

文章编号:1001-9081(2007)08-1849-03

## 基于多态蚁群系统的无线传感器网络数据聚集算法

廖新飞<sup>1</sup>, 陶利民<sup>2</sup>

(1. 温州职业技术学院 计算机系, 浙江 温州 325035;

2. 杭州师范大学 信息科学与工程学院, 杭州 310036)

(liaoxinfei@yahoo.com.cn)

**摘 要:**针对无线传感器网络能量受限的特点,将多态蚁群系统原理用于无线传感器网络的数据查询和聚集中,提出并仿真实现了一种能够均衡无线传感器网络能耗的算法。仿真结果表明,基于多态蚁群系统的无线传感器网络数据聚集算法能够有效延长无线传感器网络在执行数据查询和聚集任务时的生存时间。

**关键词:**多态蚁群系统;无线传感器网络;数据聚集;均衡能耗

**中图分类号:**TP393.04 **文献标志码:**A

## Data gathering algorithm based on polymorphic ant colony in WSN

LIAO Xin-fei<sup>1</sup>, TAO Li-min<sup>2</sup>

(1. Department of Computer, Wenzhou Vocational and Technical College, Wenzhou Zhejiang 325035, China;

2. School of Information Science and Engineering, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang 310036, China)

**Abstract:** Wireless Sensor Networks (WSN) has the characteristics of energy limit. A balanced energy consumption algorithm for WSN was proposed and simulated by using polymorphic ant colony principle in data query and aggregation. Simulation results show that the proposed algorithm can effectively extend life cycle when executing data query and aggregation.

**Key words:** polymorphic ant colony system; Wireless Sensor Networks (WSN); data gathering; energy balance

## 0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点,通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并发送给观察者。在实际应用中,通过对传感器网络所获得的感知数据进行查询和分析,可以对物理世界进行有效地监测,而聚集操作是查询中经常使用的操作。聚集操作的处理技术是传感器网络查询处理的关键<sup>[1]</sup>。

传感器节点电源能量、通信能力、计算和存储能力有限,是在实现各种网络协议和应用系统时的一些现实约束条件。其他一些约束条件与这三个条件都有重要的关联。因此,如何实现这三个条件成为有效开发无线传感器网络数据聚集方法的中心问题。目前,无线传感器网络数据聚集技术主要有集中式与分布式聚集技术、流水线聚集技术等。在集中式聚集技术中,所有的传感器首先将数据都传送到客户端,然后再客户端执行聚集。分布式聚集技术<sup>[2,3]</sup>是指在传感器网络内由多个传感器节点协作执行聚集操作,即在感知数据路由的过程中每个经由的传感器节点完成部分或全部聚集,最后将聚集结果路由到客户端。在传感器网络内进行聚集计算时,由于无线通信失败、节点移动等原因,很难保证计算结果的完全正确。流水线聚集技术<sup>[2,3]</sup>是解决聚集正确性的一种有效方法。但是,这些方法忽略了一点:传感器节点以无线通道的形式进行通信<sup>[2,3]</sup>。信息以广播方式发送,在通信范围内的

所有节点都可以接收到数据包。根据共享通道的特点,可以利用一些优化方法来减少通信量,并增加通信失败时聚集结果的准确性。

在分析已有无线传感器网络数据聚集方法的基础上,结合更加忠实于真实蚁群行为的多态蚁群算法,提出了一种基于多态蚁群系统的无线传感器网络数据聚集算法:PADGA(Polymorphic Ant colony for Data Gathering Algorithm)。通过与现有经典算法性能对比,表明该算法能均衡整个无线传感器网络的能耗,延长网络生存时间。同时可以增加无线传感器网络数据聚集结果的准确性,具有很好的鲁棒性。

## 1 多态蚁群系统

### 1.1 基本蚁群系统理论

Dorigo 在 Ant System 中使用人工蚂蚁模拟真实蚂蚁。人工蚂蚁与真实蚂蚁的行为方式相似,不同之处在于:1)人工蚂蚁的“视力”正常,可以“看见”周围环境的信息;2)人工蚂蚁有记忆力,对 TSP 禁忌表中的元素有记忆。人工蚁群的特性有:1)正反馈,是基于信息素的释放和蚂蚁倾向走信息素较浓的路线,从而快速发现优的解;2)负反馈,是基于信息素的挥发,从而避免算法的早熟,陷于局部最优解;3)利用一个构造的启发信息,有助于通过搜索过程找到优的解<sup>[4]</sup>。

蚁群系统<sup>[5,6]</sup>的核心部分是一种仿生算法。系统设计虚拟的“蚂蚁”,令“蚂蚁”探索不同路线,并在所经路线上留下随着时间逐渐衰减的虚拟“信息素”。当各个蚂蚁随机选择即将走的路径时,倾向于选择比较短且信息素比较浓的路径,

收稿日期:2007-02-05。

作者简介:廖新飞(1974-),男,湖南长沙人,讲师,主要研究方向:计算机网络及信息安全、操作系统、并行数据库;陶利民(1975-),男,湖南宁乡人,讲师,硕士研究生,主要研究方向:网络安全、移动 Agent、XML。

即根据“信息素较浓且更近的路线”的原则来选择出最佳路线。系统利用了正反馈机制,使得较短的路径能够有较大的机会得到选择,收敛速度较快;同时由于采用了概率算法,它能够不局限于局部最优解。蚁群算法通常用于求解复杂的组合优化问题。在对不同性质的问题求解时,蚁群算法模型的定义也有所不同。

## 1.2 多态蚁群系统理论<sup>[7]</sup>

蚂蚁是群居生活,对蚁群社会的研究表明,真实蚁群社会中的蚁群是有组织、有分工的。它们各司其职,又相互依赖协作,形成一个有机整体。虽然单个蚂蚁弱小,但多种蚂蚁通过多种信息素通讯而组成的群体就体现出高度组织性和社会性,使整个蚂蚁群体具有非凡的能力。这里的“多态性”指蚁群社会所具有的多种状态的蚁群及信息素。

以 TSP 问题为例,在多态蚁群算法中,将蚁群社会中的蚂蚁分为三类:侦察蚁、搜索蚁和工蚁。侦察蚁群的任务是以每个城市为中心,作局域侦察,并以侦察素来标记侦察结果,以便搜索蚁到达该城市选择下一站时,提供辅助信息;搜索蚁群的任务是作全局搜索,每到一站,根据侦察素和各出口的信息素等信息,来选择下一站,直至找到并标记最佳(最短)路线,以便工蚁从最佳路线取食回巢;工蚁群的任务是从已标记好的最佳路线取食回巢。在实际算法设计时,由于工蚁群与路径寻优无关,所以只需针对侦察蚁群和搜索蚁群设计各自的信息素调控机制。其中,侦察蚁群负责局部侦察,搜索蚁群负责全局搜索。

## 2 PADGA 算法设计与实现

### 2.1 无线传感器网络模型假设

这里采用文献[8]提出的模型。无线传感器网络由大量静态且能量有限的节点“激活”节点组成;每个节点都可以通过调整发送功率来控制发送器的信号覆盖范围,同时监测环境并向源节点回传所测数据。我们假定通信信道等带宽资源的可用性并且当一个节点开始无线传输,所有在该节点传输范围内的节点都能够接收它的数据。

在我们假设的无线传感器网络模型中, $v_i(i=1,2,\dots,n)$ 表示网络中的第*i*号点。 $\langle i,j \rangle$ 表示节点*i*和节点*j*之间的通信链路,用 $C_{ij}$ 表示节点*i*和节点*j*之间通信所需的实际能量。 $P_i(i=1,2,\dots,n)$ 表示节点*i*上的能量,假设各个节点能量最大值为 $P_0$ 。当 $C_{ij} \leq P_0$ 时,认为这两个节点之间可以通信,节点*i*和节点*j*互为邻居节点。节点*j*的所有邻居节点用集合 $N_j$ 表示。

节点间使用文献[9]中的模型计算通信能耗。传输和接收的单元能耗定义为 $E_{\text{elec}} = 50n \text{ J/bit}$ ,传输放大的单元能耗定义为 $\varepsilon_{\text{amp}} = 100p \text{ J/bit}$ 。发送数据的能耗主要取决于数据大小和传输距离。接收数据的能耗则只与数据大小有关。这样节点向距离为*d*的节点发送*f*bit数据时,发送消耗能量为 $E_{\text{elec}} + \varepsilon_{\text{amp}}fd^n = 50 + 0.1 \times fd^n$ ,接收则要消耗 $E_{\text{elec}} = 50n \text{ J/bit}$ ,*n*是与环境因素有关的常量。通常定义在空旷的环境中, $n=2$ ;在城市环境中, $n=4$ 。

### 2.2 PADGA 设计与实现

仿照多态蚁群算法,在 PADGA 算法中将蚁群分为三类:局部优化蚁群、全局优化蚁群、聚集蚁群。局部优化蚁群是以每个无线传感器网络节点为中心,进行局部侦察,并以侦察素来标记侦察结果,以便全局优化蚁到达该节点选择下一跳节点时,提供辅助信息。全局优化蚁群的任务是根据查询任务做全局优化,每到一节点,根据侦察素和信息素等信息来选

择下一跳节点,直到找到并标记最佳(最短)路线,以便聚集蚁群从最佳路线将要查询的数据信息送回发起查询任务的节点。由于聚集蚁群与路径寻优无关,所以只需针对局部优化蚁群和全局优化蚁群设计各自的信息素调控机制。

根据查询任务,将 $m(m \leq n)$ 个局部优化蚁放置在 $m(m \leq n)$ 个无线传感器网络节点上,每个局部优化蚁以所在的节点为中心,对局部无线传感器网络进行优化,并将距离和能量相结合,构成侦察素,记为 $s[i][j]$ ,标记在从节点*i*到节点*j*的路径上。

全局优化蚁群中的蚂蚁 $k(k=1,2,\dots,n)$ 在依据查询任务进行搜索过程中,在*t*时刻从节点*i*转移到节点*j*的概率 $p_{ij}^k$ 当 $j \notin \text{tabu}_k$ ,且 $s[i][j] \neq 0$ 时为 $\frac{\tau_{ij}^\alpha(t)\eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \notin \text{tabu}_k} \tau_{ij}^\alpha(t)\eta_{ij}^\beta(t)}$ ,否则为0。这样,全局优化蚁到达一个节点时,结合侦察素,只需在较小范围内进行搜索,减少了通信开销。

PADGA 算法的流程可以描述如下:

1) 在上一节假设的网络模型中,定义节点间的距离为网络拓扑边的权值。初始化网络节点,根据各传感器节点坐标计算每两点间的距离。初始化边 $(i,j)$ 的轨迹强度(即*ij*连接线上残留的信息素) $\tau_{ij} = \text{INIT\_PHEROMONE}$ 和路径 $(i,j)$ 上的信息素增量 $\Delta\tau_{ij} = 0$ 。 $d_{ij}$ 为节点*i*和节点*j*之间的距离。设置初始时刻各路径及节点上的信息量(距离、能量消耗、节点剩余能量等)。

2) 设置进化代数 *NC* 初始值为0。

3) 根据查询任务信息选择每只全局优化蚁的初始位置,并将位置放入每个全局优化蚁对应的 *tabu* 表中。

4) 根据全局优化蚁的转移概率,计算每只全局优化蚁 *k* 的下一跳节点,假设为节点*j*,上一跳节点为*i*,则将节点*j*放入全局优化蚁 *k* 对应的 *tabu* 表中,直到每只全局优化蚁完成一个循环,得到一个解。

5) 记录各全局优化蚁的目标函数值 $R_k(k=1,2,\dots,n)$ ,这代表有*k*条路径可供聚集蚁群选择,将查询结果返回。

6) 聚集蚁在送回查询结果的过程中,修改各路径上的信息素浓度(节点剩余能量信息等),执行新的查询任务时据此来选择返回路径。

7) 对各路径 $(i,j)$ ,设置 $\Delta\tau_{ij} \leftarrow 0; NC \leftarrow NC + 1$ ;

8) 若 $NC \geq$  预定的进化代数或所求得解在最近若干代中无明显改进,则输出最优解。否则清空所有 *tabu* 表,转到步骤4)。

在上述算法中,引入多种功能的蚁群及信息素,协同完成无线传感器网络数据查询和聚集,算法有效地缩小了搜索子空间的规模,查询聚集收敛速度快、将局部优化和全局优化相结合提高了寻优效果,同时提供多个优化路径完成数据聚集操作,均衡了能量消耗,可以有效提高无线传感器网络的生存期。

## 3 算法性能分析

我们使用 Java 语言建立网络仿真场景,并实现上述算法和其他两类经典数据聚集算法:最近邻居算法和 BIP 算法来进行网络仿真试验,验证算法的有效性。我们预定义节点的数量、区域大小、每个节点的初始能量以及无线传感器网络拓扑(Grid)。

由图1可以看出 PADGA 算法的网络生存时间明显高于其他两类算法。而 BIP 算法构成的生成树在节点较为密集

时,叶子节点间的距离较小,通信的能耗更少,同时 BIP 算法中某些需要向多个邻居节点转发数据的中间节点过多的通信任务会使自身能耗比其他节点相对大得多,造成能耗负载的不均衡。而最近邻居算法的网络生存时间波动很大,主要原因是当源节点与末节点距离比较大的时候,末节点的能耗会相对较高,影响到网络的存活期。

而由图2可以看出 PADGA 算法所导致的网络总能耗低于最近邻居算法和 BIP。对于网络总能耗的优化作用明显。最近邻居算法是通过线性链来完成广播,总能耗水平也较低,但略高于 PADGA 算法。BIP 总的通信距离要大于其他两类算法,总能耗也就更大。

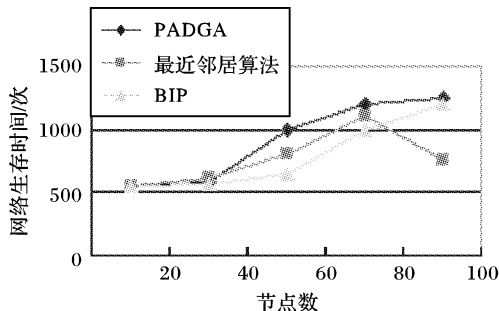


图1 三种算法网络生存时间对比

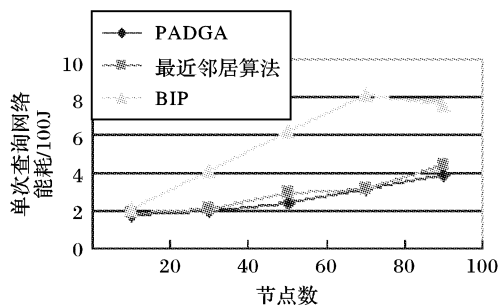


图2 三种算法能量消耗对比

#### 4 结语

提出了一种基于多态蚁群系统的无线传感器网络数据查

询和聚集算法,目的是找到汇集数据的多条优化路径,均衡传感器网络的能量消耗,从而延长无线传感器网络的生存时间,仿真结果表明,这种多个蚁群协同工作的方法能够使得无线传感器网络在完成多项连续查询任务时仍然能够保持较长的生存时间。局部优化和全局优化相结合的方法,通过全局优化蚁群找到多条聚集路径供聚集蚁群返回查询结果,宏观上均衡了通信能耗,延长了网络生存时间。

#### 参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] MADDEN S, HELLERSTEIN J, HONG W. TinyDB: in-network query processing in TinyOS, IRB-TR-02-014[R]. Berkeley: University of California, 2002.
- [3] MADDEN S, SZEWCZYK R, FRANKLIN M J, *et al.* Supporting aggregate queries over ad-hoc wireless sensor networks[C]// KINDBERG T. Proceedings of the Workshop on Mobile Computing and Systems Applications. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2002: 49-58.
- [4] 凌海峰,杨善林,刘业政,等. 基于群体智能的蚁群算法研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2006,28(6):682-685.
- [5] COLONNI A, DORIGO M, MANIEZZO V. Distributed optimization by ant colonies[C]// Proceedings of 1st European Conference on Artificial Life Paris. France: Elsevier Publishing, 1991: 134-142.
- [6] COLONNI A, DORIGO M, MANIEZZO V. An investigation of some properties of an ant algorithm[C]// Proceedings of PPSN 92 Brussels. Belgium: Elsevier Publishing, 1992: 509-520.
- [7] 徐精明,曹先彬,王煦法. 多态蚁群算法[J]. 中国科学技术大学学报,2005,35(2):59-65.
- [8] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. [S.l.]: IEEE Press, 2000:3005-3014.
- [9] LINDSEY S, RAGHAVENDRA CS. Energy efficient broad-casting for situation awareness in Ad hoc networks[C]// Proceedings of ICPP01. Washington DC: IEEE Computer Society, 2001: 149-151.

(上接第1848页)

在图2~5中,当 $\phi_0 = 180^\circ$ 时,即MS背离BS移动,会产生反向的频移。产生的多谱勒功率谱曲线主要集中在负半轴,并且和 $\phi_0 = 0^\circ$ 时的曲线关于 $f - f_c = 0$ 这条直线对称。

#### 4 结语

本文在MIMO信道下,同时考虑了MS的移动速度、移动角度、载波频率、入射波的角度谱以及平均入射角和角度扩展等移动和环境特征,推导了接收信号的多谱勒功率谱的通用解析式,并在入射波角度功率谱为均匀分布、余弦分布、高斯分布和拉氏分布下,分别推导了其相对应的解析式。通过数值仿真和分析结果表明:MIMO信道下的多谱勒功率谱由入射波的角度功率谱、MS移动速度、移动角度和载波频率决定。不同的人射波角度功率谱会产生不同形状的多谱勒功率谱。在MS向BS移动时,随着角度扩展的增大,大的频移会得到更多的能量,小频移的能量减小,并且能量主要集中在正向频移上。在MS垂直于MS和BS之间的连线移动时,能量在正向频移和反向频移上的分布对称。并且随着角度扩展的增大,大频移的能量增大,小频移的能量减小。这个结论和物理分析结论相一致。该结果不仅适用与MIMO信道环境,对一

般无线信道环境同样适用。

#### 参考文献:

- [1] FOSCHINI G J, CANS M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas[J]. Wireless Personal Communications, 1998,6(3):311-335.
- [2] TELATAR I E. Capacity of multiple antenna Gaussian channels, BLO 112 170-950 615-07TM[R]. AT&T Bell Laboratories, 1995.
- [3] JAKES W C. Microwave mobile communications[M]. New York: IEEE Press, 1993.
- [4] LEE W C Y. Effects on correlation between two mobile radio base-station antennas[J]. IEEE Transactions Communication, 1973, COM21(11):1214-1224.
- [5] SALZ J, WINTERS J H. Effect of fading correlation on adaptive arrays in digital mobile radio[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1994,43(4):1049-1057.
- [6] ASZTÉLY D. On antenna arrays in mobile communication systems: fast fading and GSM base station receiver algorithm, IR-S3-SB-9611[R]. Stockholm, Sweden: Royal Institute Technology, 1996.
- [7] PEDERSEN K I, MOGENSEN P E, FLEURY B H. Spatial channel characteristics in outdoor environments and their impact on BS antenna system performance[C]// Proceedings of 48th Vehicular Technology Conference (VTC '98), May 18-21, 1998, Ottawa, Canada. Piscataway: IEEE Press, 1998,2:719-723.