

文章编号: 2095-2163(2019)01-0031-05

中图分类号: TP393.0

文献标志码: A

无线传感器网络上考虑能量因子的 LEACH 算法

魏鑫, 周世杰, 彭牧, 冯诚

(东北林业大学 信息与计算机工程学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 针对无线传感器网络 LEACH 路由算法忽视了每轮选举簇头时节点剩余能量, 并考虑到存在某些剩余能量较高的节点能量未被充分利用的情况, 提出一种考虑能量因子的 LEACH-OE 算法。引入能量因子来修正簇头选举阈值。此外, 通过自适应阈值的方法使某些剩余能量较高且已当选过簇头的节点重新参与簇头选举以提高能量利用率。利用 Matlab 软件进行仿真实验, 结果表明, LEACH-OE 算法有效减缓了节点的枯竭速度, 网络寿命较 LEACH 算法提高了约 13.12%。

关键词: 无线传感器网络; LEACH 算法; 网络寿命; 自适应阈值; 剩余能量

An improved LEACH algorithm based on energy factors on Wireless Sensor Networks

WEI Xin, ZHOU Shijie, PENG Mu, FENG Cheng

(College of Information and Computer Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

[Abstract] Because the routing algorithm LEACH on WSNs ignores the residual energy of each round of election cluster head, and considering that some nodes with high residual energy are underutilized, a LEACH-OE algorithm considering energy factor is proposed. Energy factor is introduced to modify the threshold of cluster head election. In addition, adaptive threshold method is used to make some nodes with high residual energy and selected over the cluster head participate in the cluster head election again to improve the energy utilization rate. Using Matlab software to perform simulation experiments, the results show that LEACH-OE algorithm effectively slows down the exhaustion rate of nodes, and the network life is about 13.12% longer than LEACH algorithm.

[Key words] Wireless Sensor Networks (WSN); Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) algorithm; network lifetime; adaptive threshold; residual energy

0 引言

无线传感器网络路由协议主要负责将数据包从源节点通过网络转发到目的节点, 即在传感器节点和 sink 节点之间建立路由, 从而进行可靠的数据传输^[1-3]。分簇路由协议与其它路由协议相比具有非常明显的优势^[4-5]。其中, LEACH 算法^[6]是 Heinzelman 等人提出的第一个无线传感器网络自适应分簇路由算法。由于该算法仍存在很多缺点, 研究学者们对其进行了诸多改进^[7-10]。Kaur 等人^[7]考虑到节点剩余能量这一因素, 通过改进阈值从而达到延长网络生命周期的目的, 但仍显现出一定不足, 如并未考虑为了均衡各个节点的负载, 需要修改各个因子的权重。唐甲东^[8]提出将簇头选举分为全网选举和簇内选举两个阶段, 从而更好地平衡各个节点的能量, 但依然没有着重考虑剩余能量。Mankita 等人^[9]考虑到节点的剩余能量, 通过修改阈

值增大剩余能量较高的节点成为簇头的概率。同时引入副簇头 (vice cluster) 的概念, 减少每个簇的能量消耗以延长生命周期, 但并未考虑某些剩余能量较高的节点能量利用不充分的情况。杨颖辉等人^[10]考虑到节点剩余能量和普通节点距 sink 节点的距离两种因素, 提出了 LEACH-O 算法降低网络能耗, 但还需指出, 研究中并未关注到随着轮数的增加, 各个因子对网络负载均衡的影响力不同这一特征。本文针对 LEACH 算法的不足, 考虑能量因子侧重度对簇头选举阈值进行改进, 提出一种新型的 LEACH-OE (LEACH based on energy factors) 自适应算法。本文拟对此展开研究论述如下。

1 系统建模

1.1 网络模型

本文研究的无线传感器网络节点随机地分布在一个正方形监测区域内^[11], 传感器节点和 sink 节点

基金项目: 中央高校基础研究经费 (2572017BB02); 国家大学生创新创业培训项目 (201710225348)。

作者简介: 魏鑫 (1998-), 男, 本科生, 主要研究方向: 机器学习; 周世杰 (1997-), 男, 本科生, 主要研究方向: 机器学习、优化理论; 彭牧 (1997-), 男, 本科生, 主要研究方向: 无线传感器网络、计算机网络; 冯诚 (1986-), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向: 物联网。

收稿日期: 2018-11-19

在部署之后位置固定不变^[12],并且不再进行人为干涉;节点同构且能量受限,具有相同初始能量^[13],处理能力和通信能力相等,被选中的概率相同;每个节点都具备了数据融合功能^[14],能感知自己的剩余能量并且具有全网唯一标识 ID^[15];节点的无线发射功率可以自我调控,可自主选择发射功率^[16];sink 节点计算能力和能量不受限制^[17]。

1.2 能耗模型

本文采用的是一阶无线电能量消耗模型 (first order radio model)^[18]。假设传感器节点在传输距离为 d 时传送 k 比特的数据,所消耗的能量为:

$$E_{tx}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\varepsilon_{fs}d^2 & d < d_0 \\ kE_{elec} + k\varepsilon_{mp}d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

信号在路径中的衰减模型分为自由空间信道模型 (free space channel model) 和多径衰减信道模型 (multi-path fading channel model) 两种^[19]。其中, E_{elec} 为发射电路或接收电路发送或接收 1 比特数据的耗能; d_0 为自由空间信道模型与多径衰减信道模型的切换阈值^[20], $d < d_0$ 时,选择自由空间信道模型,功率放大能耗为 ε_{fs} , $d \geq d_0$ 时,选择多径衰减信道模型,功率放大能耗为 ε_{mp} 。 d_0 可由式(2) 计算得到:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (2)$$

节点接收 k 比特数据消耗的能量为 $E_{Rx}(k) = kE_{elec}$; 对 k 比特数据进行数据融合消耗的能量为 $E_{agg}(k) = kE_{da}$, 其中 E_{da} 为传感器节点融合 1 比特数据消耗的能量。

2 LEACH-OE 算法

2.1 LEACH 算法概述

LEACH 算法的执行过程是周期性的,因此可以引入“轮”的概念去描述。该算法在每轮的执行过程中不断地进行簇的重构过程,每轮循环分为簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段,后一阶段通常比前一阶段时间复杂度高^[21]。对此可做阐释解析如下。

2.1.1 簇的建立阶段

簇的建立阶段分为 4 个过程^[22-23]。各过程设计详情可见如下。

(1) 簇头节点的选择。 $T(n)$ 为节点 n 自身的簇头选举阈值,每个节点产生一个 $0 \sim 1$ 之间的随机数,如果这个数小于其自身阈值 $T(n)$,则该节点成为簇头。 $T(n)$ 值的计算公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times [r \bmod p^{-1}]} & n \in G \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

其中, p 为簇头在所有节点中所占的百分比; r 为当前选举轮数; \bmod 为取模运算符; G 为前 $\lfloor 1/p \rfloor$ 轮中未当选过簇头的节点集合。随着当选过簇头的节点数目增加,剩余节点的阈值 $T(n)$ 随之增加,未当选过簇头的节点成为簇头的概率增大。 LEACH 算法能够保证各个节点等概率地担任簇头,从而使整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点中。

(2) 簇头节点的广播。节点成为簇头之后,发出广播消息通知自己是新簇头。

(3) 簇的形成。节点成为簇头之后,普通节点根据自身与簇头之间通信的强弱来决定加入哪个簇并告知该簇头。

(4) 调度机制的生成。簇头节点产生 TDMA 定时消息,为簇中每个普通节点分配向其传送数据的时间片。

2.1.2 稳定的数据通信阶段

该阶段的主要任务是进行数据的传送。数据传送采用 TDMA^[24-25] 方式,每个节点按时间片将自己感知到的数据传送给相应的簇头节点,簇头节点经过数据融合将数据传送给更高级别的簇头或者 sink 节点。稳定阶段持续一定时间后,传感器网络重新执行簇的重构,并以此不断循环,直到不满足网络性能要求为止。

2.2 LEACH-OE 算法设计

由于 LEACH 算法的簇头选举具有随机性,因此可能导致剩余能量过低的节点当选为簇头节点。为此,LEACH-OE 算法引入能量因子对 LEACH 的阈值 $T(n)$ 表达式进行改进。同时,分析可知每一轮中均会存在某些剩余能量较高的节点未参加簇头选举,则可通过自适应阈值的方法将这些节点重新加入未当选过簇头的集合并参加簇头选举,从而充分利用节点的剩余能量。该算法可以降低条件不佳的节点成为簇头的概率,减缓节点的死亡速度,平衡整个网络的能量负载,避免部分节点过早死亡造成网络瘫痪。这里,针对各研究要点,可给出探讨分述如下。

2.2.1 能量因子

网络初始阶段,各节点能量相同,均为 E_0 。随着节点之间信号的传输,部分节点当选为簇头,其它节点成为普通节点。因为簇头节点消耗的能量远远

大于普通节点,若某些节点频繁当选为簇头,这些节点将因电量迅速下降而枯竭死亡,最终导致网络部分瘫痪。因此,在进行簇头选举时,必须将节点的剩余能量考虑在内。定义节点的能量因子的数学公式如下:

$$E(n) = \frac{E_{residual}(n)}{E_{ave}} \quad (4)$$

其中, $E(n)$ 表示节点 n 的能量因子; $E_{residual}(n)$ 表示该节点的剩余能量; E_{ave} 表示整个网络所有节点的平均剩余能量。可以看出,剩余能量越低的节点其能量因子越小。

2.2.2 阈值的修正

在改进算法中,针对每一轮选举簇头时节点 n 是否在前 $r \bmod p^{-1}$ 轮中当选过簇头,阈值 $T(n)$ 被分为 $T_1(n)$ 和 $T_2(n)$ 两类。对此可得剖析论述如下。

(1) 若节点 n 在前 $r \bmod p^{-1}$ 轮中当选过簇头且满足:

$$E_{residual}(n) > E_{ave} \quad (5)$$

则该节点再次参与簇头选举,相应的阈值为:

$$T_1(n) = \frac{P}{1 - p \times [r \bmod p^{-1}]} \times [\alpha E(n) + \omega A] \quad (6)$$

其中,参数 n, p, r, G 和式(3)中相同, α, ω 是小于 1 的影响因子,并且 $\alpha + \omega = 1$ 。通过仿真实验发现,取 $\alpha = 0.8 - E_{residual}(n) / E_0, \omega = 0.2 + E_{residual}(n) / E_0$ 时效果较好, $A = (r - r_{last}) \bmod p^{-1}$, r_{last} 表示节点 n 上一次成为簇头的轮数,即 A 表示节点 n 从上次成为簇头之后经过的轮数。经过的轮数越多,该节点成为普通节点的时间越长,下一轮被选中的概率越大。

(2) 若节点 n 在前 $r \bmod p^{-1}$ 轮中未当选过簇头,相应的阈值为:

$$T_2(n) = \frac{P}{1 - p \times [r \bmod p^{-1}]} \times E(n) \quad (7)$$

其中,参数 n, p, r, G 和式(3)中相同。

对于能量因子的影响因子 α ,随着轮数的增加,节点的剩余能量越来越少。为了减缓节点的枯竭速度,均衡各个节点的负载,需要更加侧重考虑剩余能量这一因素。因此,随着传输轮数的增加, α 逐渐增大, ω 相对减小。各个因子的影响因子值总满足和为 1。LEACH-OE 算法针对不同的网络负载情况自适应地调节参数 α 和 β 的影响因子值,使修正后的阈值达到最优。

2.2.3 算法流程

LEACH-OE 算法对 LEACH 的簇头选举过程的研发改进主要可归纳为如下 2 点,即:

(1) 引入能量因子来修正簇头选举阈值。

(2) 在未当选过簇头的节点进行簇头选举之前,判断前 $r \bmod p^{-1}$ 轮当选过簇头的节点能否再次成为簇头。

其它过程与 LEACH 算法相同。这里, r 表示当前轮数, $Node(n)$ 表示节点 n 。LEACH-OE 算法成簇阶段的伪代码设计表述详见如下。

输入: 传感器节点网络拓扑 G_n

输出: 分簇的传感器节点网络拓扑 G_n'

if $Node(n) \notin G$

if $E_{residual}(n) > E_{ave}$ then

$G \leftarrow Node(n)$

由式(6)计算 $T_1(n)$ 并生成随机数 ξ_1

if $\xi_1 < T_1(n)$ then

$Node(n)$ 当选为簇头

end if

else

$Node(n)$ 退出簇头选举并成为普通簇头

end else

end if

else

由式(7)计算 $T_2(n)$ 并生成随机数 ξ_2

if $\xi_2 < T_2(n)$ then

$Node(n)$ 当选为簇头

end if

else

$Node(n)$ 退出簇头选举并成为普通簇头

end else

end if

3 实验仿真及分析

3.1 仿真环境参数设置

采用 Matlab R2014b 作为实验仿真平台,将 LEACH 和 LEACH-OE 算法进行仿真和性能对比分析。仿真参数设置见表 1。

3.2 实验结果及分析

节点的分布情况如图 1 所示,可以看出节点均匀分布在监测区域内。

随着仿真轮数的增加,2 种算法不同数量死亡节点对应的轮数见表 2。若以 90% 节点死亡的轮数作为衡量网络性能的标准,LEACH-OE 算法的网络

生命周期较 LEACH 算法提高了约 13.12%。

表 1 仿真参数

Tab. 1 Simulation parameters

参数类型	参数值
监测区域/ m^2	100×100
节点数量 N	100
sink 节点位置/m	(0,0)
节点初始能量 E_0 /J	0.5
E_{elec} / (nJ/bit)	50
ϵ_{mp} / (pJ/bit/ m^4)	0.001 3
ϵ_{fs} / (pJ/bit/ m^2)	10
E_{da} / (nJ/bit)	5
数据包长度/bit	4 000
最大轮数	1 200
簇头比例 p	0.1

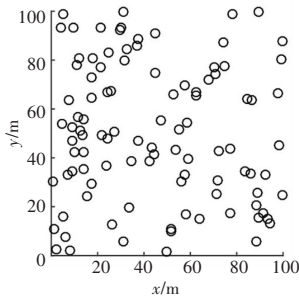


图 1 节点分布

Fig. 1 Nodes distribution

表 2 不同数量死亡节点对应的轮数

Tab. 2 Round of different number of dead nodes

算法种类	轮数		
	第一个节点	50%节点	90%节点
LEACH	347	687	983
LEACH-OE	311	746	1 112

图 2 显示了随着仿真轮数的增加,2 种算法在网络中存活节点数的变化情况。可以看出,采用 LEACH 算法出现第一个死亡节点的轮数在第 347 轮,而采用 LEACH-OE 算法虽然第一个节点死亡的时间比 LEACH 算法早,在第 311 轮,但是从 LEACH-OE 算法出现第一个死亡节点的轮数到第 1 200 轮,在大部分时刻 LEACH-OE 算法存活节点的数量要高于原始的 LEACH 算法。

主要是由于 LEACH 没有充分考虑到节点剩余能量的因素,有些节点自身能量过低,但在下一轮簇头选举时仍被选为簇头,这样会使节点剩余能量耗尽,加速该节点的死亡,甚至导致在节点未完成本轮通信时就提前死亡,降低网络传输效率和网络鲁棒

性。同时,LEACH-OE 算法还考虑到某些剩余能量较高的节点能量未被充分利用的情况,使满足条件的节点重新参与簇头选举,充分利用了节点的剩余能量。因此,LEACH-OE 算法减少了簇内和簇间的网络消耗,减缓了节点的死亡速度,均衡了全网节点的能量负载,同时相较其它算法能耗更低,有效延长了整个网络的生命周期。

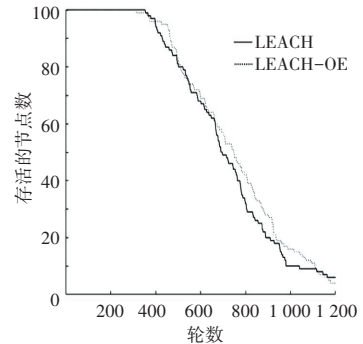


图 2 存活节点数随轮数的变化

Fig. 2 Number of nodes alive varying with rounds

4 结束语

针对 LEACH 算法的不足,本文提出一种考虑能量因子的无线传感器网络分簇路由算法。该算法采用新型簇头选举机制来均衡全网能量负载,并考虑到应尽可能减小剩余能量较低的节点当选簇头的概率,引入能量因子来修正簇头选举阈值并且在因子前面赋上相应系数,从而避免低能量的节点成为簇头。此外,通过自适应阈值的方法使部分剩余能量较高且已当选过簇头的节点重新参加簇头选举。实验证明,改进算法相较其它算法能耗更低,有效避免了节点过早死亡,从而延长了网络的生命周期。下一步,拟将继续研究大规模网络下分簇路由算法的优化问题。

参考文献

- [1] SINGH S K, SINGH M P, SINGH D K. A survey of energy-efficient hierarchical cluster-based routing in wireless sensor networks[J]. International Journal of Advanced Networking and Application (IJANA), 2010, 2(2): 570-580.
- [2] SHOKOUHIFAR M, JALALI A. A new evolutionary based application specific routing protocol for clustered wireless sensor networks[J]. AEU - International Journal of Electronics and Communications, 2015, 69(1): 432-441.
- [3] NARANJO P G V, SHOJAFAR M, MOSTAFAEI H, et al. P-SEP: A prolong stable election routing algorithm for energy-limited heterogeneous fog-supported wireless sensor networks[J]. The Journal of Supercomputing, 2017, 73(2): 733-755.
- [4] HUANG Jianhua, HONG Yadong, ZHAO Ziming, et al. An energy-efficient multi-hop routing protocol based on grid

- clustering for wireless sensor networks [J]. Cluster Computing, 2017, 20(4): 3071-3083.
- [5] NAYYAR A, GUPTA A. A comprehensive review of cluster-based energy efficient routing protocols in wireless sensor networks [J]. IJRCCCT, 2014, 3(1): 104-110.
- [6] 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.
- [7] KAUR J, GABA G S, MIGLANI R, et al. Energy efficient and reliable WSN based on improved Leach-R clustering techniques [J]. Indian Journal of Science and Technology, 2015, 8(16): 1-6.
- [8] 唐甲东. 无线传感器网络路由协议研究-LEACH 路由协议的改进[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [9] MANKITA E, SINGH P, RANI E S. Improved LEACH routing communication protocol for wireless sensor network [J]. International Journal Of Engineering and Computer Science, 2016, 5(11).
- [10] 杨颖辉, 郭红宾. 基于 LEACH 阈值函数修正的簇间路由协议 [J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(7): 1792-1797.
- [11] KHEDIRI S E L, NASRI N, WEI A, et al. A new approach for clustering in wireless sensors networks based on LEACH [J]. Procedia Computer Science, 2014, 32: 1180-1185.
- [12] AZHARUDDIN M, KUILA P, JANA P K. Energy efficient fault tolerant clustering and routing algorithms for wireless sensor networks [J]. Computers & Electrical Engineering, 2015, 41: 177-190.
- [13] ZHANG Haitao, ZHANG Shiwei, BU Wenshao. A clustering routing protocol for energy balance of wireless sensor network based on simulated annealing and genetic algorithm [J]. International Journal of Hybrid Information Technology, 2014, 7(2): 71-82.
- [14] 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, 2015(1): 76.
- [15] AMGOTH T, JANA P K. Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks [J]. Computers & Electrical Engineering, 2015, 41(C): 357-367.
- [16] MUMTAZ M, MUMTAZ A, KHAN M N. Energy aware routing using improved LEACH protocol [J]. Universal Journal of Communications and Network, 2015, 3(3): 64-67.
- [17] YUAN Xu, ZHONG Fangming, CHEN Zhikui, et al. Residual energy level based clustering routing protocol for wireless sensor networks [C]//Sixth International Conference on Electronics and Information Engineering. Dalian, Liaoning: Dalian University, 2015, 9794: 97940K.
- [18] VERMA M, KUSHWAHA A, MITTAL V. Improvement in Leach protocol [J]. Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET) www.jncet.org, 2017, 7(12).
- [19] AMGOTH T, JANA P K. Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks [J]. Computers & Electrical Engineering, 2015, 41: 357-367.
- [20] JAN M A, NANDA P, HE Xiangjian, et al. A sybil attack detection scheme for a centralized clustering-based hierarchical network [C]//2015 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA. Helsinki, Finland: IEEE, 2015, 1: 318-325.
- [21] FAN Xiangning, SONG Yulin. Improvement on LEACH protocol of Wireless Sensor Network [C]//International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2007. Sensorcomm. Valencia, Spain: IEEE, 2007: 260-264.
- [22] SAMANT T, MUKHERJEE P, MUKHERJEE A, et al. LEACH-V: A solution for intra-cluster cooperative communication in wireless sensor network [J]. Indian Journal of Science and Technology, 2016, 9(48): 1-7.
- [23] KUMAR S V, PAL A. Assisted-leach (A-Leach) energy efficient routing protocol for wireless sensor networks [J]. International Journal of Computer and Communication Engineering, 2013, 2(4): 420-424.
- [24] YEKTAPARAST A, NABAVI F H, SARMAST A. An improvement on LEACH protocol (Cell-LEACH) [C]//2012 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). PyeongChang, South Korea: IEEE, 2012: 992-996.
- [25] AL-BAZ A, EL-SAYED A. A new algorithm for cluster head selection in LEACH protocol for wireless sensor networks [J]. International Journal of Communication Systems, 2018, 31(1): 1-13.
- [26] MAO Guoqiang, FIDAN B, ANDERSON B D O. Wireless sensor network localization techniques [J]. Computer networks, 2007, 51(10): 2529-2553.

(上接第 30 页)

- [4] BLOCKI L, BLUM A, DATTA A, et al. Differentially private data analysis of social networks via restricted sensitivity [J]. arXiv preprint arXiv:1208.4586, 2012.
- [5] NARAYANAN A, SHMATIKOV V. De-anonymizing social networks [C]//2009 30th IEEE symposium on Security and Privacy. Oakland, California, USA: IEEE, 2009: 173-187.
- [6] B. Zhou and J. Pei. Preserving privacy in social networks against neighborhood attacks. In ICDE, 2008.
- [7] XIONG Ping, ZHU Tianqing, WANG Xiaofeng. A survey on differential privacy and applications [J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(1): 101-122.
- [8] 张啸剑, 孟晓峰. 面向数据发布和分析的差分隐私保护 [J]. 计算机学报, 2014, 37(4): 927-949.
- [9] 刘向宇, 王斌, 杨晓春. 社会网络数据发布隐私保护技术综述 [J]. 软件学报, 2014, 25(3): 576-590.
- [10] SORIA-COMAS J, DOMINGO-FERRER J, SÁNCHEZ D, et al. Enhancing data utility in differential privacy via microaggregation-based k-anonymity [J]. The VLDB Journal, 2014, 23(5): 771-794.