

基于节点剩余能量和稀疏度的分簇算法优化

赵旦峰¹, 陈通¹, 周公询²

(1. 哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001;

2. 山东省即墨市南泉中学, 山东 即墨 266231)

摘要: 针对无线传感器网络 LEACH 分簇算法存在的簇头选择随机性以及簇分布不均匀等缺点, 以 LEACH 分簇算法为基础, 提出了一种基于节点剩余能量和稀疏度选择簇头的优化算法, 优化算法的主要思想是先成簇再进行簇头选举, 首先根据网络中期望的簇头比例确定簇头数目, 根据簇头数目对无线传感器网络监测区域进行均匀的划分, 然后在规定区域内通过对节点剩余能量和节点的稀疏度进行簇头选择, 最后通过多跳路由将数据传输至汇聚节点, 完成数据收集。仿真实验表明, 与 LEACH、LEACH-E 分簇算法相比较, 优化算法可以有效的均衡无线传感器网络能量消耗, 延长了网络生命周期。

关键词: 通信技术; 传感器网络; LEACH; 分簇; 能量均衡;

中图分类号: TN915

A cluster-head selection algorithm optimization in clustered based on the node residual energy and sparsity

ZHAO Danfeng¹, CHEN Tong¹, ZHOU Gongxun²

(1. College Of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University
Harbin 150001, China;

2. Nanquan Middle School, Jimo 266231, China)

Abstract: In order to solve the problem of high energy consumption caused by the uneven distribution of the cluster-head nodes in wireless sensor network (WSN), we present a novel distributed Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol algorithm on the basis of in-depth study of LEACH routing algorithm proposed its shortcomings. According to LEACH routing algorithm, this thesis puts forward an improvement multiple hops routing algorithm based on the node residual energy and sparse choosing cluster heads. The thought of this algorithm is become clusters first and then choose cluster heads. According to the occupancy of clusters to identify the amount of cluster heads and then on the basis of cluster heads' number to divide wireless sensor network monitoring area on average. Afterwards, by residual energy and the sparse degree of node in specific area to choose cluster heads. Compared with LEACH and EACH-E algorithm, the algorithm used in this thesis is helpful to balance the network energy and prolong the network life cycle.

Key words: communication; wireless sensor network; LEACH; cluster; energy balance;

0 引言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是集数据采集、处理和传输为一体的综合信息处理系统^[1], 通常需要在无人值守的情况下进行数据收集, 节点能量储备有限且难以进行补给, 因此能够延长水声传感器网络生命周期的分簇拓扑控制技术成为了当前的研究热点^[2]。

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)算法是麻省理工大学 Heinzelman 等

基金项目: 基金项目: 国家自然科学基金(61371099)

作者简介: 赵旦峰(1961-), 男, 教授, 博士生导师。研究方向: 信道编码, 水声通信. E-mail: 15834662877@163.com

人提出的一种自适应分簇算法,基本思想是通过周期、循环、随机的方式来选择簇头节点,使整体网络的能量消耗均匀地分摊到每个传感器节点上,可以有效延长网络生命周期^[3-5]。

2014 年文献^[6]提出了 LEACH-K 算法,该算法通过改变分簇方式实行多跳数据通信,虽然降低了网络能耗以及延长了生命周期,但是该算法没有考虑节点的移动性,而是假设节点是固定。

2015 年文献^[7]提出了基于能量和距离的分区域选择簇首算法,该算法通过先选簇头再选区域的思想,依据节点距离和剩余能量来选择簇头,数据传输阶段采用多跳路由以降低网络能量消耗。但是,该算法存在簇头均匀性不足的缺点,使得网络的能量分布不均匀。

2014 年文献^[8]提出了一种 LEACH 改进算法,该算法建立在先成簇在选簇头上,根据 K_MEANS 算法进行分簇,通过自身剩余能量和节点距离质心的相对距离来判断节点是否成为簇头。但是该路由算法由于引入聚类算法,造成算法时间复杂度增大,此外,如果初始簇头选择不合理,需要经过多次迭代达到最优效果,并且容易达到局部最优。

2014 年文献^[9]提出了一种基于 LEACH 路由算法改进的簇间多跳路由算法,该算法利用节点能量和距离改进阈值函数选择簇头,该算法由于选择簇头的距离因素是节点与汇聚节点之间的距离,就造成簇头节点分布不均匀,离汇聚节点近的簇头数量就多,反之就少,从而使得网络能量消耗不均衡。

虽然目前对 LEACH 算法的研究取得了显著成果,但是依然存在簇头选择方式不恰当、簇头分布不均匀以及没有考虑节点移动性等问题,结合节点剩余能量和稀疏度两个因素优化簇头选举算法,通过建立多级路由结构进行传输数据,提高网络簇头分布均匀性、降低网络能量消耗以及延长网络生命周期。

1 传感器网络模型

1.1 仿真实验条件

为了模拟传感器网络工作环境,在 $l \times l$ 的二维平面内随机部署 N 个传感器节点,网络具有以下特点:

(1) sink 节点只负责进行数据接收,不负责网络控制,且能量无限;节点均可与 sink 节点直接通信;簇头节点完成簇内信息收集后,将数据发送给 sink 节点。

(2) 传感器节点均匀布放在监测区域内,布放结束后节点位置不发生变化,可以有效保证网络覆盖度;节点能够完成长距离全向通信,与各个方向节点均进行双向数据传输,保证网络连通性。

(3) 传感器节点可以通过自由调节自身发送功率,在通信过程中,可以调节至满足通信条件的最小发射功率;节点直至能量耗尽才会失效,不考虑因节点损坏等其他原因引起的节点失效。

1.2 能耗模型

在无线数据传输过程中,节点能量消耗根据发送和接收节点的距离阈值 d 判断,可以将能量模型分为多径衰落信道和自由空间两种模型。节点的能量消耗多少可以由数据传输距离 d 的大小决定,定义距离阈值如公式(1)所示。

$$d_{crossover} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{amp}}} \quad (1)$$

式中, ε_{fs} 表示在自由空间信道模型中的能耗, 而 ε_{amp} 表示在多径衰落信道模型中的能耗。

$$E_{TX}(k, d) = E_{TX-elec}(k) + E_{TX-amp}(k, d) = \begin{cases} k \cdot E_{elec} + k \cdot \varepsilon_{fs} \cdot d^2, & d < d_{crossover} \\ k \cdot E_{elec} + k \cdot \varepsilon_{amp} \cdot d^4, & d \geq d_{crossover} \end{cases} \quad (2)$$

节点的能量消耗模型如公式(2)所示, 当传感器节点在距离 d 上发送字节 k 比特时, 节点能量与节点的距离成正比关系^[10]。

传感器节点接收字节 k 比特时的能量能耗模型如公式 (3) 所示。

$$E_{RX}(k) = E_{RX-elec}(k) = k \cdot E_{elec} \quad (3)$$

假设当簇头对 n 个簇内普通节点进行数据融合时, 簇内普通节点发送 k 比特信息, 那么节点消耗能量如公式 (4) 所示。

$$E_{DA}(n, k) = n \cdot k \cdot E_{da} \quad (4)$$

2 LEACH 算法研究与优化

2.1 LEACH 算法研究

LEACH 算法通过轮次判断无线传感器网络的生命周期, 在每一轮次中, 传感器网络随机选取出一个节点成为簇头节点, 余下普通节点按照就近原则, 选择适合自己的簇头节点, 从而建立虚拟的簇。LEACH 路由算法在运行过程中分为簇头选择、簇结构建立和数据传输三个阶段。通过设置稳定传输数据阶段持续时间大于建立簇阶段的持续时间, 从而节省无线传感器网络的资源开销。

2.1.1 簇头选择

在建立簇阶段中, 通过根据概率数学模型, 每个传感器节点都可能被选中成为簇头, 并且每个节点被赋予一个成为簇头的概率值 δ 。当 δ 大于阈值函数 $T(n)$, 该节点则被当前轮被选为簇头节点, 反之选为普通节点。概率模型如公式 (5) 所示。

$$T(n) = \begin{cases} \frac{k}{N - k[r \bmod (N/k)]}, & \text{if } n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

式中, N 是无线传感器网络全部传感器节点的数量, k 是每轮簇头节点的数量, r 代表轮次, G 是在最后 N/k 轮中未被选为簇头的集合。

当节点被选为簇头, 同时将自己被选为簇头的信息传递给余下普通节点, 剩余普通节点将根据邻近原则选择适合自己的簇头, 并通知自己选中的簇头。

2.1.2 簇结构建立

普通节点被选作簇头节点, 紧接着其余普通节点根据到簇头的通信消耗大小, 普通节点加入适合自己的簇头节点并成为其中一员。接收信号的强弱程度决定通信消耗的大小, 当其信号强度越大, 说明距离越短, 则能耗就越少; 反之, 能量消耗越多, 生命周期越短。

普通节点依据就近原则选择簇, 然后发送加入信息到簇头节点, 簇头节点根据普通节点发送来的请求信号建立 TMDA 时间调度机制, 可以避免消息间收发时造成干扰和冲突, 普通节点按照调度机制在一定时限内传输信息数据到簇头, 当簇内的普通节点都接收完属于各

自的 TMDA, 那么结束簇的建立过程。

115 2.1.3 数据传输

簇内普通节点与簇头节点, 以及簇头节点与 Sink 点之间进行数据传输均采用单跳传输方式。在网络节点没有全部死亡情况下, 当结束一个轮次之后紧接着进行下一个轮次, 无线传感器网络重新按照选举簇头、成簇、数据传输这个过程循环进行, 直至网络节点全部死亡。

120 2.2 LEACH 算法优化

LEACH 算法中簇头选择方式使得每个节点成为簇头的概率一样, 随机性很大, 没有考虑节点能量等因素, 因此容易造成网络中簇头节点分布不均匀, 网络中节点能量消耗不均衡, 在簇头选举过程中未能考虑节点能量和分布密集程度, 这也会导致部分节点能量消耗过快, 降低了网络的寿命。因此, 在簇头选举过程中增加能量和节点分布密度因子, 均衡网络簇头节点分布, 改进数据收集方式。

125 以上述研究为基础, 本文提出了一种基于节点剩余能量和稀疏度选择簇头的改进算法。首先, 通过对网络进行分区, 实现簇头节点相对均匀分布; 然后, 基于节点稀疏度和剩余能量两个因素改进簇头选举方式, 节点稀疏度通过计算区域内质心, 选择使得簇头分布于节点中心位置, 有利于提高网络的均衡性; 最后, 数据传输通过簇内单跳路由和簇间多跳路由的方式进行, 最终实现均衡网络能耗, 延长网络寿命的目的。算法流程图如下所示

130 2.2.1 网络区域划分

在网络中簇头节点数期望为 k , 则将网络分布区域均匀 k 个区域, 全部节点通过判断其坐标位置确定其所在区域, 并加入该区域成为其成员。分区完成之后, 计算出每个区域的平均能量以及区域内每个节点的密集程度, 计算密集程度首先计算各个单元的质心坐标, 如公式 (6) 所示:

$$135 \quad x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (6)$$

式中, (x_0, y_0) 为质心的坐标, n 为每个单元节点数, (x_i, y_i) 是每个节点的坐标。计算出质心位置之后, 计算每个单元的平均能量 E_a 。当划分完区域后如图 1 所示, 每个区域代表一个虚拟簇, 簇内分布若干传感器节点, 在每个簇内通过簇头选举方式选择簇头节点。

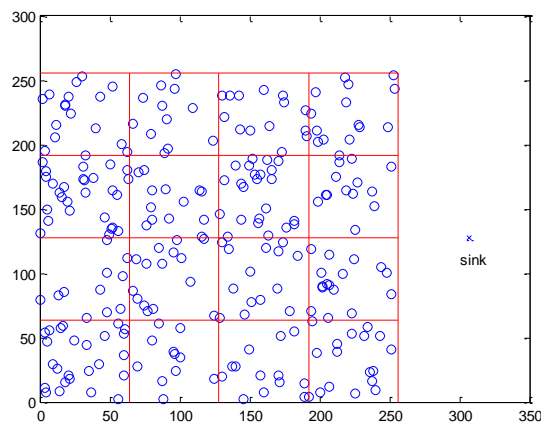


图 1 网络区域划分
Fig.1 Network zoning

2.2.2 簇头节点选择与簇的建立

首先是簇首的选择，在分区阶段已经求到质心以及平均能量，然后计算每个节点到质心的距离，通过节点的剩余能量和节点到质心的距离来计算各个节点当选簇头的概率值，该概率函数如公式（7）所示：

$$P_k(i) = (1-c) \frac{E(i)}{E_a(k)} + c \frac{d_k - d_k(i)}{d_k} \quad (7)$$

式中， c 为比例系数， $E(i)$ 为当前节点的剩余能量值， E_a 为每个单元的能量平均值， $d_k(i)$ 为当前单元的节点到质心的距离值， d_k 为当前单元的区域任意两点最大距离。当簇中所有节点计算成为簇头节点概率值之后，选择概率值最大的节点作为簇头节点。在选择出簇头节点之后，簇头向自己所在的簇内节点广播成为簇头的消息，簇内普通节点接收到此区域的簇头广播信息以后选择簇头，向簇头发送加入信息，同时簇头接收普通节点发过来的加入信息。

在分簇完成以后，簇头为其簇内的普通节点制定 TMDA 时间表，普通节点在自己所在时隙里将数据传递给簇头，那么簇的建立阶段完成，如图 2 所示：

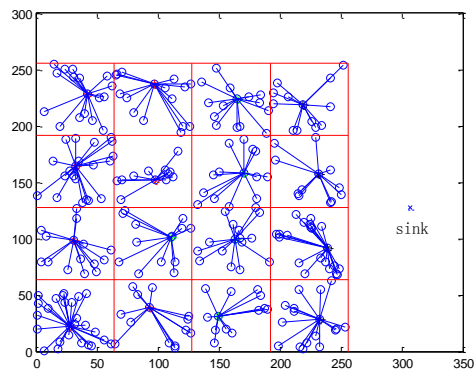


图 2 网络簇结构
Fig.2 cluster structure

2.2.3 多跳数据传输

在信息传输过程中，节点传输 k bit 数据到距离 d 时所消耗的能量如公式（2）所示，则可以通过采用多跳的传递模式来降低网络能量消耗，无线传感器网络多跳路由传输结构如图 3 所示：

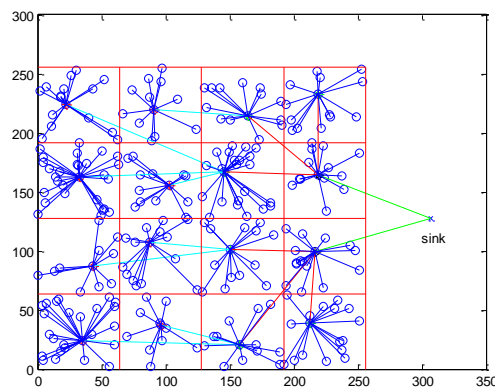


图 3 多跳路由传输
Fig. 3 Multihop routing

165 首先根据簇头节点到汇聚节点的距离将所有节点划分等级,接着簇头节点接收簇内普通节点的信息进行信息融合,然后三级区域的簇头将信息传递给二级区域距离近的簇头节点,然后二级簇头区域的簇头节点再将信息传递给第一级簇头区域的簇头节点,最后再传递给汇聚节点。

170 考虑到死亡节点的缘故,对路由的选择又进一步进行了改善。首先设计三级到二级的路由,判断三级的簇头的个数是否是 0,如果是,则不再设计三级到下一级的路由;如果不是,则判断二级的簇头数目是否为 0,如果不是,则选择最近的二级簇头节点,如果是,则判断一级的簇头数目是否为 0,如果是,则直接选择汇聚节点进行数据传输,否则选择最近的一级簇头节点。

175 其次设计二级到一级的路由,首先判断二级的簇头数目是否是 0,如果是,则不再设计二级到下一级的路由;如果不是,判断一级簇头的数目是否为 0,如果不是,则选择最近的一级簇头节点,如果是,则直接选择汇聚节点进行数据传输。

最后设计一级的路由,首先判断一级簇头的数目是否是 0,如果是,则不再设计一级到汇聚节点的路由,否则,直接选择汇聚节点进行数据传输。

3 实验仿真及结果分析

180 为了验证本文算法性能,通过对网络生命周期和网络能量消耗进行统计,与 LEACH 算法以及 LEACH-E 算法进行比较。仿真参数设置如下:在 $256m \times 256m$ 区域内,传感器节点随机地分布在监测区域内并且节点位置保持不变,网络中全部传感器节点的结构、功能以及初始能量都一样,节点的初始能量设置为 $0.5J$,基站位置固定在 $(128m, 300m)$ 。此外,簇首的数据压缩率是 0.5,传输的能量为 $50nJ/bit$ 。

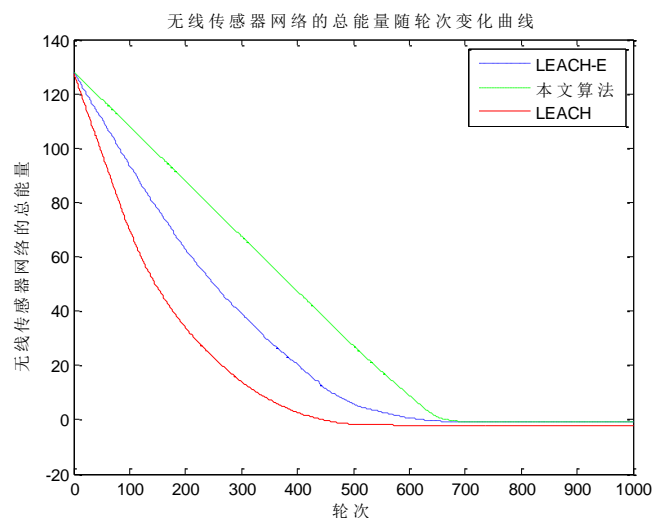


图 4 网络能量消耗曲线

Fig. 4 energy consumption curve

190 三种算法能量消耗曲线如图 4 所示,本文算法下的无线传感器网络能量消耗曲线的斜率要小于 LEACH 算法和 LEACH-E 算法下的网络能量消耗曲线的斜率,LEACH 算法能量消耗完毕较早,LEACH-E 算法和本文算法出现能量消耗殆尽的轮次相近。

195

表 1 存活节点数目
Tab. 1 number of nodes alive

节点 死亡	轮数		
	LEACH	LEACH-E	本文算法
1 个死亡节点	78	141	544
50%个死亡节点	309	440	657
90%个死亡节点	482	640	677
最后一个死亡节点	644	710	694

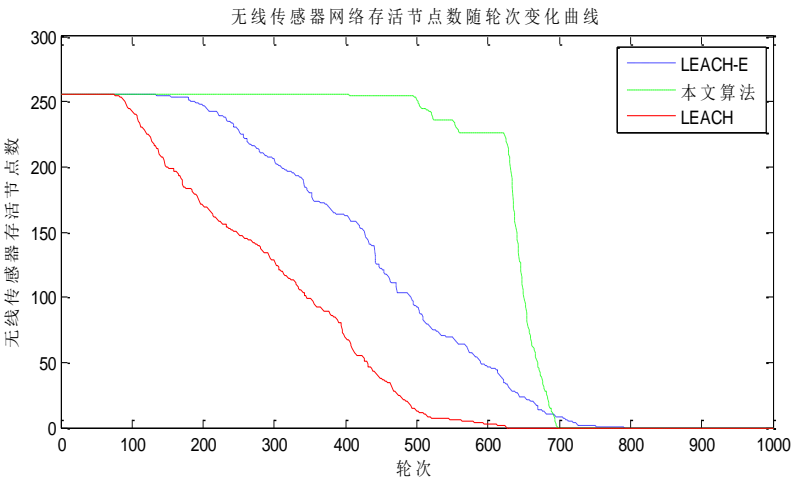


图 5 存活节点数目
Fig. 5 number of nodes alive

200

网络节点死亡时间如表 1 所示，LEACH 算法、LEACH-E 算法和本文算法分别在在 78 轮、第 141 轮和 544 轮时首节点死亡；在 309 轮、440 轮和 657 轮时网络中 50% 节点死亡，；在 482 轮、640 轮和 677 轮时网络中 90% 节点死亡；在 644 轮、710 轮和 694 轮时网络中全部节点死亡。三种算法中存活节点数目如图 5 所示，首先，LEACH 路由算法和 LEACH-E 路由算法在存活节点死亡阶段中，衰减斜率比较小，而本文算法在存活节点死亡阶段中，纵坐标为当前轮数下节点的存活数，存活节点出现急剧下降，这表明本文算法能量消耗小于 LEACH 算法与 LEACH-E 算法且网络能耗更加均衡，有效延长网络生存时间。

205

210 **4 结论**

上述仿真实验表明本文算法在簇头选举过程中通过增加能量和节点分布密度因子，均衡网络簇头节点分布，改进数据收集方式可以有效提高网络性能，通过对网络进行分区计算区域内质心，在簇头选举过程中增加节点稀疏度和剩余能量因子，在网络运行过程中有效的减小并均衡了节点能量消耗，有效延长网络生存时间。

215

[参考文献] (References)

[1] 任彦, 张思东, 张宏科. 无线传感器网络中覆盖控制理论与算法 [J]. 软件学报, 2006, 17(3): 422-433.
[2] Hu G, XIE D, Wu Y. Research and Improvement of LEACH for Wireless Sensor Networks [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 6: 042.
[3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]. Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE, 2000:8020.
[4] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[C]. IEEE Transactions on Wireless Communication. 2002:660--670.
[5] 张瑞华, 程合友, 贾智平. 基于能量效率的无线传感器网络分簇算法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2010 (6): 1663-1667

220

225

- 230 [6] 吴宣够. 基于压缩感知的大规模无线传感器网数据收集研究[D]. 中国科学技术大学, 2013.
- [7] 刘永超, 张月霞, 缪旻. 基于能量和距离的分区域选择簇首 WSNs 路由算法[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(1): 124-127.
- [8] 徐鹏. 一种 LEACH 协议的改进算法 LEACH_EH[J]. 微型机与应用, 2014, 33(11): 55-59
- [9] 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
- [10] 李雅卿, 李腊元. WSN 中 LEACH 路由协议的改进及仿真[J]. 计算机工程, 2009, 35(10): 104-106.