

A Two Cluster-Heads Clustering Algorithm Based on MAXD

XU Dan-dan, ZHANG Yong*

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: To the load of cluster heads is always high and terribly unbalanced in maximum link degree clustering algorithm, a two cluster-heads clustering algorithm is proposed. The algorithm optimizes cluster heads selection based on the node degree and residual energy to enhance the stability of network architecture. A part of nodes are assigned to gateway which has the most residual energy as the other cluster head. As a result, the less delay of packets delivery is kept and the burden of overload cluster heads is eased. It is testified by simulation that the new algorithm prolongs the network lifetime noticeably.

Key words: wireless sensor networks; two cluster-heads; cluster; gateway

EEACC: 6150P; 7230

一种基于最大连通度的双簇头分簇算法

徐丹丹, 章 勇*

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京 210016)

摘 要: 针对最大连通度算法簇头节点负载过重, 各簇头间负载极不均衡的问题, 提出一种双簇头分簇算法。该算法根据节点度和剩余能量优化簇头选取, 提高了网络体系的稳定性。同时剩余能量最大的网关节点作为另一簇头分担一部分节点, 即保持了原算法分组投递时延少的优点, 又减轻了负载过重簇头节点的负担。通过仿真试验验证, 新算法显著延长了网络生命周期。

关键词: 无线传感器网络; 双簇头; 分簇; 网关节点

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)11-1909-04

无线传感器网络是由部署在观测环境内的大量微型传感器节点通过无线通信方式组成的一种无线网络。传感器节点通常使用容量有限、不可更换的电源, 节点的计算、通信、存储能力非常有限, 这要求 WSN 路由协议必须以节约能源为主要目标, 最大限度地延长网络生存时间。

无线传感器网络的路由协议可以分成平面路由协议和分层路由协议两种。由于通信损耗能量同传送的数据量和到达目标的距离平方成正比, 采用基于分簇的路由算法相对平面路由算法具有更好的适应性和节能性^[1]。

已经提出的很多分簇算法中, LEACH^[2] 是使无线传感器网络尽可能将能量消耗均匀分布到每个节点上。最小 ID^[3] (lowest ID, LID) 算法和最大连通度算法^[4] (maximum degree, MAXD) 是两个传

统算法。LID 算法是根据节点的 ID 大小来决定该节点是否成为簇头; MAXD 根据节点连通度大小来决定是否成为簇头节点。此外 Lindsey 等人提出的 PEGASIS^[5] 算法将网络中的节点组织为链状, 数据在链上经融合处理, 最后传输至汇聚点, Younis 等人提出一种混合式的分簇协议 HEED^[6] 等等。

1 问题的提出

最大连通度算法借鉴了 Internet 中选择路由器的方法, 其原则是尽量减少路由器的数目, 因此该算法的目标是尽量减少簇的数目。节点之间通过交互控制信息知道其邻居节点的数目, 该节点和其邻居节点中具有最大度的节点被选为簇头, 当度数相同时则选择 ID 较小的节点作为簇头, 簇头的一跳邻节点则成为该簇的成员节点, 反复进行以上过程直到所

有节点都加入某个簇^[7]。该算法的优点在于簇的数目较少,从而减少了分组的投递时延。缺点是生成簇之间重叠度较大,由于形成的过程中度数较大的节点优先成为头节点,使得后形成的簇成员节点数目较少,造成簇之间负载不均衡,网络整体性能低下。

已经提出基于最大连通度算法的改进算法,基本思想是对原有算法形成的簇结构进行分裂,从而平衡簇间负载,提高网络性能。但是,这样会延长成簇时间,并且失去原算法分组投递时延低的优点。针对以上问题,本文提出一种基于最大连通度的双簇头分簇算法,主簇头选取考虑剩余能量,同时剩余能量最大的网关节点为辅助簇头分担一部分节点,从而在减轻主簇头负担同时保持分组投递时延低的特点,延长了网络生存周期。

2 基于最大连通度的双簇头分簇算法

2.1 网络运行环境假设

- ① 节点随机部署在感知区域,且节点具有唯一ID。
- ② 节点无法自由移动。
- ③ 节点具有相同的处理和通信能力,节点在网络中的地位平等。
- ④ 节点的无线通信能力有限。
- ⑤ 节点之间连接对称。即如果两个节点 V_1 和 V_2 可以互相通信,则 V_1 发送的消息 V_2 可以收到,同时 V_2 发送的消息 V_1 也可以收到。

2.2 能量模型

我们采用与文献[8]相同的无线通信能量消耗模型,节点发射 k bit 到距离 d 的位置消耗的能量为:

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k \times E_{elec} + k \times \epsilon_{fs} \times d^2, & d < d_0 \\ k \times E_{elec} + k \times \epsilon_{mp} \times d^4, & d \geq d_0 \end{cases}$$

其中,发送数据所消耗的能量由发射电路损耗和功率放大损耗两部分组成, E_{elec} 表示发射电路损耗的能量。当传输距离小于 d_0 时功率损耗采用自由空间模型, ϵ_{fs} 是所需能量;当传输距离大于 d_0 时采用多路径衰减模型, ϵ_{mp} 是所需能量。

节点接收 k bit 数据消耗能量:

$$E_{Rx}(k) = k \times E_{elec}$$

2.3 数据传输

在新算法中,每个簇有两个簇头,主簇头和辅助簇头,分别管理部分节点。在传输数据时,主簇头将融合后的数据传送给辅助簇头,传输过程如图1所示。

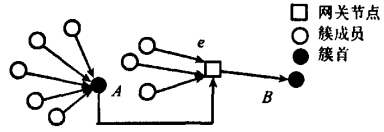


图1 新算法数据传输示意图

在图1中属于主簇头A的成员节点将数据发送给A,属于网关节点(辅助簇头)e的节点将数据发送给e,A将融合后的数据发送给e,e再将数据进一步融合并转发数据给簇头B。

2.4 算法概述

算法可分为两个阶段:

第一阶段按照权值大小成簇 按照最大连通度算法,各节点广播自身的ID,这样节点获知所有一跳邻居节点ID信息,所有一跳邻居节点个数之和就是该节点的连通度,根据式(1)计算权值,权值大的节点成为主簇头,其邻居节点成为成员节点。

$$W(i) = a \frac{D_i}{Num} + (1-a) \frac{E_i}{E_{initial}} \quad (0 \leq a \leq 1) \quad (1)$$

其中: $W(i)$ 表示节点 i 的权值, a 权重因子, Num 节点总数, E_i 节点 i 的剩余能量, $E_{initial}$ 节点的初始能量。

第二阶段确定辅助簇头 收到两个以上簇头消息的节点为网关节点,经过第一个阶段后,每个簇有多个候选网关节点,簇头选取剩余能量最大的候选网关节点为辅助簇头。辅助簇头兼具网关功能。若辅助簇头存在于簇成员节点的邻居列表中,该成员节点归于辅助簇头管理,否则归于主簇头管理。

3 算法详述

3.1 按照权值大小成簇

在邻节点发现阶段,节点主动广播节点ID和剩余能量,邻节点收到信息后,更新自己的邻居列表NBLIST,该表记录邻节点ID、剩余能量、簇头和连通度。一次广播后,所有节点获得所有邻居节点ID,计算连通度并向邻居节点广播连通度信息,二次广播后所有节点获得邻居节点连通度信息,根据式(1)计算每个邻居节点的权值 W ,权值最大的节点当选为主簇头,当权值相同时选择ID最小的节点作为主簇头。主簇头向所有邻居节点广播LHead消息,收到LHead消息的节点修改NBLIST,并向簇头发送JOIN消息,JOIN消息内容包括节点ID和要加入的主簇头ID,节点若收到两个以上LHead消息,此节点为候选网关节点,该节点向所属簇头发送候选网关CGway消息,反复进行以上过程直到所有节点都加入某个簇。

3.2 确定辅助簇头

经过第一个阶段后主簇头具有簇成员以及候选网关节点的信息。主簇头从所有候选网关节点中选取剩余能量最大的作为辅助簇头, 主簇头向成员节点广播辅助簇头 AHead 消息, 收到 AHead 消息的节点检查自己的 ID, 若不相同表示是普通成员节点, 检查 NBLIST 列表, 如果存在辅助簇头的 ID, 则更改 NBLIST 的簇头项并发送 AJOIN 消息给辅助簇头。若是辅助簇头则接收 AJOIN 消息并更新簇成员列表, 若是主簇头更新簇成员列表, 将该节点从列表中去除。确定辅助簇头过程如图 2 所示。

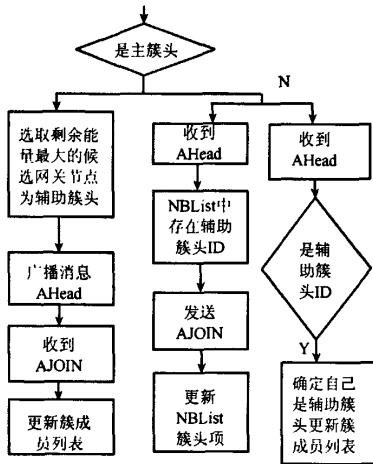


图 2 辅助簇头选择过程

4 仿真试验结果

4.1 仿真试验分析

新算法在原算法的基础上增加了两个方面的内容, 权值计算和辅助簇头的选取。利用权值计算将能量因素考虑在内, 使主簇头的选取更加合理, 但是各节点的邻居列表要增加能量这个表项; 通过设立辅助簇头在减少簇头负载的同时不增加投递延时, 但是要增加 AHead 消息和 AJOIN 消息的发送。算法中各节点只维护一跳邻居节点的信息, 开销较小。算法过程简单, 由各节点独立计算, 属于分布式计算。算法的时间复杂度是 $O(N)$, 可以在常量时间内结束。

4.2 仿真结果

仿真采用 Matlab, 网络节点总数设为 400, 网络覆盖面积是 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$, 节点传输距离是 30 m, 随机部署在感知区域。仿真比较了本文算法和最大连通度算法随着轮数的增加网络节点数目的变化情况, 参数 $a=0.5$ 。仿真结果如图 3, 图 4 所示。

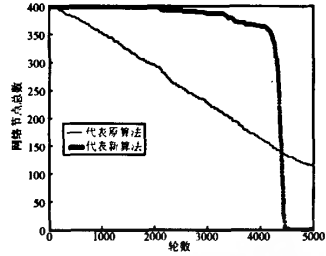


图 3 两种算法网络生命周期对比

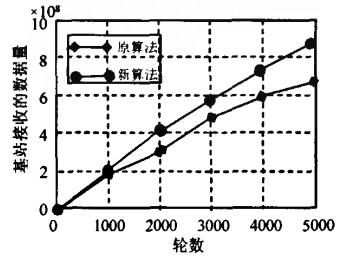


图 4 基站接收数据量对比

由图 3 可以看出原算法显著延长了网络的生命周期, 在约 2 300 轮时第一个节点死亡, 在 4 500 轮时才出现大量节点死亡。由于原算法总是选择节点度大的节点为簇头, 所以节点度大的很快死亡。由图 4 可以看出新算法基站接收的数据量大于原算法, 但是由于新算法的节点在 4 500 轮大量死亡, 所以接收数据量有明显下降。

5 结语

本文提出了一种基于最大连通度的双簇头分簇算法, 核心思想就是选取剩余能量最大的网关节点作为辅助簇头分管一部分节点, 从而减轻主簇头的负担, 同时主簇头的选择要考虑节点能量这个因素。试验证明新算法显著延长了网络生命周期, 没有增加分组传递延时, 保留了原算法的优点。

但是新算法存在不足之处, 由于分的簇大小不均, 在簇成员少的簇中, 没有必要设置辅助簇头, 在簇成员很多的簇中, 两个簇头不能有力分担簇的负载, 簇头负担仍然较重。弹性的设置簇头数目是下一步研究的主要工作。

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless Sensor Networks; a Survey[J]. Computer Networks, 2002, 38 (4) : 393-422.
 [2] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Sensor Networks[C]// Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, Piscataway, USA; IEEE, 2000.

- 175-187.
- [3] Lin C R, Gerla M. Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1997, 15(7):1265-1275.
- [4] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰, 等. *Ad Hoc 网络技术*[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 94-110.
- [5] Lindsey S, Raghavendra C, Sivalingam K M. Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics[J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2002, 13(9):924-935.
- [6] Younis O, Fahmy S. HEED: A Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2004, 3(4): 660-669.
- [7] 杜胜永, 柴乔林. 基于最大连通度的生成簇优化算法[J]. *计算机应用*, June 2006, 26:186-188.
- [8] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro Sensor Networks[J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2002, 1(4):660-670.
- [9] 胡海江, 张凤登. 一种新的无线传感器网络分簇模型[J]. *传感技术学报*. 2006, 19(2):477-480.



徐丹丹(1986-),女,安徽省合肥市人,硕士,主要研究方向为无线传感器网络路由协议, xudandan157@126.com



章勇(1966-),男,安徽省六安人,副教授,硕士生导师,主要研究方向为网络与数据库软件新技术研究、电子商务,多媒体技术、图形图像技术,智能、自动化技术与计算机控制. 新近获得科技进步奖, zy_88@nuaa.edu.cn

一种基于最大连通度的双簇头分簇算法

作者: [徐丹丹](#), [章勇](#), [XU Dan-dan](#), [ZHANG Yong](#)
 作者单位: [南京航空航天大学信息科学与技术学院](#), 南京, 210016
 刊名: [传感技术学报](#) **ISTIC** **PKU**
 英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF SENSORS AND ACTUATORS](#)
 年, 卷(期): 2008, 21(11)
 引用次数: 0次

参考文献(9条)

1. [Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y](#) [Wireless Sensor Networks: a Survey](#) 2002(4)
2. [Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H](#) [Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Sensor Networks](#) 2000
3. [Lin C R, Gerla M](#) [Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks](#) 1997(7)
4. [郑少仁, 王海涛, 赵志峰](#) [Ad Hoc网络技术](#) 2005
5. [Lindsey S, Raghavendra C, Sivalingam K M](#) [Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics](#) 2002(9)
6. [Younis O, Fahrny S](#) [HEED: A Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks](#) 2004(4)
7. [杜胜永, 柴乔林](#) [基于最大连通度的生成簇优化算法](#)[期刊论文]-[计算机应用](#) 2006(z1)
8. [Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H](#) [An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro Sensor Networks](#) 2002(4)
9. [胡海江, 张凤登](#) [一种新的无线传感器网络分簇模型](#)[期刊论文]-[传感技术学报](#) 2006(2)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [熊科, 樊晓平, 刘少强, 廖志芳, 张纯和, XIONG Ke, FAN Xiao-ping, LIU Shao-qiang, LIAO Zhi-fang, ZHANG Chun-he](#) [一种基于非均匀分布双簇头的无线传感器网络分簇算法](#) -[传感技术学报](#) 2008, 21(7)
 针对无线传感器网络分簇路由协议中因簇间路由产生的节点间剩余能量不平衡问题, 提出一种非均匀分布双簇头的分簇方法。此方法基于LEACH算法产生主簇头, 然后根据簇头所属区域离基站远近及其剩余能量确定各簇内数据转发簇头的产生概率, 再按此概率产生非均匀分布的数据转发簇头, 以减轻信息转发负担。仿真表明新算法和LEACH等算法相比能更有效地平衡网络中的能量消耗, 延长整个网络的生存周期。
2. 期刊论文 [蔡缤, 陈向东, 李湃, 韦建超, CAI Bin, CHEN Xiang-dong, LI Pai, WEI Jian-chao](#) [一种新型双簇头分簇算法的性能研究](#) -[微电子学与计算机](#) 2009, 26(3)
 提出了一种新的双簇头分簇算法, 该算法在单簇头分簇算法的基础上增加了一个备用簇头节点, 在簇头节点能量耗尽或出现故障时, 备用簇头节点能够实时升成簇头节点以维持簇稳定工作, 从而减少网络重建的次数, 提高网络稳定性, 仿真实验表明, 双簇头分簇算法比单簇头分簇算法有更好的稳定性和公平性。
3. 期刊论文 [张伟伟, 高仲合, 王一飞, ZHANG Wei-wei, GAO Zhong-he, WANG Yi-fei](#) [无线传感器网络的一种双簇头设计的拓扑控制算法](#) -[电脑与信息技术](#) 2008, 16(3)
 文章提出了一种双簇头设计的方法, 它在同一个簇中选择两个簇头: 一个为正式簇头, 负责收集和融合簇内的数据; 另一个为辅助簇头, 负责路由簇间的数据。仿真结果证明, 该方法在不增加算法复杂性的基础上, 有效的实现了网络的负载均衡, 延长了网络的生存时间。
4. 期刊论文 [苏淼, 钱海, 王煦法, SU Miao, QIAN Hai, WANG Xu-fa](#) [基于蚁群的无线传感器网络双簇头算法](#) -[计算机工程](#) 2008, 34(13)
 在无线传感器网络分层路由协议LEACH的基础上, 重新定义了“轮”的概念, 把每一轮划分成3个阶段而不是传统的2个阶段。提出基于蚁群的双簇头算法, 根据信息素浓度在每一簇中选择具有分工特征的主簇头和副簇头, 分别进行数据收集、融合、传输等工作。与LEACH和LEACH-C算法进行实验比较, 该算法较好地平衡了网络的能量消耗, 延长了网络的生命周期。
5. 学位论文 [李湃](#) [无线传感器网络中的分簇算法研究](#) 2007
 无线传感器网络(WSN)是由大量低成本且具有传感、数据处理和无线通信能力的传感器节点自组织构成的多跳网络。可以在大范围内用于收集、处理和发布复杂的环境数据。借助传感器网络执行一些具体任务时, 任务完成质量是由网络性能决定的, 如网络生存时间、网络负载均衡性、网络稳定性等等。这些性能都与网络结构密切相关。无线传感器网络大多采用分簇结构。网络建立时, 通过分簇算法将网络划分为若干个簇, 每个簇由一个簇头节点和若干簇成员节点组成。簇头负责管理簇内资源分配和簇之间通信。簇成员节点负责数据的采集和处理等。因为簇结构对网络性能有很大影响, 所以研究无线传感器网络分簇算法对提高网络性能有重要意义, 因此在实际应用中也具有重要意义。这篇论文对无线传感器网络分簇算法进行研究, 主要工作如下:
 一、将无线自组网络中三种分簇算法引入无线传感器网络; 其中一种自适应按需加权分簇算法比较复杂, 针对这一点, 使用分门阀值判别

代替分簇数值计算,提出一种新型的自适应按需加权算法。新算法的特点是,运算简单,性能良好,负载均衡性突出。二、现有分簇算法一般只选取一个簇头,有簇头消亡便要重建网络,导致网络稳定性不好。现提出一种新型“双簇头”分簇机制,即分簇时产生两个簇头,一个做簇头,一个做备用簇头,原簇头消亡时,备用簇头升为簇头,无需重建网络,从而降低网络更新频率,提高了稳定性。这种新机制可以引入现有的一些分簇算法当中。引入新机制后,网络的稳定性比原算法有很大提高,节点充当簇头的公平性也有一定提高。

6. 期刊论文 [徐小良, 裘君娜. XU Xiao-liang, QIU Jun-na 异构传感器网络中一种能量有效的簇头选择算法 - 传感技术学报](#) 2009, 22 (3)

针对无线传感器网络的异构性,提出了一种能量有效的双簇头产生算法DCHsS(Double Cluster Heads Selection Algorithm)以减轻簇头负担以及均衡网络能耗。与已有簇头选择算法相比,DCHsS基于双簇头思想进行改进,在每个簇中选出两个节点(分别定义为“中转”簇头和“通信”簇头),分别承担簇头节点的任务-簇内数据收集和簇外数据通信。此外,DCHsS采用了一种全新的簇头竞争参数,使得拥有较高剩余能量、较低通信能耗和较强数据处理能力的节点优先成为簇头,以更好地解决节点能量异构网络的负载均衡问题。实验结果表明,在异构网络中,DCHsS算法在能量消耗上优于单簇头方案,能更有效的利用节点能量和减少簇头能耗。

7. 学位论文 [熊科 簇头非均匀分布的无线传感器网络分簇算法研究](#) 2008

无线传感器网络由分布在特定区域的成百上千个功能简单能量有限的无线传感器节点组成,在科学研究、环境监测、工农业生产等方面有着非常广阔的应用前景。由于传感器节点能量有限,如何有效的节省和平衡节点能耗,是目前无线传感器网络研究的关键问题之一。在网络层节能路由算法研究中,分簇的路由算法通过轮换簇头的方式能够有效的节省节点能量消耗,延长无线传感器网络生命周期。本文通过对现有的经典分簇算法深入研究,并就无线传感器网络路由算法中的分簇算法中因簇间路由产生的节点间剩余能量不平衡问题,提出两种新的分簇算法。一种是采用非均匀分布双簇头的分簇算法(CUDC)。此算法根据节点所属区域离基站的远近确定数据转发簇头的产生概率,各簇头按此概率与其残余能量产生非均匀分布的数据转发簇头,以减轻主簇头信息转发负担。另一种算法是非均匀分簇结合双簇头的分簇算法(UUCUDC),该算法根据非均匀分簇的方法产生非均匀分布的簇头,再根据簇内消耗的平均能量和整个网络的平均能量消耗的比值来产生非均匀分布的数据转发簇头,减少主簇头通信负担。本文对两种算法进行了仿真分析,仿真结果表明和LEACH, HEED等算法相比,无论是以第一个节点死亡所出现的时间,还是网络存活节点数只有20%出现的时间来作为衡量网络生命周期的标准,CUDC和UUCUDC算法的网络生命周期都要长。

8. 期刊论文 [胡海江, 张凤登. HU Hai-jiang. ZHANG Feng-deng 一种新的无线传感器网络分簇模型 - 传感技术学报](#) 2006, 19 (2)

从工业现场应用的角度对无线传感器网络进行研究,提出了一种新的双簇头分级模型。该模型在单簇头模型的基础上增加了一个冗余簇头节点,在簇头节点电池耗尽或出现故障之时,冗余簇头节点能够实时切换成簇头节点以维持簇稳定工作。介绍了双簇头分级模型的工作原理、覆盖范围和能耗管理,并且对该模型的性能进行了实验仿真,实验结论证明双簇头分级模型比之单簇头分级模型有更好的稳定性和安全性,以及长的生存时间而更适合应用于工业现场。

9. 期刊论文 [李冰, 李捷. LI Bing. LI Jie 一种基于GAF的无线传感器网络分簇算法 - 计算机技术与发展](#) 2008, 18 (12)

分簇技术主要目标是延长整个传感器网络的生存时间。好的分簇技术可以提高无线传感器网络的可扩展性。就“热区”内的负载均衡问题,以及频繁的头簇轮换和簇重组问题,对基于GAF算法的完全簇头选择算法进行改进,结合双簇头模型和单簇头模型的优点,提出了一种无线传感器网络簇头非均匀分布算法,有效地平衡“热区”内节点的能耗,延长了无线传感器网络的生命期。

10. 学位论文 [苏淼 蚁群算法的改进及其应用研究](#) 2007

计算智能是当前人工智能研究的一个重要分支,它体现了现代科学技术发展中的多学科、多领域间相互交叉、相互促进和相互渗透的特点。蚁群算法是一种模拟蚂蚁群体觅食行为的计算智能方法,它采用正反馈并行自催化机制,具有鲁棒性、计算分布性、易与其他方法相结合等突出优点,已在复杂组合优化问题求解等多方面展现出优异的性能和巨大的应用潜力。然而,初期信息素匮乏、求解速度较慢、易陷入停滞等缺点一定程度上影响了算法的求解效能。同时,蚁群算法在优化问题之外的应用研究也亟待进一步加深和拓展。本文的主要研究工作包括以下两个方面:
(1)构建了一个新型的基于免疫记忆的蚁群混合模型及其算法。借鉴现代免疫学的克隆选择理论,在蚁群算法的基本框架中应用免疫记忆机制设计一个记忆库,能在相当程度上克服传统蚁群算法的不足。针对TSP和WTA这两个组合优化问题的实验结果证明了改进算法的优良性能。(2)进一步研究了蚁群算法在无线传感器网络路由协议设计中的应用。将蚁群模型的自组织、自适应、自学习等优良特性应用于对无线传感器网络分层协议LEACH的改进,提出了基于蚁群的双簇头改进算法,并进行了初步的理论分析。NS2平台上的仿真实验结果显示,改进模型能较好地平衡网络的能量消耗并显著延长网络的生命周期。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cgjsxb200811021.aspx

下载时间: 2010年4月15日