

应用 IPSO 的无线传感器网络分簇路由算法

程培新, 王亚慧

CHENG Pei-xin, WANG Ya-hui

北京建筑工程学院 电气与信息工程学院, 北京 100044

Department of Electricity and Information Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China

E-mail: cheng34026@sohu.com

CHENG Pei-xin, WANG Ya-hui. Wireless Sensor Network cluster-based routing optimization algorithm using Improved Particle Swarm Optimization algorithms. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(36): 112-114.

Abstract: In cluster-based sensor networks, energy can be conserved by combining redundant data from nearby sensors into cluster head nodes before forwarding the data to the destination. The lifespan of the whole network can also be expanded by the clustering of sensor nodes. But the existing algorithms are prone to lead nodes in clusters to die early due to ignoring the state of neighbors in the process of cluster-heads decision. Evolutionary algorithms have been applied successfully to various aspects. Particle Swarm Optimization (PSO) is one of evolutionary programming techniques. A new cluster-based algorithm using improved PSO is proposed to optimize clustering process. The election of cluster-heads need consider synthetically the state information of candidates and their neighbors. The simulation results show that this algorithm improves the WSN performance, and thus prolongs the network lifetime.

Key words: Improved Particle Swarm Optimization algorithm (IPSO); Wireless Sensor Networks (WSN); routing optimization; clustering

摘要: 在基于分簇的无线传感器网络中, 网络是通过附近传感器节点在转发信息到目的节点前进行冗余数据的融合实现节能, 从而延长了网络的生命周期。但现存的算法在选择簇首节点的过程中由于忽略了邻居节点的状态信息, 容易导致簇内节点过早出现盲节点的现象。进化类算法已经成功应用于许多方面, 微粒群算法就是其中之一。提出了一种基于改进型微粒群算法的无线传感器网络分簇路由算法来优化分簇过程。簇首节点的选取综合考虑候选节点和邻居节点的状态信息。仿真结果表明算法的性能得到了较好的改善, 并延长了网络的生命周期。

关键词: 改进型微粒群算法; 无线传感器网络; 路由优化; 分簇

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.36.033 **文章编号:** 1002-8331(2009)36-0112-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

1 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组成, 通过无线通信方式形成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。无线传感器网络所具有的覆盖范围广、容错性强、拓扑结构动态变化、价格低廉等优势使它广泛应用于军事、环境监测和预报、智能家居、建筑物状态监控等领域, 尤其适合于环境恶劣、布线困难、人员不可达的工作场合。

在具体应用中也应当认识到, 目前的传感器节点内部存储容量低, 携带的电池能量受限, 通信及数据处理能力较弱, 尤其是网络中信息流量不均衡以及网络拓扑结构的变化导致 WSN 中的一些节点因为能量消耗的不平衡而将携带的能量迅速耗尽或因低于发射功率的阈值而使其成为盲节点, 这不仅会缩短

网络寿命, 而且还会使网络的大量能量用于拓扑结构的重构过程中。因此如何提高网络的利用率并节省能量以维持网络的生命周期始终是 WSN 研究的热点问题。路由协议作为 WSN 的一个核心技术, 它的好坏与整个网络的性能密切相关。

2 WSN 路由算法存在的问题

WSN 路由算法的设计目标是在满足应用要求的同时尽量降低网络开销以维持网络的生命周期。它不仅仅关注单个节点的节能问题, 更加关心整个网络能量的均衡性。在大规模的 WSN 中, 基于集群结构的路由算法考虑了网络的扩展性, 在可控性和网络响应方面明显优于平面网络。基于集群结构的路由算法实际上是一种分层结构, 它将网络节点划分为多个簇结构, 各簇由簇首节点和簇成员构成, 各簇首节点再形成更高级的网络, 这个过程一直进行下去, 直到网络的最高级。簇首节点

基金项目: 国家自然科学基金子课题 (the National Science Foundation Sub-foundation of China, under Grant No.080709615); 北京市自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Beijing of China under Grant No.0872008)。

作者简介: 程培新 (1983-), 男, 硕士, 主要研究领域为建筑设备智能控制和无线传感器网络; 王亚慧 (1962-), 男, 博士, 教授, 主要研究领域为建筑设备智能控制和无线传感器网络及应急管理。

收稿日期: 2008-07-09 **修回日期:** 2008-11-17

负责簇内成员节点的管理和信息的收集与融合。目前典型的基于集群结构的路由算法包括 LEACH、PEGASIS、TEEN、APTEEN 和基于虚拟网格的 TTDD 等。但是, LEACH 中簇首节点消耗大量能量, 为避免其成为盲节点, 需要定期更换簇首节点。此外该算法不能保证被选的簇首节点均匀分布在整个网络中, 可能出现簇首节点过于集中于网络某一区域的情况。TEEN 虽然对 LEACH 做出了改进, 在簇的建立过程中及选择簇首时向簇内成员广播软、硬阈值以减少数据传送次数, 但它不能周期性采集数据。APTEEN 使用基站来控制分簇和选择簇首节点, 但它在设置阈值时的实现比较复杂, 而且基于查询的命名机制也会带来额外开销。TTDD 是一种新的应用场景, 它使底层节点不移动, 而是移动 Sink 节点, 这种方法能够提高网络生存时间, 但是节点必须知道自己的位置, 而且网格单元的大小也不好确定。以上这些算法虽然解决了一定的问题, 但是在进行簇首节点的选择时都是仅仅根据节点自身的状态信息来确定的(一般是以节点能量大为优), 而没有考虑邻居节点的状态。这样就会出现一个问题: 各邻居节点的能量不均衡。远离簇首的节点会因与簇首节点通信而消耗更大的能量, 造成能量很快地耗尽, 网络中出现盲节点; 在一段时间后, 簇首节点的能量可能会少于距离簇首节点距离很近的节点, 从而导致频繁更换簇首节点, 将网络能量消耗于非通信控制之中。这都会缩短网络的生命周期, 最终造成网络的瘫痪。因此, 在进行簇首节点的选择时应当采用一种更加合理的机制。

3 改进型微粒群算法

微粒群优化算法(Particle Swarm Optimization Algorithm, PSO)是由美国社会心理学家 James Kennedy 和电气工程师 Russell Eberhart 在 1995 年提出的, 其基本思想是对鸟类觅食过程的群体行为进行模拟, 并利用了生物学家 Frank Heppner 的生物群体模型。PSO 算法是一类基于群体智能的随机优化技术, 与其他进化类算法相类似, 也采用“群体”与“进化”的概念, 同样也是依据个体(微粒)的适应值大小进行操作。所不同的是, 微粒群算法在进化过程中同时保留和利用了位置与速度信息, 而其他进化类算法仅保留和利用了位置信息。PSO 算法同时将微粒的位置和速度模型化, 给出了显式进化方程, 它实现容易、精度高、收敛速度快, 在对实际问题的优化方面体现出巨大的优越性和发展潜力。

为了改善基本微粒群算法的收敛性能, Y.Shi 和 C.Eberhart 提出了带有惯性权重的改进型 PSO 算法的进化方程:

$$v_{ij}(t+1) = \omega v_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t)(p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_{2j}(t)(p_{gj}(t) - x_{ij}(t)) \quad (1)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (2)$$

这里, $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 为微粒 i 的当前位置; $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 为微粒 i 的当前飞行速度; $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ 为微粒 i 所经历的最好位置, 也就是微粒 i 所经历过的具有最好适应值的位置, 称为个体最好位置。下标“ j ”表示微粒的第 j 维, “ i ”表示微粒, t 表示第 t 代, c_1, c_2 为加速常数, 通常在 0~2 间取值, $x_i \sim U(0, 1)$, $x_2 \sim U(0, 1)$ 为两个相互独立的随机函数。 ω 称为惯性权重, 它表明微粒初始速度的保留程度, Y.Shi 认为 ω 在区间 [0.4, 0.9] 取值时算法效果最好。

改进型微粒群算法的流程如下:

步骤 1 依照初始化过程, 对微粒群的随机位置和速度进行初始设定;

步骤 2 计算每个微粒的适应值;

步骤 3 对于每个微粒, 将其适应值与所经历过的最好位置 P_i 的适应值进行比较, 若较好, 则将其作为当前的最好位置;

步骤 4 对每个微粒, 将其适应值与全局所经历的最好位置 P_g 的适应值进行比较, 若较好, 则将其作为当前的全局最好位置;

步骤 5 根据方程(1)和(2)对微粒的速度和位置进行进化;

步骤 6 如未达到结束条件通常为足够好的适应值或达到一个预设最大代数 (G_{\max}), 则返回步骤 2。

4 基于改进型 PSO 算法的 WSN 路由算法

基于改进型 PSO 算法的 WSN 路由算法在确定簇首节点方面不同于其他的基于集群结构的路由算法, 它更加强调候选节点和邻居节点的状态信息(包括各节点在 WSN 中所处的位置和其所携带的能量信息以及被选为簇首节点的次数等), 这样选出的簇首节点将更加合理。

根据该文所提出的问题, 构造适应值函数为:

$$f(k) = E_{k0} + \alpha E_k + \beta \bar{E} \quad (3)$$

其中, $f(k)$ 为节点所消耗的能量(该能量越小则节点剩余能量越大, 网络的生存周期越长); k 为当前网络节点号; E_{k0} 为第 k 个节点从加入网络起到参与网络工作所消耗的能量, 这样构造不仅可以与 PSO 中的初始速度项在形式上匹配, 而且还是网络初始化阶段初选簇首节点的一个影响因素; $\alpha + \beta = 1$ 且 $\alpha, \beta \in [0, 1]$; α 为当前节点能量影响因子, β 为邻居节点能量影响因子, 它们的取值依照各部分对适应值函数的贡献程度确定; E_k 为第 k 个节点在网络工作阶段消耗的能量; \bar{E} 为邻居节点等效

平均消耗能量。邻居节点等效平均消耗能量 $\bar{E} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1, i \neq k}^n \bar{e}_i$, 其

中 $\bar{e}_i = f(e_i, d_i)$, \bar{e}_i 为第 i 个节点的等效消耗能量, e_i 为节点 i 消耗的能量, d_i 为第 i 个节点与当前节点 k 的距离。 $f(e_i, d_i)$ 的选取应当结合实际情况考虑, 该文取 $f(e_i, d_i) = e_i \cdot d_i$ 。一般认为无线通信的能量消耗与距离成比例关系, 即 e_i 与 d_i 满足的关系为 $e_i = \theta d_i^p$, 其中 $p \in [2, 4]$, 通常 p 取 3, 于是有 $f(e_i, d_i) = e_i \cdot d_i = \theta d_i^4 = \theta \cdot |x_{ij} - x_{kj}|^4$ 。综合上述各式经整理后得到适应值函数为:

$$f(k) = E_{k0} + \alpha E_k + \beta \cdot \frac{1}{n-1} \sum_{i=1, i \neq k}^n \theta \cdot |x_{ij} - x_{kj}|^4 \quad (4)$$

该算法的具体实现步骤如下:

步骤 1 依照初始化过程, 对微粒群的随机位置和速度进行初始设定(群体规模为 N), 并设其初始位置为 y ;

步骤 2 按照式(4)的适应值函数计算适应值 $f(k)$;

步骤 3 首先将第一个微粒($i=1$)的位置设置为个体和全局最好位置, 然后对于每个微粒(i 进行自加), 将其适应值与所经历过的最好位置和全局所经历的最好位置的适应值进行比较, 若较好, 则将其作为当前的最好位置和当前的全局最好位置;

步骤 4 根据式(1)和式(2)对微粒的速度和位置进行进化;

步骤 5 设置一个能量消耗的阈值, 当节点消耗的能量超过该阈值时, 节点将不能通信。记录下此时的进化代数和得到的适应值函数的值。适应值较小的微粒所代表的节点即为优化后的簇首节点; 进化代数越大, 说明节点的生命周期越长。

该算法的程序流程图如图 1 所示。

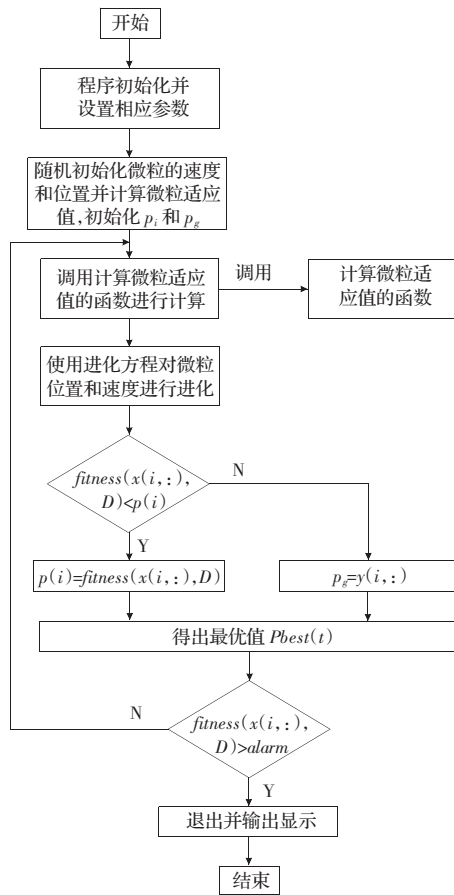


图1 改进型微粒群算法程序流程图

簇首节点选取出来之后立刻将该信息发布给簇内成员节点,实现簇首对于簇内节点的信息收集、数据融合等操作。通过上述方法可实现均衡网络节点的能量并延长网络生存周期的目的。

5 仿真算例

在仿真算例中,假设无线传感器网络规模为100个节点,选取PSO的各参数值为: $c_1=1.2, c_2=1.3, \alpha=0.6, \beta=0.4, \omega=0.4, x_1 \sim U(0,1), x_2 \sim U(0,1)$ 为两个相互独立的随机函数,它们的值在运行过程中随机给出,设置的最大迭代次数为1000次,能量消耗的阈值设为1J。无线传感器网络节点的主要参数为: $E_{i0}=0.01, E_i=0.3$ 。

利用改进型微粒群算法主要是为了延长无线传感器网络的生存周期,为此在仿真时与基本微粒群算法($\omega=1$)进行了比较。该仿真是在Matlab R2006a环境下进行的,整理后的仿真结果如表1所示。

从表1可以看出,基本PSO和改进型PSO在空间中的不同位置(簇首节点的位置)得到了最优值0.19,但前者经过98次迭代就超过了阈值,能耗约为1.35J,而后者经过最大迭代次数仍未超过阈值,能耗仅为0.19J。由此可见,改进型PSO能

表1 采用基本PSO和改进型PSO仿真结果比较

采用的算法	全局最优位置 (取三维空间坐标)	最优值	达到阈值时 迭代次数	迭代终止时 的能耗J
基本微粒群算法	2.292 7			
	0.981 8	0.190 0	98	1.350 5
改进型微粒群算法	0.000 2			
	1.574 4			
	-0.189 4	0.190 0	1 000	0.190 0
	-0.000 2			

耗仅为基本PSO的14%,网络生命周期延长约10倍。

6 结论

微粒群算法是一种基于群体智能的随机优化算法,它实现容易、精度高、收敛速度快等特点在对实际问题的优化方面体现出巨大的优越性和发展潜力。路由算法作为WSN的一个核心技术,它的好坏关系到网络性能。针对现存分簇路由算法的不足,提出了一种基于改进型微粒群算法来优化分簇的过程。仿真结果表明算法的性能得到了较好的改善,并延长了网络的生命周期。

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] 李晓维,徐丰军,任丰原.无线传感器网络技术[M].北京:北京理工大学出版社,2007.
- [3] 梁英,于海斌,曾鹏.应用PSO优化基于分簇的无线传感器网络路由协议[J].控制与决策,2006,21(4).
- [4] 朱丽莉,杨志鹏,袁华.粒子群优化算法分析及研究进展[J].计算机工程与应用,2007,43(5):24-27.
- [5] 卜艳萍,俞金寿.动态分群的微粒群优化算法[J].华东理工大学学报:自然科学版,2007,33(6).
- [6] Wang Zi-qiang, Sun Xia, Zhang De-xian. A PSO-based multicast routing algorithm[C]//Proceedings-Third International Conference on Natural Computation, ICNC 2007:664-667.
- [7] Yuan Ping, Ji Chun-lin, Zhang Yang-yang, et al. Optimal multicast routing in wireless ad hoc sensor networks[C]//Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, 2004:367-371.
- [8] Shih Tzay-Farn. Particle swarm optimization algorithm for energy-efficient cluster-based sensor networks[J]. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2006, E889-A(7).
- [9] Tillet J C, Rao R M, Sahin F, et al. Particle swarm optimization for the clustering of wireless sensors[C]//Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering, 2003:73-83.
- [10] 王亚慧,程培新,杨佳,等.关于建筑测试专用无线传感器网络的探讨[J].仪器仪表学报,2007(8).
- [11] 曾建潮,介婧,崔志华.微粒群算法[M].北京:科学出版社,2004.