

文章编号: 1007-9831 (2018) 01-0033-05

基于剩余能量和距离的 WSN 混合路由算法

李雨江

(岭南师范学院 数学与统计学院, 广东 湛江 524048)

摘要: 针对低功耗自适应集簇分层型协议 (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH) 在簇头选举和数据传输过程存在的不足, 提出了一种基于剩余能量和距离的 WSN 混合路由算法. 算法在分簇建立阶段, 综合考虑节点剩余能量和簇头到基站距离 2 种因素对无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 分簇的影响, 采用了 2 种因素乘积形式对阈值 $T(n)$ 进行修正. 在数据传输阶段, 采用混合路由方式进行数据通信, 即比较节点到簇头、基站的距离, 当节点距离基站较近时, 节点直接与基站进行通信, 反之, 则通过簇头与基站进行通信. 结果表明, 考虑剩余能量和距离的混合路由算法的网络性能较为优越, 其网络生命周期和基站接收数据包数量较传统 LEACH 算法都有较大提高.

关键词: LEACH; 剩余能量; 距离; 混合路由; 无线传感器网络

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1007-9831.2018.01.008

WSN hybrid routing algorithms based on residual energy and distance

LI Yu-jiang

(School of Mathematics and Statistics, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

Abstract: Aiming at the existent insufficiencies in cluster head election and data communication process of the traditional LEACH routing algorithm, a WSN hybrid routing algorithm based on residual energy and distance is proposed. In the cluster building phase, the threshold $T(n)$ is modified by the product form of two factors, considering the effects of the residual energy of nodes and the distance from the cluster to the base station in cluster establishment stage. In the data transfer phase, a hybrid routing approach for data communication is used, namely, the distances from the node to the cluster head and to the base station are compared, when the node is closer to the base station, the node communicates directly with the base station, instead, the node communicates with the base station by the cluster head. The result shown it is superior that the network performance of the hybrid routing algorithms whose residual energy and the distance are considered, and the network life cycle and the number of packets received by the base station of the hybrid routing algorithms are greatly improved compared with the traditional LEACH algorithm.

Key words: LEACH; residual energy; distance; hybrid routing; WSN

LEACH 协议^[1]是无线传感器网络中最早提出的分簇路由协议, 奠定了分簇路由协议的基本思想^[2], 其后发展的很多分簇协议, 如 TEEN 协议^[3]、HEED 协议^[4]等, 都贯穿了 LEACH 的成簇思想. 随着研究的深入, 学者们逐渐认识到 LEACH 算法的不足, 继而从改进网络成簇方法^[5-7], 完善簇头选举模式^[8]以及优化数

收稿日期: 2017-11-15

基金项目: 岭南师范学院自然科学研究青年项目 (QL1506)

作者简介: 李雨江 (1985-), 女, 四川邛崃人, 讲师, 硕士, 主要从事无线传感器网络、分布式仿真的研究. E-mail: spring888999@163.com

据传输路径^[9-10]等方面对 LEACH 算法进行改进,以期获得更好的效果.为进一步降低节点能耗,均衡网络能量,在 LEACH 路由算法的基础上,考虑节点剩余能量和簇头到基站的距离的影响,对 LEACH 选举簇头时的阈值 $T(n)$ 进行修正,选举剩余能量高的、节点位置更加合理的节点作为正式簇头.在数据传输阶段,将离基站距离较簇头近的节点直接与基站通信,延长网络使用寿命.

1 传统的 LEACH 路由算法

1.1 LEACH 算法分析

LEACH 算法^[11]是一种自适应分簇拓扑算法,它的执行过程是周期性的,每轮循环分为簇的建立阶段和稳定的数据传输阶段.在簇的建立阶段,每个节点随机产生一个 0-1 之间的数值,如果这个数值小于阈值 $T(n)$,则该节点成为簇头,并向周围节点广播当选消息. $T(n)$ 的计算公式为

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times [r \bmod (1/p)]} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中: p 是簇头占有所有节点的比率,即节点当选簇头的概率; r 是当前循环进行的轮数; G 是最近 $1/p$ 轮还未当选簇头的节点集合.

在稳定的数据通信阶段,整个通信阶段的时间被划分为若干帧,每个帧根据存活节点数划分为若干个时隙,每个节点按照 TDMA 表在各自的时间表内把收集到的数据发送给簇头.

1.2 问题分析

簇头节点传感器要负责数据传输、数据融合等多项功能,需要消耗的能量较普通节点多,但在传统的 LEACH 协议中,每个节点随机自主决定是否成为簇头.这不能保证簇头的数量、质量以及簇头的分布均匀,可能出现将剩余能量少的、距离基站远的节点选为簇头,从而导致簇头能量耗尽,产生网络“能量空洞”现象.在数据传输阶段,传统 LEACH 协议要求簇内所有成员节点将信息传给簇头节点,簇头将信息融合后再将信息传给基站,使得簇内距离簇头远的节点需耗散更多的能量来进行网络通信,这样会导致簇内节点出现剩余能量不均衡的现象.

2 改进 LEACH 路由算法

2.1 改进 LEACH 算法描述

为提高簇头选举的质量,避免网络的“能量空洞”现象,本文对簇头选举和数据传输方式进行改进.首先计算最优簇头数量,并考虑节点的剩余能量和节点到基站的距离的影响,对簇头选举阈值进行改进,利用 LEACH 原理选举簇头.在数据传输阶段,当节点距离基站较簇头近时,使节点和基站直接通信,减少节点开销,降低节点不必要的能量消耗.改进的 LEACH 算法流程见图 1.

2.2 能耗模型分析

采用和 LEACH 协议相同的一阶无线电通信能耗模型,该通信模型由 2 个部分组成,分别是发射模块和接收模块.能耗主要包括发射/接收电路能耗和放大电路能耗.

根据发送和接收节点的距离 d 和阈值距离 d_0 的关系,能耗模型分为自由空间模式和多径衰减模式 2 种,当节点发送长度为 k 的数据包至 d 处时,节点的能耗为

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\xi_{fs}d^2 & d < d_0 \\ kE_{elec} + k\xi_{mp}d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

当节点接收长度为 k 的数据包时,节点的能耗为

$$E_{Rx-elec}(k) = kE_{elec} \quad (3)$$

其中: $E_{Tx-elec}(k)$, $E_{Rx-elec}(k)$ 分别为节点内部电路在接收和发送每单位数据时的能耗; ξ_{fs} , ξ_{mp} 分别为自由空间模型和多路径衰减模型的信号放大器的放大参数,其值与系统参数有关; $E_{Tx-amp}(k, d)$ 为发送端发送消息经过放大器时所消耗的能量.

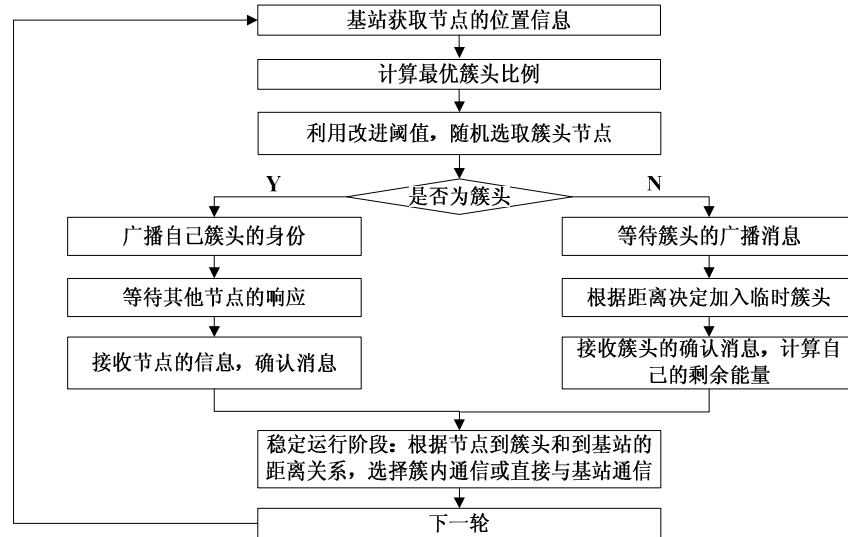


图 1 改进的 LEACH 算法流程图

对一个边长为 M 的正方形有界区域 S ，有 N 个传感器节点均匀分布在 S 区域中，假设有 K 个簇，则可以推算出网络区域最优簇头数 K_{opt} 的计算公式^[12]为

$$K_{\text{opt}} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\xi_{\text{fs}}}{\xi_{\text{mp}}}} \frac{M}{d_{\text{toBS}}^2} \quad (4)$$

当基站在网络区域中心时，簇头节点到基站距离 d_{toBS} 的数学期望可以表示为

$$E[d_{\text{toBS}}] = \int_A \sqrt{x^2 + y^2} \frac{1}{A} dA = 0.765 \frac{M}{2} \quad (5)$$

则节点当选簇头的最优概率 p_{opt} 可以表示为

$$p_{\text{opt}} = \frac{K_{\text{opt}}}{N} = \frac{1}{\sqrt{2\pi N}} \sqrt{\frac{\xi_{\text{fs}}}{\xi_{\text{mp}}}} \frac{M}{d_{\text{toBS}}^2} \quad (6)$$

2.3 改进算法的簇头选举方式分析

由于传统的 LEACH 算法没有考虑到节点剩余能量和节点到基站距离对簇头选举的影响，改进算法分别取无单位量 E_i/E_{init} 和 $\sqrt{d_i/d_{\text{avg}}}$ 作为剩余能量因子和距离因子，并将 2 个影响因子乘积组合成阈值 $T(n)$ 的改进变量 $f(n)$

$$f(n) = \frac{E_i}{E_{\text{init}}} \times \sqrt{\frac{d_i}{d_{\text{avg}}}} + \gamma \text{div} \frac{1}{p} \left(1 - \frac{E_i}{E_{\text{init}}} \times \sqrt{\frac{d_i}{d_{\text{avg}}}} \right) \quad (7)$$

其中： E_{init} 为节点初始能量； E_i 为节点当前能量； d_{avg} 为网络节点到基站的平均距离； d_i 为当前节点到基站的距离； γ 表示节点连续未当选过簇头的轮次，一旦当选了簇头， γ 重置为 0^[13]。

改进后的阈值 $T(n)_{\text{new}}$ 可以表示为

$$T(n)_{\text{new}} = T(n) - f(n) \quad (8)$$

由式 (1)、(6)、(7)、(8) 可以得到改进 LEACH 算法 (ED-LEACH) 的簇头选举阈值。

2.4 改进算法的数据传输方式分析

传统的 LEACH 算法在数据传输过程中，簇内所有节点需将信息先传给簇头，再由簇头传给基站，没有考虑数据传输距离，导致簇头节点能耗较高，容易提前死亡。改进后的算法网络区域内的数据传输方式发生变化，当节点到簇头距离小于节点到基站距离时，依然按照 LEACH 算法进行数据传输，即数据先传给簇头节点，再由簇头传给基站；当节点到簇头距离大于节点到基站距离时，节点直接与基站进行数据传

输^[14]，而不经簇头，从而减少节点及簇头的能量损耗。具体过程见图 2。

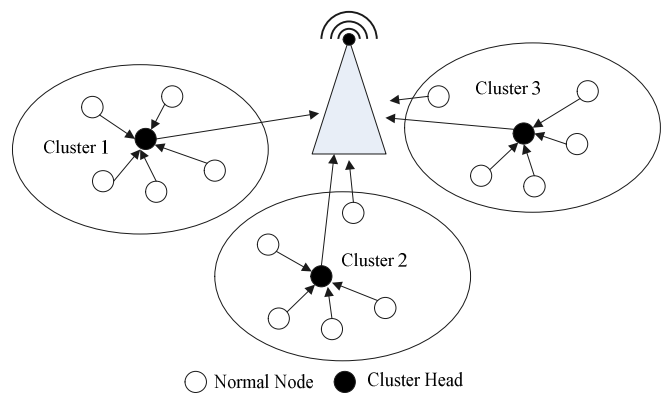


图 2 改进算法的数据传输方式

3 仿真实验与分析

本文采用 MATLAB 程序对 ED-LEACH 算法进行仿真计算，并与 LEACH 算法的网络节点存活情况和数据传输能量等方面进行比较。仿真计算时，网络中传感器节点数为 100，网络区域面积为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ ，节点随机分布，基站的位置为 $(50, 50)$ ，节点死亡发生在节点能量为 0 时。仿真时具体参数见表 1。

表 1 仿真参数设置

参数	取值
网络区域范围/ $\text{m} \times \text{m}$	100×100
网络节点总数	100
每个节点初始化能量/ J	0.5
每一个节点发送和接收能耗/ $\text{nJ} \cdot \text{bit}^{-1}$	50
节点数据融合产生的能耗/ $\text{nJ} \cdot \text{bit}^{-1}$	5
$\xi_{\text{fs}}/\text{pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	10
$\xi_{\text{mp}}/\text{pJ} \cdot \text{bit}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	0.001 3
模拟传送信息量（帧长）/ bit	4 000
最大循环运行轮数	4 999

比较 ED-LEACH 算法与 LEACH 算法的网络生命周期和数据传输性能见图 3 和图 4。由图 3 可见，改进后的 ED-LEACH 算法延长了网络生命周期。LEACH 算法大约在 830 轮左右开始出现第 1 个节点死亡（FND），50%节点死亡（HNA）发生在 1 200 轮左右；而 ED-LEACH 算法的 FND 时间为 1 200 轮左右，HNA 时间为 1 500 轮左右。

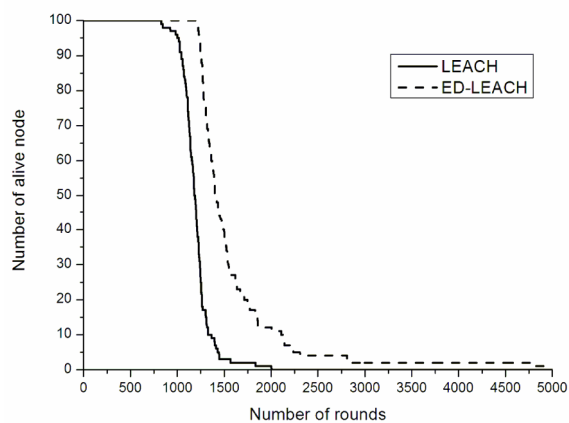


图 3 ED-LEACH 与 LEACH 网络稳定性比较

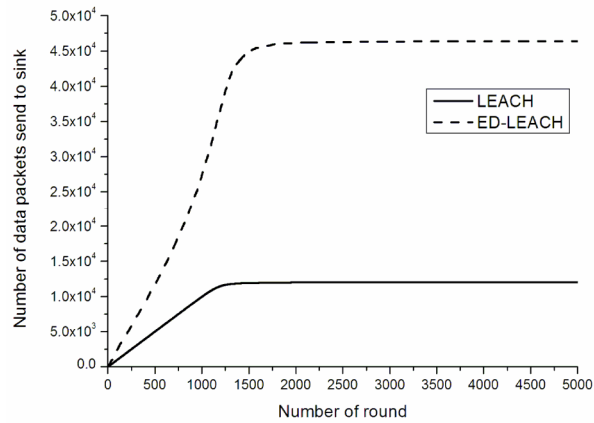


图 4 ED-LEACH 与 LEACH 数据传输能力比较

由基站接收数据包数量随运行轮数的变化（见图 4）可以看出，相同运行轮数情况下，改进后算法的基站接收的数据包数量要远大于 LEACH 算法。LEACH 算法在 1 300 轮左右时基站接收的数据包已经达到饱和，约为 1.2×10^4 ；ED-LEACH 在 1 800 左右达到饱和，约为 4.6×10^4 。

4 结论

本文在传统 LEACH 算法基础上，考虑节点剩余能量和簇头到基站距离对簇头选举的影响，采用 2 种因素乘积形式修改簇头选举阈值，改进簇头选举机制。在优化网络数据传输方面，将到基站比到簇头距离更近节点直接与基站通信，均衡网络能耗。仿真结果表明，采用改进 ED-LEACH 算法较传统 LEACH 算法在延长网络寿命，提高网络数据传输能量方面有较大优势。

参考文献：

- [1] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Science (HICSS' 00), 2000: 3005-3014
- [2] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291
- [3] Manjeshwar A, Grawal D. TEEN: A protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium. San Francisco: IEEE Computer Society, 2001: 2009-2015
- [4] Younis O, Fahmy S. Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669
- [5] Preetha Marappan, Paul Rodrigues. An energy efficient routing protocol for correlated data using CL-LEACH in WSN [J]. Wireless Networks, 2016, 22(4): 1-9
- [6] 蒋畅江, 石为人, 唐贤伦, 等. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 1222-1232
- [7] 王力, 陈晓磊. 基于固定分簇的 PSO 优化无线传感器网络路由算法[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(4): 1309-1311, 1315
- [8] 李年琼, 黄宏光, 李鹏. 基于剩余能量和位置的 LEACH 改进算法[J]. 计算机工程, 2012, 24(12): 70-73, 77
- [9] 胡峰松, 肖球. 一种基于 LEACH 的能耗均衡多跳路由算法[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(1): 70-73
- [10] 陈炳才, 么华卓, 杨明川, 等. 一种基于 LEACH 协议改进的簇间多跳路由协议[J]. 传感技术学报, 2014, 27(3): 373-377
- [11] 孙利民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [12] 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
- [13] Handy M J, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster head selection[C]//Proceedings of the 4th IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks. Stockholm: IEEE Communications Society, 2002: 368-372
- [14] 彭蕾, 吕敬祥, 刘秋平, 等. 大规模无线传感网络的混合 LEACH 协议研究[J]. 传感技术学报, 2016, 29(11): 1737-1741