

基于社团特性的 LEACH 协议的改进

万佑红, 杨帆

(南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210023)

摘要:针对无线传感器网络分层路由协议 LEACH 存在的簇首节点分布不合理和网络能量负载不平衡的问题,提出了一种基于社团特性的无线传感器网络路由分簇算法(LEACH-CS)。该算法在基于社团模型构造出无线传感器网络拓扑结构的基础上,通过多跳路由选择策略,完成簇首节点与基站之间的信息数据传递。仿真实验表明,该算法和经典的分簇路由算法 LEACH 相比,可以达到使目标区域内传感器节点的分布相对均匀,平衡网络能耗的负载度和有效提高网络生命周期的目的。

关键词:社团结构;无线传感器网络;LEACH;多跳;能耗

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)08-0103-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.08.026

Improvement of LEACH Protocol Based on Community Structure

WAN You-hong, YANG Fan

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: Aiming at the problem of unreasonable cluster-heads distribution and unbalanced energy consumption in the existing Wireless Sensor Networks (WSN) clustering routing algorithm, an clustering routing algorithm (LEACH-CS) based on community structure is proposed. Based on the basis of building community structure in WSN, the algorithm completes the communication between cluster-heads and base station by using multi-hop routing selection strategy. Simulation shows that, this algorithm has the result of making the nodes distribution of WSN in target area is relatively uniform, better balancing network node energy consumption and prolonging the lifetime of network effectively.

Key words: community structure; WSN; LEACH; multi-hop; energy consumption

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)中的传感器节点由于能量可持续性较差,导致节点的计算和通信能力都受到很大限制。因此,在无线传感器网络路由协议的研究中,如何降低整个网络的能量消耗一直是科研重点。

针对无线传感器网络不同的特征和应用要求,研究人员提出了众多路由协议。LEACH^[1](Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)协议是一种低功耗自适应分层路由协议,它通过本地协作进行分簇,并以随机循环的方式选举簇首节点,以均衡网络内节点的能量消耗,实现网络节能^[2]的目的。LEACH算法是最具代表性的成簇路由算法,分簇和有效的数据融合节省了网络内节点的能量,从而提高了网络的能量利用率。

但仍存在簇首节点分布不均匀,网络能量负载不平衡等问题。文献[3]通过在节点自组织成簇后引入了IACO算法,降低了传输过程中的能量消耗;在文献[4]中,M. Zhang等提出一种基于节点地理位置,簇首节点选举过程中考虑节点剩余能量、与基站之间距离的新型动态成簇算法,但该算法要求网络内每个节点都能与其他任意节点进行数据通信,这与实际应用场景并不符合,并且节点间过多的连接导致网络能量消耗过大;文献[5,6]在选好的簇首节点中以路径最短为原则采用贪婪算法形成一条链并在链中选出高级簇首节点完成通信,该算法能够有效均衡网络能量负载,延长了网络寿命,但该算法没有考虑节点的位置以及节点的分布,可能形成的簇首链中簇首节点距离汇聚节点太远,部分簇首节点能量消耗不平衡而影响网

收稿日期:2012-11-14

修回日期:2013-02-20

网络出版时间:2013-04-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60805039)

作者简介:万佑红(1974-),女,江苏南京人,副教授,硕士生导师,研究方向为复杂系统与网络控制;杨帆(1987-),男,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为复杂网络。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1729.065.html>

络生命周期。文中将社团结构^[7]引入无线传感器网络进行拓扑优化,删除不同社团间节点的部分连接,在此基础上利用最佳成簇半径进行多跳路由选择,完成簇首到基站的通信,达到节点分布的相对均匀以及网络能耗负载的平衡,延长了网络生命周期。

1 无线传感器网络的社团模型构造

根据复杂网络中的社团结构^[8-10]的定义,将目标网络划分为若干个“群(group)”或“簇(cluster)”,每个群内部的节点相互连接非常紧密,但群与群之间的相互连接则比较稀疏^[11]。对于传感器网络内密集分布的传感器节点来说,也可以看成是具有社团结构,即部分传感器节点之间的连接比较密切,部分传感器节点的连接比较稀疏,目标区域内那部分连接比较紧密的传感器节点就相当于复杂网络中定义的群或簇。由于无线传感器节点随机分布,部分节点分布过于密集,进而导致部分簇首节点分布也较密集。簇首节点分布过于密集导致每一轮成簇过程中,节点能量的无谓消耗过大,这样会导致网络能耗负载不平衡,影响网络寿命。

针对上述缺点,文中将目标区域内传感器节点拓扑构造造成以基站为中心的社团结构。四个区域形成四个社团,每个区域内布置相同数目的节点,社团内部节点间联系紧密,社团间节点联系稀疏。取四个社团内聚类系数最大的节点,并保留它们之间的连接,断掉其他社团间联系。构造步骤如下:

(1) 以基站为中心,将目标区域按田字形划分为四个相同区域,每个区域内分布相同的节点。

(2) 每个小区域内有 m_0 个相互独立的节点,从任意一个区域开始,在每一个时间步,引入一个新节点,且连到 m 个已经存在的节点($0 < m < m_0$)。

(3) 每一条边都以连接概率 p 随机选择一个新节点连接进入网络中,且这 m 条边都是从老节点指向新节点。

(4) 在四个相同区域内,找出度最大的节点,分别为 a_1, a_2, a_3, a_4 ,保留这四个节点之间的连接,断掉其他不同区域内的节点间联系。

依照上述算法,在 matlab 仿真环境下,在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的范围内,按田字形划分为四个相同区域,每个区域内有 25 个节点随机分布。

从图 1 可以看出,目标区域按田字形划分为四个区域,四个区域内分布相同的节点后形成的节点分布图要比在整个目标区域内随机节点分布图均匀,这样有效地减少了冗余节点在成簇过程中消耗的能量,平衡了能量负载度。

由图 2 可以看出,四个相同区域内节点互相连接,

关系紧密,而区域间则只保留了一条连接(图中虚线所示),已经构成了社团结构。理论上分析,在 BA 无标度网络的基础上通过减少不同区域内传感器节点的连接,降低了平均路径长度,也形成了具有一定小世界特性^[8]的网络。这样的网络拓扑结构可以有效降低网络内节点的能量消耗,延长网络的生命周期。

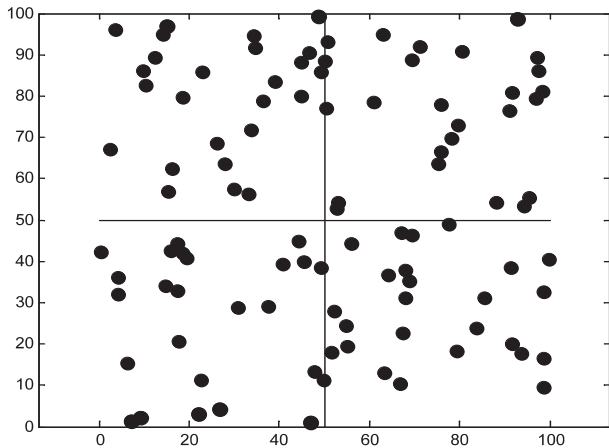


图 1 目标区域内节点分布图

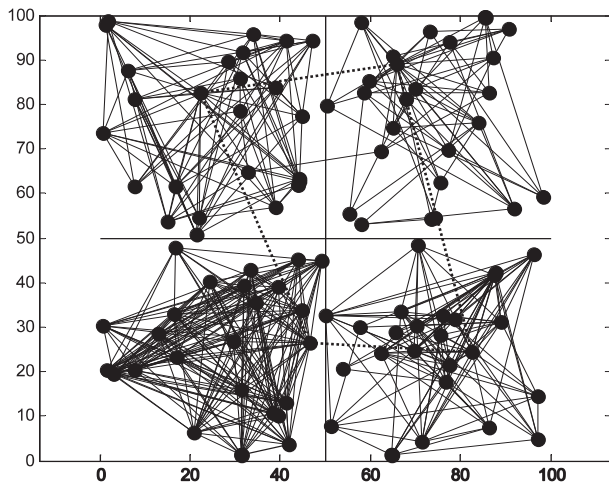


图 2 目标区域内社团结构形成图

2 簇首多跳路由选择的 LEACH-CS 算法

2.1 经典 LEACH 算法原理

LEACH (Low - Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 协议的执行过程是按“轮”周期进行的,每轮有两个阶段:创建阶段和稳态阶段。在簇的创建阶段,各节点以随机循环的方式选举簇首节点,簇首节点用 CS-MA 的方式向周围节点广播通告它的节点状态;稳态阶段,簇内普通节点将数据发送给簇首节点,簇首节点进行融合处理后发送给汇聚节点或基站。通过随机循环选择簇首节点来达到平均分担网络能耗的目的,进而延长网络的生命周期。每轮的簇首选择是关键,其方法为:节点产生 $[0,1]$ 的随机数,如果这个数小于阈值 $T(n)$,则向其他节点广播自己是簇首节点的消息, $T(n)$ 的计算公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

式中 p 为节点成为簇首节点的概率, r 为当前的进行轮数, G 为在过去的 $(r \bmod \frac{1}{p})$ 轮中还没有成为簇首的普通节点集合。

2.2 LEACH 算法的缺点

(1) LEACH 算法中随机选择簇首节点, 但每个簇群内节点的数目不均衡, 加重了个别簇首节点的负担, 影响网络负载平衡度。

(2) LEACH 算法中每个簇内的节点数分布不均匀, 网络拓扑结构分布不均匀导致节点消耗不一, 大大减少了网络生存时间。

(3) LEACH 算法中各簇首节点到基站均为单跳。而实际上由于受簇首节点位置及传输距离的限制, 传感器网络可以是多跳的, 而且间接的多次短距离多跳路由由协议要比直接的长距离单跳路由协议的节点能耗小得多^[1]。

2.3 LEACH-CS 算法

文中提出了基于社团结构的 LEACH 算法 (LEACH-CS), 如图 3 所示。

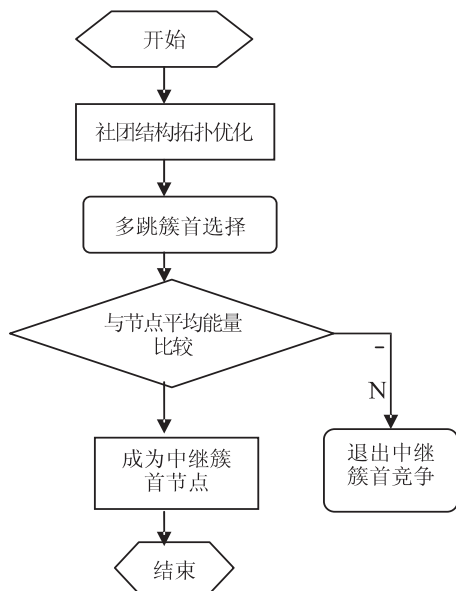


图3 改进后算法的流程图

该算法在目标区域按田字形分为四个相同区域构成社团结构后, 在每个小区域内用 LEACH 算法成簇。LEACH-CS 采取多跳路由机制, 在选择多跳簇首节点时, 把节点的平均能量作为标准, 保证转发簇首节点既有充分的能量转发其他簇数据, 又不会因能量耗尽而过早死亡, 从而保持簇的能耗平衡, 有效延长网络生存期, 从而提高网络性能。

定义 $I = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ 为当前轮中所有簇首节点

的集合, 当簇首节点 A 向基站 BS 发送数据时, 首先会在集合 I 中逐一选择, 找出距离平方和 $D^2(i)$ 的最小值 D_{\min}^2 , 挑选出合适的中继簇首

$$D(i) = \sqrt{D_{A-i}^2 + D_{i-BS}^2}, (i \in I)$$

$D(i)$ 表达式如上所示, 其中 D_{A-i} 为簇首 A 到簇首 i 的距离, D_{i-BS} 为簇首 i 到基站 BS 的距离, D_{A-BS} 为簇首 A 到基站 BS 的距离。看是否满足 $D_{(i)}^2 < D_{A-BS}^2$, 即:

$$D_{A-i}^2 + D_{i-BS}^2 < D_{A-BS}^2$$

如果以 D_{A-BS}^2 为直径作一个圆, 那么圆上的点满足 $D_{A-i}^2 + D_{i-BS}^2 = D_{A-BS}^2$, 圆外的点满足条件 $D_{A-i}^2 + D_{i-BS}^2 > D_{A-BS}^2$, 圆内的点满足公式 $D_{A-i}^2 + D_{i-BS}^2 < D_{A-BS}^2$, 找出满足条件的最小的 D_{\min}^2 。通过多跳簇首节点的传输可以减小源簇首的能耗, 平衡网络负载, 但却增加了中继簇首 i 的能耗, 所以限定了中继簇首的剩余能量条件:

$$E_i > E_{\text{aver}}$$

E_{aver} 为区域内节点的平均能量。只有剩余能量大于节点平均能量的节点才有资格成为中继节点。

3 仿真与分析

利用文中提出的基于社团特性的 LEACH-CS 算法对无线传感器网络进行 MATLAB 仿真。100 个节点随机分布在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的区域内, 根据之前的结论, 基站选在区域的中心点。节点初始能量为 0.5J , 发送和接收消耗的能量 $E_{\text{TX}} = E_{\text{RX}} = 50 \times 10^{-9}\text{J/bit}$, 自由空间^[12] 信号放大倍数 $\xi_{\text{fs}} = 10\text{PJ/bit/m}^2$, 多径衰减信道信号放大倍数 $\xi_{\text{amp}} = 0.0013\text{PJ/bit/m}^4$, 当节点的能量低于 0.0001J 时, 认为其死亡。

图 4 是三种算法的生命周期图。如果按死亡节点占节点总数的 80% 来比较, LEACH 算法是 1700 轮, GSEN 是 2200 轮, 而 LEACH-CS 是 2600 轮, LEACH-CS 算法的生存周期比 LEACH 算法延长了 52%, 比 GSEN 算法延长了 18%。这都得益于多跳簇首路由由协议避免了节点在网络信号传递中能量消耗过大和按社团特性划分的无线传感器网络使得节点在网络中的分布更均匀合理, 节点在成簇过程中的能耗减少, 避免低能量的节点过早死亡, 有效延长了网络的生命周期。

图 5 所示为系统总耗能随时间的变化, 可以看出采用 LEACH-CS 算法, 总能耗速度要慢于采用 LEACH 算法和 GSEN 的能量消耗速度。这得益于 LEACH-CS 算法在选举簇首前将区域间的连接只保留一条, 有效降低了因为冗余连接而造成的能量消耗; 社团结构的构造让目标区域内节点的分布相对均匀, 节省了每次节点成簇所带来的能量开销; 多跳传输策略的使用也减少了簇首与基站因为单跳通信而可能导致的部分节点能耗过大现象的发生, 体现了 LEACH-CS 在节点能

耗负载平衡上的优势。

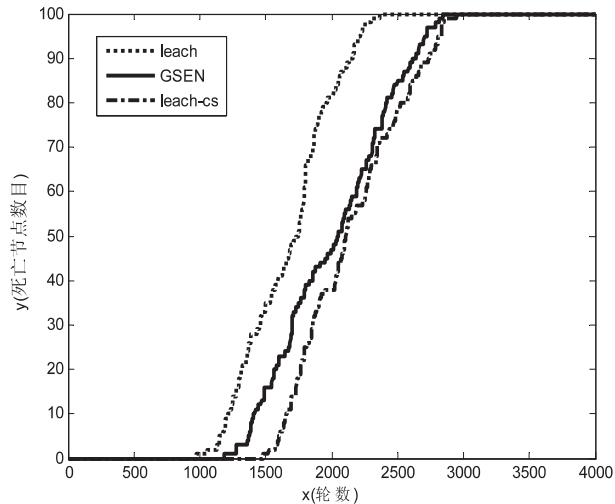


图 4 网络的生命周期

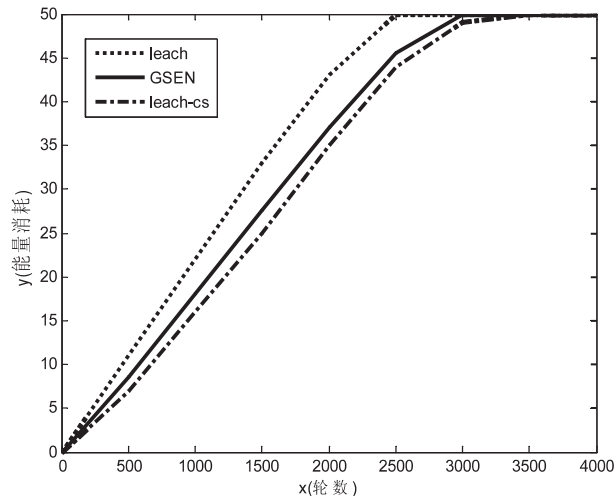


图 5 网络总耗能比对

4 结束语

针对无线传感器网络 LEACH 协议节点分布不均匀,簇首传输过程中能耗过大的缺点,提出了一种基于社团结构的 LEACH-CS 新算法。该算法构造基于社团结构的节点拓扑分布,并采用多跳簇首传递代替单跳簇首传递,提高了网络能耗负载平衡度,延长了网络内每个节点的存活时间,减少了网络总的能量负载,从而有效提高了网络的生命周期。

参考文献:

- [1] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor network [C]//IEEE Proceeding of the Hawaii International Conference on System Science. Washington: [s. n.], 2000:3005-3014.
- [2] Younis O, Fahmy S. Heed: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks [J]. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004, 3(4):660-669.
- [3] Qiu L, Wang Y, Zhao Y L, et al. Wireless Sensor Network Routing Protocol Based on Self-organizing Clustering and Intelligent Ant Colony Optimization Algorithm [C]//Proc. of 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. [s. l.]: [s. n.], 2009:223-228.
- [4] Guan X, Wang Y. An energy-efficient clustering technique for wireless sensor networks [C]//Proceedings of International Conference on Networking, Architecture, and Storage. [s. l.]: [s. n.], 2008:248-252.
- [5] Tabassum N, Ahsanul Haque A K M, Urano Y. GSEN: An efficient energy consumption routing scheme for wireless sensor network [C]//Proceeding of IEEE International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communication and Learning Technologies. [s. l.]: [s. n.], 2006.
- [6] 张品, 姜亚光, 陈磊. 基于加权优化选择两级簇头的 WSN 路由协议 [J]. 传感技术学报, 2011, 24(3):447-451.
- [7] Newman E J. The structure and function of complex networks [J]. SIAM Review, 2003, 45(2):167-256.
- [8] Helmy A. Small world in wireless networks [J]. IEEE Communications Letters, 2003, 7(10):490-492.
- [9] Zhou T, Zhao M, Chen G R. Phase synchronization on scale-free networks with community structure [J]. Phys. Lett. A, 2007, 368(6):431-434.
- [10] Zemanova L, Zhou C S, Kurths J. Structural and functional clusters of complex brain networks [J]. Physica D, 2006, 224(1-2):202-212.
- [11] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99(12):323-330.
- [12] 杨伟伟, 刘润杰, 申金媛. 一种基于 LEACH 的高效节能协议 [J]. 传感技术学报, 2010, 23(8):1153-1157.

(上接第 102 页)

- [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2004.
- [7] 王萌, 陈益, 林坚. 关于飞行器管理计算机标准的研究 [J]. 航空标准化与质量, 2009(2):34-38.
- [8] 陈宗基, 孔繁峨, 李卫琪, 等. 先进战斗机的飞行控制计算机系统研究 [J]. 航空学报, 2007, 28(4):935-942.
- [9] 冯莎, 卢选民, 王兴亮. 一种基于 SAE AS5643 总线协议的驱动程序设计 [J]. 测控技术, 2012, 31(10):98-100.
- [10] SAE AS5657 Test Plan/Procedure for AS5643 IEEE-1394b

Interface Requirements for Military and Aerospace Vehicle Applications [S]. 2007.

- [11] SAE AS5706 Test Plan/Procedure for AS5643/1 S400 Copper Media Interface Characteristics Over Extended Distances [S]. 2007.
- [12] SAE AS5643/2 IEEE-1394b Interface Requirements for Military and Aerospace Vehicle Applications [S]. 2006.

基于社团特性的LEACH协议的改进

作者：[万佑红](#)，[杨帆](#)，[WAN You-hong](#)，[YANG Fan](#)
作者单位：[南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京, 210023](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(8)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201308026.aspx