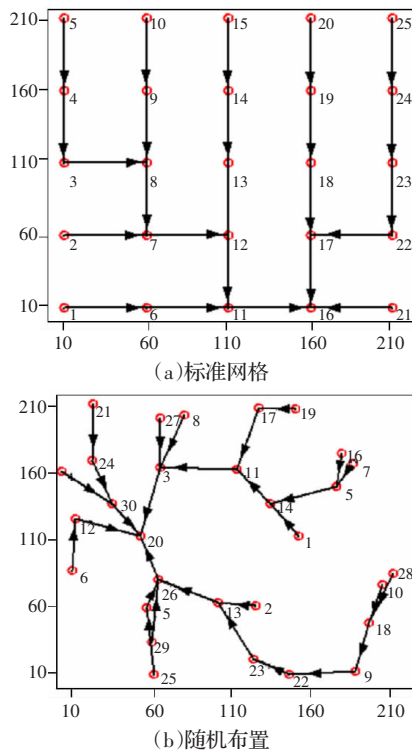


图2 不同拓扑结构时的路由情况

图2表明即使网络拓扑方式发生改变,文中算法仍能搜寻出合适的路由,所以算法具有可扩展性和自适应性。

### 3.2.2 时间复杂度及路径跳数

网络规模:仿真区域大小为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ ,节点数10~100。 $\alpha=2, \beta=2, \rho=0.1, Q=1, L=25\text{ m}, N_{max}=40$ ,人工蚂蚁数为10。选择地理位置最远的两个节点分别作为源节点和目的节点进行单播多跳仿真实验。实验数据为执行算法100次,然后取平均值作为寻径时间。

图3是文中算法与基本蚁群算法、典型随机漫步算法在时间复杂度上的比较。从图3可以看出,在网络规模较小时,3种算法找到合适路径的时间基本相同,但随着网络规模的增大,RWRA算法比其他两种算法找到最优路径的时间要短。

图4是文中算法与基本蚁群算法、典型随机漫步算法在路径跳数上的比较。从图4可以看出,在相同网络规模下,文中算法所需的跳数最接近最优跳数。

### 3.2.3 鲁棒性

鲁棒性实验主要是检测路由算法的容错能力。网络规模:仿真区域大小为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ ,节点数60。随机选取10%~70%的节点作为失效节点,其余参数与时间复杂度实验相同。

图5是文中算法与基本蚁群算法、典型随机漫步算法在鲁棒性上的比较。从图中可看出,在失效节点数较少时,三种算法的鲁棒性都较好,这是由于实验的节点密度较高,少数节点的失效不会影响节点间的连通。但随着失效节点的增多,鲁棒性会变得更差。从总体上看,RWRA的鲁棒性略高于其他两种算法。

## 4 结语

在无线传感器网络中,很多情况下监控节点需将监测数据传送到汇聚节点,可以通过单播路由算法完成该项任务。本文基于随机漫步的思想,结合蚁群算法的优点,提出了一种可用于无线传感器网络的单播路由算法。经仿真验证该算法具有下面几个特点:

(1)算法简单直观。充分利用蚁群算法的优点,通过引入搜索约束条件降低了计算的复杂度,提高了算法的收敛速度;同时尽量简化计算公式,降低了节点的计算开销。

(2)算法可扩展性好,能适应网络拓扑结构的变化。

(3)算法维护简单,节点仅需维护与邻居节点的链路信息。

**定义1** 节点有效通信距离:节点按通信功率要求所能实现正常持续通信的距离。

**定义2** 节点物理距离:节点在地理位置上的直线距离。

**定义3** 邻居节点:在节点*i*通信距离内的所有其他节点称之为节点*i*的邻居节点。

## 参考文献:

- [1] Gomez J, Campbell A T, Naghshineh M, et al. Conserving transmission power in wireless ad hoc networks[C]//Proceedings of the 9th International Conference on Network Protocols(ICNP), Nov 2001.
- [2] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. An investigation of some properties of an "ant algorithm"[C]//Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference. Brussels, Belgium: Elsevier Publishing, 1992: 509-520.
- [3] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies[C]//Proceedings of the First European Conference on Artificial Life. Paris, France: Elsevier Publishing, 1992: 134-142.
- [4] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colonies for the traveling salesman problem[J]. BioSystems, 1997, 43(2): 73-81.
- [5] Heissenbittel M, Braun T. Ants-based routing in large scale mobile ad hoc networks[C]//Proceedings of the Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS 2003), Leipzig, Germany, 2003: 91-99.
- [6] Camara D, Loureiro A A F. A GPS-ant-like routing algorithm for ad hoc networks[C]//Proceedings of the 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Chicago, 2000(3): 1232.