

# 一种能耗均衡的非均匀分簇 WSN 路由协议

刘泳志

湖南电气职业技术学院，湖南湘潭，411101；

**摘要：**无线传感器网络的节点一般都是分布在恶劣的环境中，且节点自身存在着携带电能有限、计算能力有限、通信能力有限等限制条件，为了更好的均衡无线传感器网络节点的能耗和延长整个网络的寿命，提出了一种 LEACH-EBNUC 路由协议。该协议考虑到节点剩余的能量、能量下降速度等要素来优化簇头选举环节，通过簇间多跳等方式转发数据到基站，实现均衡网络节点能耗、延长网络有效寿命的目的。仿真实验表明，此协议能够有效的均衡各个节点的能耗，延长网络中首个节点的死亡时间。

**关键字：**无线传感器网络；路由协议；LEACH

DOI:10.69979/3041-0673.25.05.022

## 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)由通过在环境恶劣或者人类难以到达的监测区域内随机撒播大量自身携带一定能量的传感器节点通过无线通信形成的自组织网络<sup>[1]</sup>。监测区域内的节点负责采集信息并通过自身的无线通信系统转发给区域外的基站。随着5G技术、工业互联网等技术的发展，WSN在工业领域、生态环境监测领域、农业生产领域、军事领域都有广泛的应用前景，但是由于传感器节点自身存在着携带能量有限、且部署环境一般都是在沙漠、海洋、森林等高危恶劣的环境中，无法二次补充能量，所以如何有效利用能量，延长网络的工作寿命，特别是首节点死亡的时间成了重要的问题<sup>[2]</sup>。

LEACH协议<sup>[3]</sup>作为最经典的基于分簇思想的无线传感器网络路由协议，其存在着能耗过高、局部节点能耗消耗过快、首个节点死亡时间较短等不足，为此很多人提出了一些改进性的协议。文献<sup>[4]</sup>提出了一种能量均衡的WSN非均匀路由协议，提出考虑距离基站距离因素来设置每个节点的竞争半径的方法，但是这种方法并没有考虑剩余能量等因素，可能造成剩余能量小的节点竞争半径过大的问题；文献<sup>[5]</sup>提出了一种基于蚁群算法的分簇方法，但是此算法没有考虑到邻居节点的个数，可能导致簇间通信能耗过高的问题。本文提出了一种能耗均衡的非均匀分簇多跳路由协议 LEACH-EBNUC(Energy balanced non-uniform clustering protocol)，该协议能够均衡各节点的能耗，延长整个监测网络的寿命。

## 1 相关模型

### 1.1 网络模型

本文设定的网络模型具有以下几个特征：

N个传感器节点随机撒布在正方形的监测区域；  
节点携带的初始能量一致，且不可二次补充；  
节点能控制无线的发送的功率；且具有数据转发功能；  
基站的能源供应和通信能力是不受限制的；

### 1.2 通信能耗模型

无线传感器网络中的节点通信的能耗占了整个能耗的相当大的一部分。文本采用的能耗模型如下：当发送数据的距离小于距离阈值，则采用自由空间信道模型；当发送数据的距离大于距离阈值，则采用多路径衰减模型。传感器发送kbit数据的能耗计算公式为：

$$E_{tx}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\xi_{fs}d^2, & d \leq d_0 \\ kE_{elec} + k\xi_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases}$$

其中， $\xi_{fs}$ 为自由空间模型下的放大系数，单位为  $J/(bit \cdot m^2)$ ， $\xi_{mp}$ 为多路径衰减模型下的放大系数，单位为  $J/(bit \cdot m^4)$ ， $d_0$ 为距离阈值， $E_{elec}$ 为传感器节点发送或者接收1bit数据的能耗。

## 2 协议设计

LEACH-EBNUC协议也采用和LEACH协议一样的轮询机制，每轮分为两个阶段：簇的形成阶段和数据传输阶段。在簇的形成阶段，各个节点根据自己剩余能量、能耗速度等因素竞选簇头，成为簇头的节点负责收集、融合、转发簇内各个普通节点采集到的数据；数据传输阶段包括簇内数据传输和簇间数据传输，簇内的普通节点将自身采集到的数据发送给各自的簇头，簇头收到普通节点的数据后，将数据融合后转发给下一跳的节点，一直到基站。下面分别对这两个阶段进行说明。

### 2.1 簇的形成阶段

首先需要确定每个节点的竞争半径  $R_i$ ，节点 i 把在其为中心半径为  $R_i$  圆范围内的节点认作其邻居节点， $R_i$  的计算公式如下：

$$R_i = \left( 1 - a \frac{d_{\max} - d_i}{d_{\max} - d_{\min}} - b \frac{E_{avg}}{E_i} \right) R_0$$

其中： $R_{\max}$  为预设的最大半径， $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  分别为监测区域内传感器节点到基站的最大值和最小值； $d_i$  为节点 i 到基站的距离； $E_{avg}$  为上次计算的半径内邻居节点的平均剩余能量， $E_i$  为节点 i 的剩余能量； $R_0$  为预设的最大竞争半径；且  $0 < a + b < 1$ 。由上式可以看出，如果一个节点距离基站的距离越大其半径越大，越靠近基站则半径越小，这是因为靠近基站的簇头节点需要完成更多的数据转发任务，在这方面需要花费更多的能量，所以需要一个大的半径；此外自身能量剩余更多的节点也具有更大的半径，这样有利于能耗的均衡，防止过早出现能量空洞。

在初始化阶段，基站首先广播一次消息，监测区域内的节点根据接收到的消息的信息强度计算出自身到基站的距离。每轮成簇开始的时候，每个节点以  $R_i$  为半径通知自己的邻居节点自身的剩余能量、节点能耗等消息；每个节点接收到邻居节点的消息后，建立一个表格用来存放这些数据。

待以上完成后，每个节点根据获取到的邻居节点的信息，计算出参与簇头竞选时间  $T_i$ ，如果一个节点在  $T_i$  时间未到之时已经接收到了邻居节点当选为簇头的消息，则放弃竞选，否则则在  $T_i$  时刻广播自己当选簇头的消息；竞选失败的节点向当选簇头的节点发送一条入簇消息，簇头收到消息后，将入簇成员的 ID 加入路由表并给其普通节点分配 TDMA 时隙。

其中  $T_i$  的计算公式如下：

$$T_i = \left( \alpha \cdot \frac{E_{avg}}{E_i} + \beta \cdot \frac{N_{avg}}{N_i} + \chi \cdot \frac{V_i}{V_{avg}} \right) \cdot T_1$$

其中  $\alpha > 0, \beta > 0, \chi > 0, 0 < \alpha + \beta + \chi < 1$ ；

$N_{avg}$  为平均邻居节点个数， $N_i$  为节点 i 的邻居节点个数， $V_i$  为节点 i 的能量下降速度， $V_{avg}$  为邻居节点平均能量下降速度； $T_1$  为固定的时间。其中能量下降速度的计算方法为： $V_i = (E_i^{r-1} - E_i^r) / E_i^{r-1}$ ； $E_i^r$  表示第 r 轮节点 i 的剩余能量。由上式可知，一个节点的剩余能量越多、邻居节点越多、能量下降速度越慢则有更大的机

会被选举为簇头，这样有利于均衡能耗。

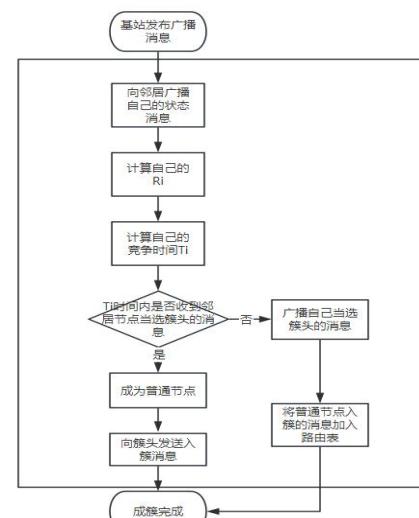


图 1 簇头选举流程图

## 2.2 数据传输阶段

普通节点采集数据后，将其发送给各自的簇头节点，每个簇头节点接收到普通节点采集的数据后，对数据进行融合处理，如果基站在簇头节点的半径  $R_i$  之内，则簇头直接转发数据到基站，避免数据中转的能量消耗；如果基站在簇头的半径  $R_i$  之外，则选择比自身更加靠近基站的簇头作为候选中继节点，防止因为与基站通信距离过大而导致簇头节点能耗过高。簇头根据公式在候选中继节点中选取权值最大的作为其下一跳节点，权值计算公式如下：

$$w = \rho \cdot (1/d_{ij}) + (1-\rho)E_j$$

其中， $\rho > 0, \rho < 1$ ； $d_{ij}$  为簇头节点 i 到候选中继节点 j 的直线距离， $E_j$  为候选簇头节点 j 的剩余能量。

从公式中可以看出，簇头节点会选择距离较近且剩余能量较大的那个候选中继节点作为自己数据下一跳的节点，当然这个权值公式计算的前提是候选中继节点 j 到基站的距离小于簇头节点 i 到基站的距离。

## 3 仿真实验及结果分析

通过在 MATLAB 软件上对提出的 LEACH-EBNUC 协议和 LEACH 进行仿真，对其首个节点死亡时间和整个网络寿命、网络节点剩余总能量进行对比和分析。

### 3.1 实验参数

使用 Matlab 做仿真实验，其中使用的仿真实验参数如下表所示。

表1 仿真实验参数

参数	参数值
网络覆盖区域	(0,0) ~ (200,200) m
基站坐标	(0,0)
节点数目	200
节点初始能量	0.5J
数据包大小	3000 bits
$E_{elec}$	50nJ/bit
$\xi_{\kappa}$	10pJ / (bit · m <sup>2</sup> )
$\xi_{mn}$	0.0013pJ / (bit · m <sup>4</sup> )
$E_D$	5nJ / (bit · signal)

### 3.2 实验结果与分析

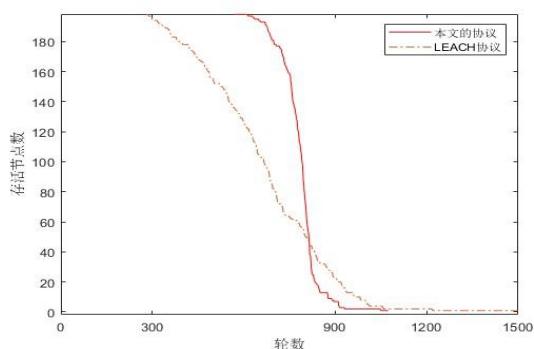


图2 簇头存活节点数对比图

从上图可以看出，本文提出的 LEACH-EBNUC 路由协议，其首个节点死亡时间为七百多轮，大于 LEACH 协议的不到三百轮，首个节点死亡的时间的延长意味着整个网络节点的能耗更加均匀，延迟了数据采集空洞出现的时间，有利于终端能够采集数量更多、更有效的数据，这是因为提出的协议为每个节点设置了单独的竞争半径  $R_i$ ，其考虑了节点到基站的距离和自身剩余的能量，在簇头的选举时候也考虑了能量下降速度、剩余能量、邻居节点数目等多个因素，使得整个网络的能耗更加均衡。

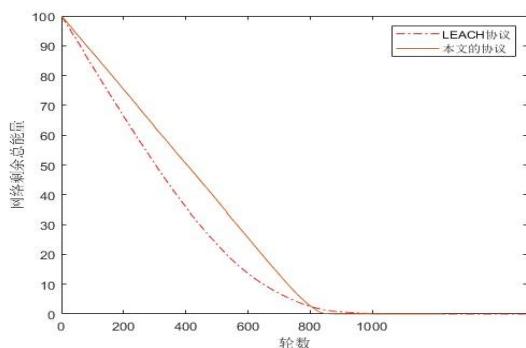


图3 网络剩余总能量对比图

从上图可以看出，整个网络节点的剩余总能量，LEACH-EBNUC 协议一直高于 LEACH 协议，其能耗下降曲线更加平缓，这意味着 LEACH-EBNUC 协议能够更好的减小整个网络中节点能耗。

### 4 结束语

提出了一种考虑了节点剩余能量等因素的非均匀分簇 LEACH-EBNUC 协议，设计了基于竞争时间的成簇方法以及寻找最优中继路径的方法，该协议以考虑了剩余能量、到基站的距离、节点自身的能量下降速度等多个因素选择簇头；簇头向基站转发数据采用簇间多跳的方式进行通信，降低了簇头转发数据的能耗。仿真结果表明，该协议能够有效地均衡网络中节点的能耗，避免过早出现监测空洞的情况，延长网络的寿命。

### 参考文献

- [1] Dongare M , Jondhale S , Agarkar B . Novel Energy-efficient Modified LEACH Routing Protocol for Wireless Sensor Networks[J]. International Journal of Sensors, Wireless Communication and Control, 2024(4):14.
- [2] Karimisetty S , Velamuri M , Poornima Himakanth B G . Cluster Head Selection in WSN Using EE-LEACH[C]//International Conference on Information and Management Engineering. Springer, Singapore, 2023. DOI:10.1007/978-981-99-2746-3\_3.
- [3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.
- [4] 廖福保, 张文梅. 基于最小生成树的非均匀分簇路由协议[J]. 传感技术学报, 2017, 30(09):1412-1416.
- [5] 崔远. 能量采集无线传感器网络路由优化方法研究[J]. 兰州职业技术学院学报, 2024, 40(06):55-58.

湖南省教育厅 2022 年科学项目“极端事件下的电网故障定位与配置优化研究”(22C0796)。

作者简介：刘泳志，男（1991.02-），汉族，湖南衡阳，讲师，硕士研究生学历，主要研究电力电子。