

一种基于能量和密度的低功耗自适应 集簇分层协议的优化

唐延枝¹, 李莉^{1*}, 邵玮璐¹, 梁燕¹, 彭张节^{1,2}

(1. 上海师范大学信息与机电工程学院, 上海 200234;

2. 东南大学信息与工程学院移动通信国家重点实验室, 江苏南京 211189)

摘要: 根据经典的低功耗自适应集簇分层(LEACH)协议, 提出了一种新型的簇首节点选择机制, 通过加权思想综合考虑了节点的剩余能量和密度参数来优化簇首节点的选择, 权衡簇首节点负载均衡和网络生存时间之间的关系, 以得到较为理想的加权因子. 仿真结果表明: 在仿真区域面积为 100 m × 100 m、节点数目为 100 的条件下, 相比于 LEACH 算法, 该算法将第一个节点的死亡时间延长了 19.6%, 并且 500 轮后, 网络中的剩余节点数是 LEACH 算法的 5 倍多, 改善了节点能耗, 有效提高了整个网络的生命周期.

关键词: 无线传感网(WSN); 低功耗自适应集簇分层(LEACH)算法; 网络寿命; 簇首节点选取
中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2019)01-0001-06

An improvement of LEACH protocol based on energy and density

TANG Yanzhi¹, LI Li^{1*}, SHAO Weilu¹, LIANG Yan¹, PENG Zhangjie^{1,2}

(1. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. National Mobile Communication Research Laboratory, School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, Jiangsu, China)

Abstract: A new cluster head selection mechanism was proposed according to the classical low energy adaptive clustering hierarchy (LEACH) protocol. In the new algorithm, the cluster head selection was optimized by considering residual energy of nodes and density parameters of nodes comprehensively. Meanwhile, the relationship between cluster head load balancing and network lifetime was weighed to get an optimum weighting factor. The simulation results showed that, compared with LEACH algorithm, the proposed algorithm prolonged the death time of the first node by 19.6% when the simulation area was 100 m × 100 m and the number of nodes was 100. The number of remaining nodes in the network after 500 rounds was more than 5 times that of LEACH algorithm, which improved the energy consumption of nodes and the whole network lifetime effectively.

收稿日期: 2018-12-25

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(61701307); 上海高校青年教师培养资助计划(ZZssd16044); 上海师范大学校级一般项目(SK201716)

作者简介: 唐延枝(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事无线通信方面的研究. E-mail: 1000441754@smail.shnu.edu.cn

* **通信作者:** 李莉(1962—), 女, 教授, 主要从事自适应信号处理与无线通信方面的研究. E-mail: lilyxuan@shnu.edu.cn

引用格式: 唐延枝, 李莉, 邵玮璐, 等. 一种基于能量和密度的低功耗自适应集簇分层协议的优化 [J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2019, 48(1): 1-6.

Citation format: TANG Y Z, LI L, SHAO W L, et al. An improvement of LEACH protocol based on energy and density [J]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences), 2019, 48(1): 1-6.

Key words: wireless sensor network (WSN); low energy adaptive clustering hierarchy (LEACH) algorithm; network lifetime; cluster head selection

0 引言

无线传感器网络(WSN)是一种将传感测控技术、通信技术、嵌入式技术有机整合形成的一个新式协同系统^[1].它由大量的传感器节点组成,通常用来检测一个区域的环境参数,并将收集到的数据发送给基站.由于其功耗低、无线传输、无线传感等特点,常常被应用于目标跟踪、环境检测等领域^[2].但WSN 电池能量有限且不易补充,有生存时间较短的问题,限制了其推广应用^[3].

低功耗自适应集簇分层(LEACH)算法^[4]是为了延长网络的生命周期而提出的一种分簇算法,分簇的基础是在网络中,将所有的节点划分为多个簇,每个簇中均有一个簇首节点,簇中的其他节点称为簇成员,簇首节点接收簇成员送来的采集信息,进行数据融合,并送到基站节点.由于LEACH 算法在选取簇首节点时存在随机性,使得分簇不均,造成节点能量分布不均,影响网络寿命.杜超^[5]提出低功耗自适应集中分层型(LEACH-C)算法,在选择簇首节点时,考虑了节点间的通信距离以及节点的剩余能量,解决了LEACH 算法中通信方式和簇首节点选择的随机性.但是,LEACH-C 算法过于依赖基站,增加了基站的能量消耗,降低了网络的稳定性.张辉等^[6]提出了一种基于权值的LEACH 改进算法,以权值作为选取簇首节点的一种数学度量,考虑了节点的能量、地理位置以及邻居节点数.该算法有效地提高了网络的生存时间,但簇首节点与基站之间的通信能耗过大.柴宝杰等^[7]在非均匀分簇(EEUC)算法的基础上针对“空洞”节点(即某些节点并未加入任何一个簇)进行改进,但未考虑基站最优位置,影响节点的传输距离和消耗的能量.

本文作者结合了LEACH-C 算法的优势,针对LEACH 算法对簇首节点选择的随机性,提出了一种基于能量和密度的LEACH(LEACH-ED)改进算法.其基本思想是在簇首节点的选取中引入权值,综合考虑候选簇首节点的能量及位置信息,保证每轮都选取最佳节点做为簇首节点,同时根据节点的剩余能量确定进入下一轮大循环周期的条件,以期有效提高节点的生存时间,延长网络的生命周期.

1 LEACH 算法

1.1 簇的建立

LEACH 算法工作过程分为初始化阶段和稳定阶段.为了节省资源开销,稳定阶段的持续时间大于初始化阶段的持续时间.簇的建立过程可分成4个阶段:簇首节点的选择、广播、建立,和调度机制的生成.

1.1.1 初始化阶段

在簇首节点选取准备阶段开始时,每个节点产生一个值为0~1之间的随机数,并与阈值 $T(n)$ 进行比较,若随机值小于阈值则该节点当选为簇首节点, $T(n)$ 的计算公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times \left(r \times \text{mod} \left[\frac{1}{p} \right] \right)}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad (1)$$

其中, p 为成为簇首节点的期望百分比, r 为轮数, G 为 $\left\lfloor \frac{1}{p} \right\rfloor$ 轮还没有当选簇首节点的节点集合, $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整运算.

节点成为簇首节点后,向网络中广播自己成为簇首节点的消息,非簇首节点根据收到信号的强弱程度决定是否加入该簇,并向加入簇的簇首节点发送申请信息.当簇首节点收到申请加入信息后,通过时

分多址(TDMA)建立通信时间表,并向簇内广播,至此,初始化阶段完成.

1.1.2 稳定阶段

簇内非簇首节点按照之前分配好的通信时间表,将采集到的数据发给簇首节点,随后进入休眠状态.簇首节点将接收到的数据进行融合后,转发给基站.稳定阶段的时间远远大于初始化阶段的时间.

1.2 LEACH 算法的不足

LEACH 算法中,簇首节点的选举完全是随机的,易出现簇首节点分布不均的问题.而在智能家居应用中,传感器节点往往分布在由许多小区域组成的空间里,造成有的区域里有多个簇首节点,而有的区域里没有簇首节点,严重影响整个网络的寿命.此外,由于没有考虑到节点剩余能量因素,可能出现剩余能量低的节点重复当选簇首节点的问题,加速该节点的死亡速度,影响网络的寿命.

2 LEACH-ED 算法

2.1 网络模型的假设

提出几点假设:1) 基站始终具备充足的能量,其余节点同构且初始能量相同;2) 所有节点一旦生成,位置不变,有唯一的 ID 标识;3) 接收节点可以根据接收到的信号强度计算与发射节点之间的距离,控制发射功率;4) 信道采取两种不同的工作模式——自由空间传输模式和多路径损耗模式.

2.2 无线通信能量消耗模型

传输 k bit 数据至距离为 d 的汇聚节点需消耗能量^[8]

$$E_T(k, d) = \begin{cases} E_{elec} \times k + \varepsilon_{fs} \times k \times d^2, & d < d_0 \\ E_{elec} \times k + \varepsilon_{amp} \times k \times d^4, & d \geq d_0 \end{cases}, \quad (2)$$

其中, E_{elec} 表示在发送电路和接收电路中处理每比特数据所消耗的能量,它取决于信号的数字编码、调制、滤波和扩展等因素; ε_{fs} 与 ε_{amp} 分别为自由空间和多路径衰落两种信道模型下信号功率放大系数. 传

输距离阈值 $d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{amp}}}$.

节点接收 k bit 数据所消耗的能量^[9]

$$E_R(k) = k \times E_{elec}. \quad (3)$$

簇首节点融合 B 组 k bit 数据所消耗的能量^[10]

$$E_d = B \times k \times E_{da}, \quad (4)$$

其中, E_{da} 为数据融合能耗.

2.3 LEACH-ED 算法描述

利用加权思想对 LEACH 算法进行改进,使节点产生一个基于能量和密度的权值,通过这个权值概率阈值选择簇首节点,进而生成整个簇.该权值综合考虑了节点所处的网络环境和本身状态,节点的邻居节点越多,成为簇首节点的概率就越大,成为簇首节点的概率越大.

改进后的阈值

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p \times W}{1 - p \times \left(r \times \text{mod} \left[\frac{1}{p} \right] \right)}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad (5)$$

其中,权值

$$W = \gamma_1 \frac{E_{\text{res}}}{E_0} + \gamma_2 \frac{n_{\text{neb}}}{N_{\text{enum}}}, \quad (6)$$

其中, E_{res} 为节点的剩余能量, E_0 为节点的初始能量, n_{neb} 为邻居节点数量, N_{enum} 为簇内成员数量, γ_1 与 γ_2 分别为权值影响因子, 且 $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$.

改进后的算法流程图如图 1 所示. 首先初始化节点, 然后节点产生一个 0~1 之间的随机数, 并与改进后的阈值进行比较, 若小于阈值, 则当选为簇首节点. 考虑节点的剩余能量及密度所选取的簇首节点更为均匀合理. 当节点的剩余能量低于网络的平均能量时, 再重新选取簇首节点, 减少了选取簇首节点的循环次数, 进而减少了网络能耗. 节点被选为簇首节点后, 广播成簇消息, 收到普通节点的加入请求后, 簇首节点以 TDMA 方式为簇内成员分配时隙, 进入稳定阶段.

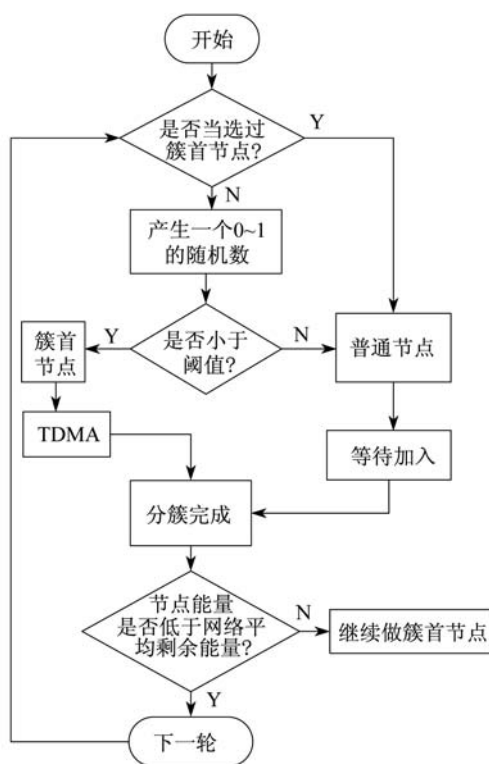


图1 簇首节点选取流程图

3 仿真结果与分析

3.1 仿真环境以及模型配置

实验设置网络中有 100 个节点随机地分布在长宽为 100 m × 100 m 的仿真场景内, 基站位于坐标 (50, 50) 处, 网络拓扑图如图 2 所示. 每帧数据为 500 B, 并假定各节点总有数据向基站发送^[11]. 每个节点的初始能量设为 0.02 J, E_{da} 为 $0.02 \text{ nJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, 控制信息大小 C_M 为 32 bit, 数据信息大小 D_M 为 4000 bit, 权值影响因子为 0.55, 网络中簇首节点个数所占比例 $p = 0.1$, $E_{\text{elec}} = 10 \text{ nJ} \cdot \text{bit}^{-1}$ ^[12].

3.2 仿真波形及分析

通过 Matlab 仿真软件对传统 LEACH 算法以及 LEACH-ED 算法进行仿真, 轮数 - 节点死亡数关系曲线如图 3 所示. 由图 3 可知, 随着轮数的不断上升, LEACH-ED 算法的优势逐渐体现出来, 与传统 LEACH 算法相比, 提高了网络的生命周期.

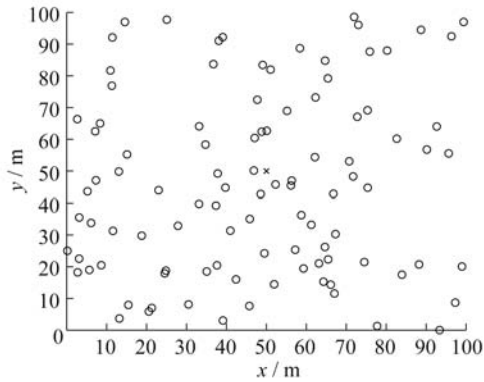


图 2 节点网络拓扑图

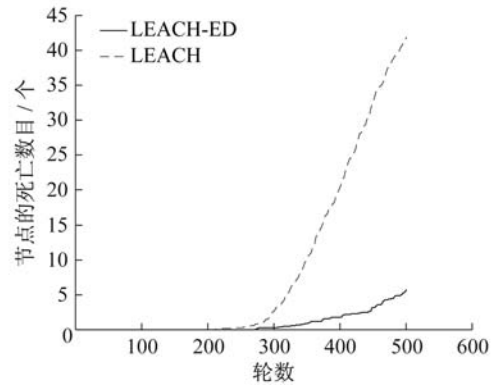


图 3 轮数 - 节点死亡数关系曲线

两种算法仿真结果对比如表 1 所示. 由表 1 可以看出,LEACH-ED 算法将第一个节点的死亡时间延长了 19.6%, 并且 500 轮后网络中的剩余节点数为 LEACH 算法 2 倍多. 因此可以看出,LEACH-ED 算法的性能优于传统 LEACH 算法.

表 1 算法仿真结果对比

算法	第一个节点死亡轮数	500 轮后剩余节点数
LEACH	172	47
LEACH-ED	214	96

轮数 - 平均剩余能量关系曲线如图 4 所示. 由图 4 可以看出:采用传统 LEACH 算法,网络中的节点能量损耗得很快,500 轮后整个网络的平均剩余能量所剩无几;而采用 LEACH-ED 算法,网络的平均能量下降较为缓慢,整体表现明显优于传统 LEACH 算法.

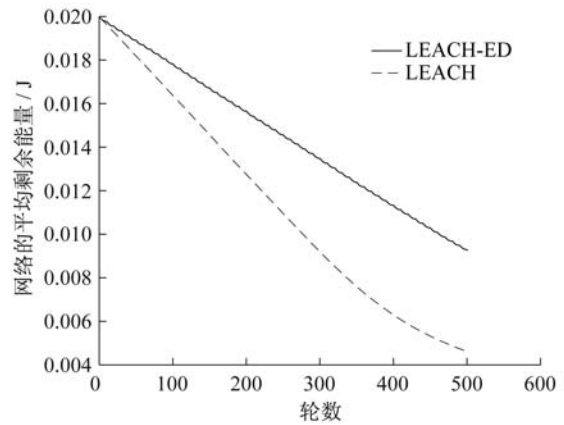


图 4 轮数 - 网络平均剩余能量关系曲线

4 结 论

在传统 LEACH 算法的基础上,考虑了节点的能量以及密度因素,提出改进的 LEACH-ED 算法,根据节点的剩余能量选取簇首节点,避免能量较低的节点再次当选簇首节点的情况,使网络中节点的剩余能量趋于平均. 仿真实验结果表明:与 LEACH 算法相比,LEACH-ED 算法延长了网络的生命寿命,降低了网络的平均能耗. 但是该算法未考虑稳定阶段的传输问题,有待后续开展进一步的研究工作.

参考文献:

[1] 梁度,刘梦璐,章成驹.一种 LEACH 的分簇优化策略 [J].北京联合大学学报,2017,31(1):75 - 80.
LIANG D,LIU M L,ZHANG C J. A clustering optimization strategy for LEACH [J]. Journal of Beijing Union University, 2017,31(1):75 - 80.

[2] ARUMUGAM G S,PONNUCHAMY T. EE-LEACH:development of energy-efficient LEACH protocol for data gathering in

- WSN [J]. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2015(1):1-9.
- [3] 韩广辉,张丽翠. 基于 LEACH 协议的无线传感网能效分簇算法 [J]. *吉林大学学报(信息科学版)*, 2017, 35(1):26-31.
- HAN G H, ZHANG L C. Energy efficiency clustering in wireless sensor networks based on LEACH protocol [J]. *Journal of Jilin University (Information Science Edition)*, 2017, 35(1):26-31
- [4] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2002, 1(4):660-670.
- [5] 杜超. 基于 NS2 的 LEACH-C 协议分析与仿真 [J]. *电子测量技术*, 2011, 34(9):121-123.
- DU C. Analysis and simulation of LEACH-C protocol based on NS2 [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2011, 34(9):121-123.
- [6] 张辉,许峰. WSN 中基于权值的 LEACH 协议的研究与改进 [J]. *微计算机信息*, 2010, 26:199-201.
- ZHANG H, XU F. Research and improvement of LEACH protocol for WSN based on weight value [J]. *Microcomputer Information*, 2010, 26:199-201.
- [7] 柴宝杰,马宝英,范书平,等. 无线传感器网络中改进的 EEUC 路由算法 [J]. *微计算机信息*, 2012(9):366-368.
- CHAI B J, MA B Y, FAN S P, et al. Improved EEUC routing algorithms in wireless sensor networks [J]. *Microcomputer Information*, 2012(9):366-368.
- [8] 冯永亮,雷伟军. 无线传感器网络 LEACH 协议的研究与改进 [J]. *信息技术*, 2016(2):145-148.
- FENG Y L, LEI W J. Research and improvement of LEACH protocol in wireless sensor networks [J]. *Information Technology*, 2016(2):145-148.
- [9] 邓亚平,邓利军. 无线传感器网络的能量有效加权分簇算法 [J]. *计算机工程与设计*, 2011, 32(4):1216-1219.
- DENG Y P, DENG L J. Energy-efficient weighted clustering algorithm for wireless sensor networks [J]. *Computer Engineering and Design*, 2011, 32(4):1216-1219.
- [10] FENG X, ZHANG J, REN C, et al. An unequal clustering algorithm concerned with time-delay for internet of things [J]. *IEEE Access*, 2018, 6:33895-33909.
- [11] 林启中,张冬梅,王聪,等. 基于位置信息的双簇头路由算法 [J]. *计算机应用*, 2015, 35(3):606-609.
- LIN Q Z, ZHANG D M, WANG C, et al. Dual cluster head routing algorithms based on location information [J]. *Computer Application*, 2015, 35(3):606-609.
- [12] SONY C T, SANGEETHA C P, SURIYAKALA C D. Multi-hop LEACH protocol with modified cluster head selection and TDMA schedule for wireless sensor networks [C]//*Communication Technologies. Thuckalay:IEEE*, 2015:539-543.

(责任编辑:包震宇,顾浩然)