

# 基于能量均衡高效 WSN 的 LEACH 协议改进算法

黄利晓, 王晖, 袁利永, 曾令国

(浙江师范大学计算机科学与技术学院, 浙江 金华 321000)

**摘要:** 提出了一种能量负载均衡高效的路由协议 LEACH-improved 节能算法。该算法通过加入间距因子、剩余能量因子和节点密度因子来改进阈值计算式, 综合考虑节点剩余能量和地理位置选择簇首。此外, 在不同 WSN 的应用场景中, 根据剩余能量和地理位置对簇首的选择起到的作用大小不同, 引入加权因子。仿真实验结果表明, 改进后的算法有效地节省了网络的能量消耗, 网络生命周期得到延长。

**关键词:** 无线传感器网络; 分簇路由协议; 间距因子; 剩余能量因子; 节点密度因子

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

## Improved LEACH protocol algorithm for WSN based on energy balance and high efficiency

HUANG Li-xiao, WANG Hui, YUAN Li-yong, ZENG Ling-guo

(School of Computer Science and Technology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321000, China)

**Abstract:** The improved energy-saving algorithm for the energy efficient and balanced protocol (LEACH-improved) was proposed. In the algorithm, the residual energy factor, the distance factor and the node density factor was added to improve the threshold formula. Moreover, in the various application scenarios of WSN, based on the different effects on the selection of cluster heads caused by the residual energy and geographical location, the weighting factor was introduced. Results of simulation experiments show that the improved algorithm can effectively reduce the network energy consumption and prolong the network lifetime.

**Key words:** wireless sensor network, clustering routing protocol, distance factor, residual energy factor, node density factor

### 1 引言

WSN 由能感知外部环境的传感器节点以自组网的形式构成, 是一种分布式无线传感器网络。随着科技的进步和现代生活的需求, 由于 WSN 的远程控制、信息即时传播以及低功耗等众多优点, WSN 在军事医疗、生活娱乐和工业生产等各个社会领域发挥着越来越大的作用<sup>[1,2]</sup>。但是 WSN 优点众多的同时也有其弊端。正是因为传感器节点的无线性, 使能量不能源源不断地直接供给传感器节点, 只能用有限的电池供应节点的全部能耗, 这使能量成为 WSN 亟待解决的问题<sup>[3]</sup>。为了解决能量均衡高效这个问题, Heinzelman 等提出了最早的分

簇路由协议。此协议运用数据融合技术和能量高效利用的路由算法, 是经典的分簇路由协议代表<sup>[4,5]</sup>。此后, 很多研究学者对此基础上进行了诸多改进, 都从不同方面进行了优化。Mittal 等<sup>[6]</sup>提出了用替补簇首 (Sub-CH) 代替死亡簇首的方法。Gnanambigai 等<sup>[7]</sup>介绍了 LEACH 的后继协议。其中, LEACH-C 协议利用每个节点发送位置信息和剩余能量生成能耗更低、性能更优越的分簇; LEACH-F 使用固定的簇和循环选举出的簇首, 避免了反复成簇带来的能量消耗; MUTIHOP-LEACH 协议考虑间距因素, 在簇中节点与汇聚节点(sink)、簇与基站之间使用多跳方法的传输方案; LEACH-L 允许间隔基站较远的簇首使用多跳方式与基站进行通信。

收稿日期: 2017-09-27

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (No.LY16F020005, No.Q13F020026)

Foundation Item: The National Science Foundation of Zhejiang Province (No.LY16F020005, No.Q13F020026)

刘国繁等<sup>[8]</sup>针对 LEACH 协议簇首的随机性和单跳方法进行传输的问题，提出了新的 UCPO 路由协议，对网络性能进行优化。张诗悦等<sup>[9]</sup>加入了节点的能量和间距因素，提出了新的 EECS 协议。李成法等<sup>[10]</sup>通过建立大小不同的簇，提出了非均匀分簇 EEUC 路由协议。王磊等<sup>[11]</sup>对 EEUC 协议进行了改进，但仍然存在不足，没有考虑随着轮次的增加，各个因子对网络负载均衡的影响力不同。

本文提出一种改进协议 LEACH-improved，引入间距因子、剩余能量因子和节点密度因子，综合考虑了节点的位置因素、剩余能量以及附近节点的密度，以此来设定阈值计算式。并且，针对不同的网络节点部署场景，各个因素对网络负载均衡的影响力不同，在各个因子前面加上加权因子，可以自由调节各个因子的权重。随着数据传输轮次的增加，网络中节点能量分布情况也随时间发生变化，各个因子对阈值的影响程度也相对改变，同样需要对各个因子的加权值进行调整。本文用仿真实验进行验证，通过实验结果对比发现，加入各个影响因子并对加权因子进行调整的改进算法相对节省了能量消耗，减缓了节点的枯竭速度，从而网络的生命周期得以延长。

## 2 LEACH 协议概述

### 2.1 LEACH 协议的简介

LEACH 协议是一种经典分簇路由协议，它的特点是低功率消耗、聚类自适应和节点平等。由于网络内各个节点被选概率一样，因此将整个网络的能量消耗均衡地分配到每个节点，从而达到网络的能量消耗负载均衡，延长网络生命时间。LEACH 协议主要由  $T(n)$  构成。首先，每轮次每个节点都随机产生的一个数  $\mu (0 < \mu < 1)$ ；然后，将  $\mu$  与  $T(n)$  进行比较，如果  $\mu < T(n)$ ，则此节点成为簇首；反之，则落选。在 WSN 中一次新路由的建立加上数据的传输算一轮。由  $T(n)$  算法可以看出，被选为簇首是由这 2 方面因素进行权衡得出的：整个网络场景中所需要的簇首节点总数和节点当选过簇首的次数。阈值  $T(n)$  为<sup>[12]</sup>

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \left( r \bmod \left( \frac{1}{p} \right) \right)}, & n \in G \\ 0, & n \notin G \end{cases} \quad (1)$$

其中， $p$  表示在此网络规模中需要的簇首节点比

例， $r$  是进行的轮次， $G$  表示在此轮循环之前没有被选为簇首的节点。

### 2.2 网络模型

为了研究改进的路由算法对网络的影响，对网络模型作了如下假设。

- 1) 实验区域的形状为规则图形，传感器节点在监测区域中随机不均匀分散。
- 2) 所有传感器节点的能量相同、处理能力和通信能力相等，被选概率一样。
- 3) 传感器节点可以知悉自身剩余能量并可以对冗余数据进行融合。
- 4) 传感器节点随机被分散后不会移动，网络部署后不再进行人为干涉。
- 5) 无线发射功率可以自我调控，可自主选择发射功率。

### 2.3 能耗模型

本文实验中， $m$  bit 数据的传输过程与每一步的能量消耗如图 1 所示<sup>[13]</sup>。

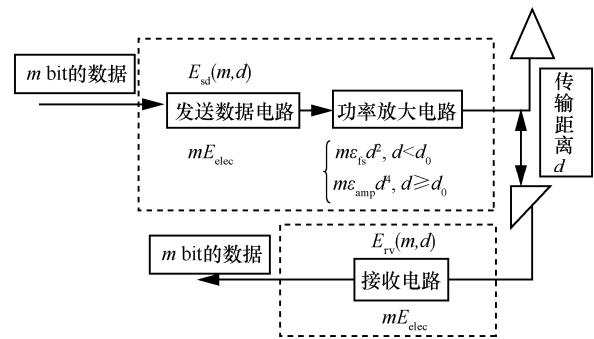


图 1 数据传输过程与能量消耗

当  $m$  bit 的数据进行传输时，节点的能量消耗主要由这 2 个部分构成：发送  $m$  bit 数据的能量损耗以及功率放大电路的能量损耗；同时，针对不同的发射距离  $d$ ，选择不同的发送功率为

$$E_{sd}(m, d) = E_{sd-elec}(m) + E_{sd-amp}(m, d) = \begin{cases} mE_{elec} + m\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ mE_{elec} + m\epsilon_{amp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

其中，当传输距离为  $d$  时，每传输 1 bit 的数据需要  $E_{elec}$  的能量消耗，每融合 1 bit 的数据需要  $E_{da}$  的能量消耗；而功率放大器的能量损耗就需要根据发送者与接收者间距  $d$  与  $d_0$  进行比较。其中，

$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{amp}}}$  是区别 2 种模式的边界。当传输距离  $d < d_0$ ，选择第一种能量消耗模式；当  $d \geq d_0$  采用

第 2 种能量消耗模式。接收节点接收  $m$  bit 数据能耗为  $E_{rv}(m, d) = mE_{elec}$ ，对  $m$  bit 进行数据融合的能耗为  $E_{ag}(m, d) = mE_{da}$ 。

### 3 非均匀分簇 LEACH-improved 改进算法

由于 LEACH 协议的随机选择簇首原则，可能导致地理条件不佳和能量剩余不足的节点被选为簇首节点。因此本文加入 3 个因子：间距因子、剩余能量因子和密度因子。综合权衡这几方面，对 LEACH 协议的  $T(n)$  计算式进行改进，减少条件不足的节点当选为簇首的概率，减缓节点的枯竭速度，均衡整个网络的能量负载，避免部分节点提前枯竭死亡导致的网络瘫痪。

#### 3.1 间距因子

无线传输的发射功率和接收功率之间的关系可以表示为

$$PR = \frac{PT}{r}n \quad (3)$$

其中， $PR$  是无线传输的接收功率， $PT$  是无线传输的发射功率， $r$  是传输距离， $n$  定义为传播因子，其大小由无线传播的即时环境所决定<sup>[14]</sup>。由式(3)可以得出，接收信号强弱和信号传输距离的成反比关系。因此，普通节点间距 sink 距离越远收到的信号越弱，反之，则越强。利用以上原理，本文可以得出节点之间大概距离。首先，sink 节点在网络监测区域内广播一个信号。然后，各个节点通过接收信号的强弱，得到本身与 sink 节点的大概间距  $d_i$ ，并将自己的  $d_i$  和剩余能量信息反馈给 sink 节点。这样处理有 2 个优势：1) 反馈的  $d_i$  与剩余能量消息一起进行传递，不用反复传递，避免产生数据冗余；2) 不论是在实验中或现实监控场景中，普通节点位置确定好以后，通常不再进行挪动。因此，一个实验场景中只需将  $d_i$  传送一次即可<sup>[15]</sup>。这样，sink 节点知道其他候选节点的剩余能量与间距，即各个节点是否成为簇首的决定因素。间距因子定义如下

$$\omega = \frac{d_i - d_{\max}}{d_{\max} - d_{\min}} \quad (4)$$

其中， $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  分别代表网络中节点到 sink 间距的最远和最近值。通常情况下， $d_{\max}$  取监测区域最远两点的距离。

#### 3.2 剩余能量因子

网络部署开始时，各个节点的自身储存能量相

同；但是随着网络信号传输的进行，部分节点被选为簇首，部分节点为普通节点。因为簇首节点消耗的能量较大，若频繁选取一定的节点为簇首节点，可能导致这些节点提前能量枯竭死亡，导致网络信号传输部分瘫痪。因此，在选取簇首时，也应考虑节点此时含有的能量。在此，定义各个节点的剩余能量因子  $E_{re} = \frac{E_c}{E_m}$ ，其中， $E_c$  为节点当前剩余能量，而  $E_m$

为节点的最初能量，引入节点的剩余能量因子要充分

#### 3.3 密度因子

节点的密度因子衡量的是节点附近的其他节点的数量多少。因为在 WSN 实际监测场景中，节点都是随机散布在监测区域，每个节点的附近节点数量不同。因此在簇首选取时，也要考虑该节点附近的数量多少。若附近节点数量很少甚至没有，该节点不适合为簇首。在这里所谓的附近节点，只有在该节点的最大可覆盖通信范围  $R$  内的其他节点，才能称为该节点的附近节点。即邻居节点的集合为

$$N_{nb} = \{j | d(i, j) \leq R, j \in N\} \quad i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (5)$$

节点的密度因子是在节点的最大可覆盖通信范围  $R$  内，节点的附近节点数量与标准的簇中节点数量的比。节点的最大可覆盖通信范围  $R$  计算式和节点  $n$  的相对密度计算式  $\rho$  分别为

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi N p}} \quad (6)$$

$$\rho = \frac{i.N_{nb}}{\left(\frac{1}{p}\right) - 1} \quad (7)$$

其中，定义  $\rho$  为密度因子， $i.N_{nb}$  为节点在其标准通信半径内的邻居节点的数量， $S$  为监测范围面积大小。 $N$  为监测范围内节点的数量， $p$  表示簇首的数量占有所有节点数量的百分比， $\left(\frac{1}{p}\right) - 1$  为标准簇中附近节点的数量。因此，充分考虑了候选簇首的剩余能量因子、间距因子和附近的节点数目，更新阈值

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p \left( r \bmod \left( \frac{1}{p} \right) \right)} (\lambda_1 E_{re} + \lambda_2 (1 - \omega) + \lambda_3 \rho), n \in G \\ 0, n \notin G \end{cases} \quad (8)$$

根据式(8)可知,当节点剩余能量  $E_c$  越小,该节点得到的阈值  $T(n)$  越小。如果该节点成为簇首就需要产生相比之前更小的随机数才能被选为簇首节点。例如,该节点产生的随机数  $\mu_1$ ; 网络传输初期时,该节点能量较多,该节点得到的阈值是  $T_1$ 。假设  $\mu_1 < T_1$ , 根据 LEACH 协议的选取簇首原则,那么此节点就可以当选簇首。因为簇首消耗能量较大,该节点的能量耗损相比其他普通节点的就大;因此,随着网络传输的轮次的增加,此时该节点的能量减少,阈值也随之降低成  $T_2$ ,且  $T_2 < \mu_1 < T_1$ ;则当该节点再次同样产生随机数  $\mu_1$  时,此时的随机数已经大于阈值  $T_2$ ,也就没有当选簇首的机会了,即降低了节点能量较少的节点当选簇首的概率,使网络中各个节点的能量得到更加均衡的耗损,降低节点死亡的速度,更加延长网络的生命周期;相反,  $E_c$  越大,当选为簇头的概率就增大。随机数的改变并没有影响原有随机数的均匀性和独立性,只是提高了剩余能量较多节点当选为簇头的概率。同理,当节点的地理位置不佳,即该节点距离 sink 较远时或节点附近邻居节点数量太少时,阈值都会进行降低;其与能量因子对阈值的影响一样,该节点成为簇首的概率也会降低;相反,则该节点被选为簇首的概率更大。显然,算法通过综合考虑候选节点的剩余能量、地理位置等参数来优化簇首的选择,从而有效避免了低能量与位置不佳的节点被选为簇首的可能性,进一步保证了网络内节点能量负载的均衡性。其中,  $\lambda$  为加权因子,其值随网络规模和应用场景的不同而不同,但是必须满足  $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ 。例如,在网络传输的初期各个节点的能量都较大,网络对于能量改变的敏感值小,此时可以降低能量因子的加权值;但是,网络传输的周期增大,节点的能量都较少,接近枯竭;此时能量对于网络的生命周期影响就更大,网络传输末期就可以增大能量因子的加权值;在节点密度分布不均匀的 WSN 场景中可以增大密度因子的加权值  $\lambda_3$ ,使簇首的选举相对更加侧重密度的因素,但是通过多次实验对比,一般情况下,密度因子的加权值  $\lambda_3$  不能超过  $\frac{1}{4}$ ;相反也可以降低密度因子的加权值,极端情况下,例如,在节点分布完全平均的情况下,可以将  $\lambda_3$  降到 0,但是在实际场景中这种情况是不现实的。

本文是通过 Matlab 软件进行仿真实验随机节

点的选取的,经过多次实验验证,在此实验场景中将密度因子的加权值设成  $\frac{1}{5}$  仿真效果较好。对于节点的剩余能量因子的加权值  $\lambda_1$ ,随着轮次的增加,剩余能量的越来越少,为了减少节点的死亡速度,均衡各个节点的能量,需要更加侧重考虑剩余能量的因素。因此,随着网络传输的进行可以逐步增加剩余能量因子的加权值。本文设计在节点数据传输初期,各个节点的能量都较大,此时剩余能量因子的加权因子取较小值  $\lambda_1 = \frac{2}{5}$ ,增大间距因子的加权值;当节点的能量少于 50% 时,剩余能量的加权因子取较大值  $\lambda_1 = \frac{3}{5}$ ,间距因子的加权值就要相对减少。因为节点一旦被分布好,通常不再移动。因此,理论上说,节点的间距因子的加权值不用改变。但是,由于前 2 个因素的权重的变化,间距因子的加权值也会相应改变。因为各个因子的加权值总满足和为 1。

### 3.4 簇首选举改进算法和流程

- 1) 初始阶段, sink 在监测区域内广播信号。
- 2) 监测区域其他节点根据收到信号的强弱,根据式(4),大概计算与 sink 节点的间距<sup>[17]</sup>,得出间距因子。
- 3) 发送间距因子的同时,附带发送节点的自身能量情况,即剩余能量因子。
- 4) 根据密度因子的定义,通过式(6)、式(7),计算出密度因子的值  $\rho$ 。
- 5) 节点根据自身的剩余能量、间距 sink 节点的间距和邻居节点的密度得到阈值  $T(n)$ 。
- 6) 节点随机生成一个不大于零的数,若随机数小于阈值  $T(n)$ ,则节点当选为簇首,大于  $T(n)$  为普通节点。
- 7) 普通节点根据接收到信号的强度即间距长远选择是否加入簇。
- 8) 初始阶段,剩余能量因子加权值取  $\frac{2}{5}$ ,间距因子的加权值取  $\frac{2}{5}$ ,节点密度因子的加权值取  $\frac{1}{5}$ 。
- 9) 若  $\frac{1}{2}$  的节点能量小于原来的  $\frac{1}{2}$ ,则将能量因素的加权因子增大为  $\frac{3}{5}$ ,间距因子的加权值取  $\frac{1}{5}$ 。
- 10) 调整完加权因子的值后,其他步骤不变,

循环进行数据的传输。

LEACH-improved 改进算法流程如图 2 所示。

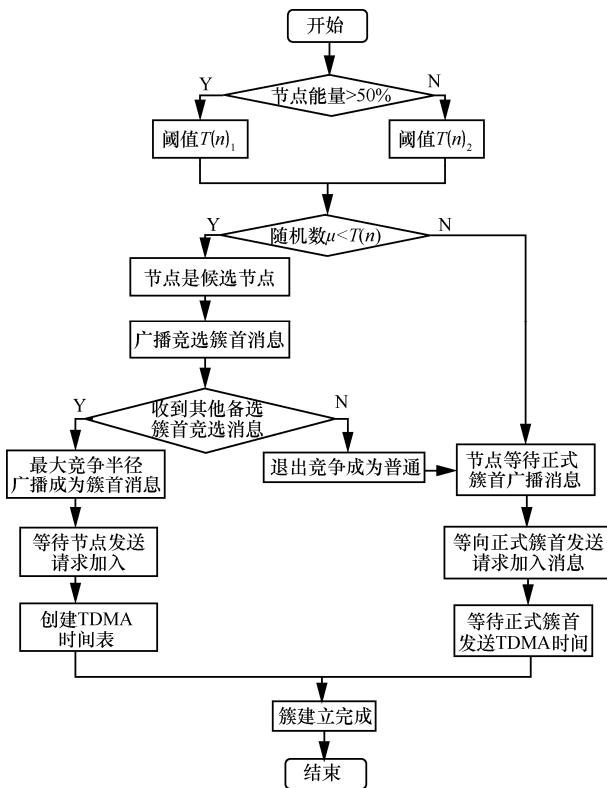


图 2 LEACH-improved 改进算法流程

## 4 仿真实验及性能分析

### 4.1 仿真参数设置

用 Matlab 软件仿真进行实验, 通过进行 1 500 轮的实验, 从存活节点数量和能量消耗两方面, 将 LEACH-improved 路由协议、经典的 LEACH 协议和改进的 EEUC 协议的实验结果进行对比。假设在  $100 \times 100$  的规则监测范围内不均匀地分散了 100 个节点, 其中, sink 节点坐标位于 (50,50)。其他仿真参数设置为:  $E_0 = 0.5 \text{ J}$ ,  $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ ,  $E_{da} = 5 \text{ nJ/bit}$ ,  $\epsilon_{fs} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$ ,  $\epsilon_{amp} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^2$  数据分组的大小为 500 bit, 此处取  $\lambda = \frac{1}{3}$ 。

### 4.2 实验结果及分析

图 3 和图 4 显示了, 随着仿真时间的增加, 仿真实验分别采用 LEACH 协议、改进的 EEUC 协议与 LEACH-improved 协议, 在 3 种不同情况下的网络中节点存活数量变化情况和网络能耗方面的仿真结果比较。显然, 随着轮次从 0 增加到 1 500 轮,

LEACH-improved 协议网络消耗的能量较少, 节点存活个数也较多。1) 因为簇首的选择充分考虑了节点的剩余能量, 增加剩余能量多的节点被选为簇首的概率, 有效得均衡了网络的负载均衡; 2) 充分考虑了候选节点的地理位置, 增加间距 sink 和可通信范围内其他节点间距近的候选节点选为簇首的概率, 减少了普通节点到簇首的网络消耗网络和簇首到 sink 的网络消耗; 3) 因为充分考虑候选节点可通信范围内附近节点的数量, 增加附近节点数量密度大的候选节点当选的概率。因此, 改进的路由协议减少了簇中和簇间网络能耗, 均衡了全局节点的能耗, 较其他 2 种协议能耗较低, 节点死亡速度减慢, 因而使整个 WSN 的寿命得到了更好的延长。

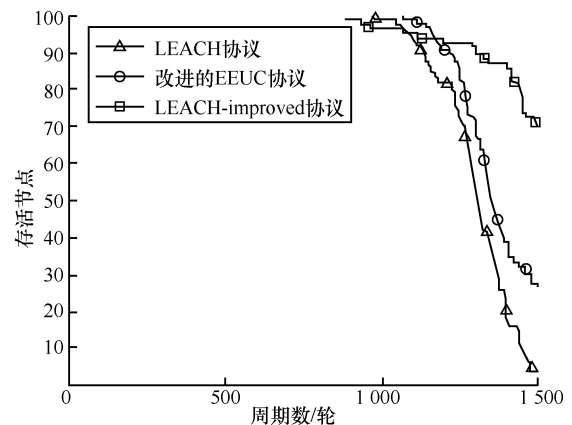


图 3 未枯竭节点的个数变化

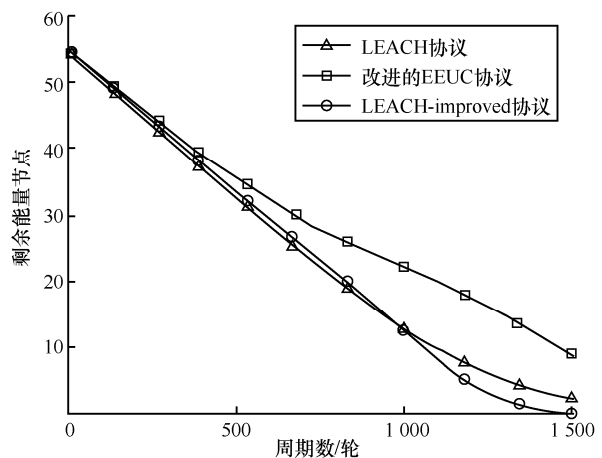


图 4 节点剩余能量的变化

## 5 结束语

本文基于 LEACH 路由协议, 对于分簇路由协议提出了一种新的算法——LEACH-improved 路由协议。其主要思想是对循环选取簇首时的阈

值进行改进。改进后的阈值综合考虑了节点的剩余能量、距离 sink 的间距和邻居节点的个数, 并且在每个影响因子前加上加权因子。在不同的实验场景中和实验传输过程中, 可以根据影响因素的大小调节各个因子的权重。新的路由协议使簇首选举更加合理, 簇首分布更加均匀, 均衡了簇间能耗, 减少了网络能量消耗, 延长网络生命周期。通过计算机仿真实验验证, 有效地降低了低能量、位置不佳和附近节点数量稀疏的节点被选为簇首的可能性, 达到进一步保证了网络内节点能量负载的均衡性。尽量避免个别节点能量耗尽, 尽量延长网络生命周期。

### 参考文献:

- [1] KHAN I, BELQASMI F, GLITHO R, et al. Wireless sensor network virtualization: a survey[C]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(4): 2738-2786.
- [2] CHENG C, CHI K T, FRANCIS C M L. A delay-aware data collection network structure for wireless sensor networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(3): 699-710.
- [3] KUMAR N, KAUR J. Improved LEACH protocol for wireless sensor networks[C]. The 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2011: 1.
- [4] HEINZELMAN W. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [5] LIN Z X, WEI L, YU H B, et al. Survey of transmission scheduling methods in wireless sensor networks[J]. Journal on Communications, 2012, 33(5): 143-157.
- [6] NITIN M, DAVINDER P S, AMANJEET P, HI. Improved LEACH communication protocol for WSN[C]. National Conference on Computational Instrumentation, 2010: 153-156.
- [7] GNANAMBIGAL J, RENGARAJAN D N, ANBUKARASI K. A survey of leach and its descendant protocols[J]. International Journal of Communication and Computer Technologies, 2012, 3(2): 15-21.
- [8] 刘国繁, 许多. 基于非均匀分簇与路径优化的 WSN 路由协议[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(8): 1492-1497.  
LIU G F, XU D. WSN routing protocol based on non-uniform clustering and path optimization[J]. Computer Engineering and Science, 2015, 37(8): 1492-1497.
- [9] 张诗悦, 吴建德, 王晓东, 等. 一种能耗均衡的 WSN 分簇路由算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(8): 6-9.  
ZHANG S Y, WU J D, WANG X D, et al. WSN clustering routing algorithm based on balanced energy consumption[J]. Computer Engineering, 2014, 40(8): 6-9.
- [10] CHEN G H, LI C F, YE M, et al. An unequal cluster-based routing protocol in wireless sensor networks[J]. Wireless Networks, 2009, 15(2): 193-207.
- [11] 王磊, 谢弯弯, 刘志中, 等. 非均匀分簇路由协议改进算法[J]. 计算机科学, 2017, 44(2): 152-156.  
WANG L, XIE W W, LIU Z Z, et al. Improved algorithm of non-uniform clustering routing protocol[J]. Computer Science, 2017, 44(2): 152-156.
- [12] 唐甲东, 蔡明. 无线传感器网络路由协议研究-LEACH 路由协议的改进[J]. 计算机工程, 2013, 35(7): 15-20.  
TANG J D, CAI M. Research on the routing protocol of wireless sensor network-improved LEACH routing protocol[J]. Computer Engineering, 2013, 35(7): 15-20.
- [13] JANG S, KIM H Y, KIM N U, et al. Energy-efficient clustering scheme with concentric hierarchy[C]. IEEE International RF and Microwave Conference (RFM), 2011: 79-82.
- [14] 方震, 赵湛, 郭鹏, 等. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2524-2530.  
FANG Z, ZHAO Z, GUO P, et al. Ranging analysis based on RSSI[J]. Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(11): 2524-2530.
- [15] 廖明华, 张华, 王东. 基于 LEACH 协议的簇头选举改进算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(7): 112-114.  
LIAO M H, ZHANG H, WANG D. Improved algorithm of cluster head election based on LEACH protocol[J]. Computer Engineering, 2011, 37(7): 112-114.
- [16] WEI C J, YANG J J, ZHANG Z M. A distributed energy-efficient clustering routing protocol for wireless sensor networks[J]. Chinese Journal of sensors and Actuators, 2013, 26(7): 1014-1018.
- [17] WANG W. Design of routing protocol in long distance band type wireless sensor network[J]. Computer Engineering, 2014, 40(3): 132-136.

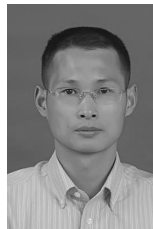
### 作者简介:



黄利晓 (1991-), 女, 河南鹤壁人, 浙江师范大学硕士生, 主要研究方向为物联网数据采集与融合、无线传感器网络等。



王晖 (1975-), 男, 河北遵化人, 博士, 浙江师范大学讲师, 主要研究方向为物联网数据收集与决策分析, 压缩感知与无源感知等。



袁利永 (1978-), 男, 浙江嵊州人, 浙江师范大学讲师, 主要研究方向为无线传感器网络、能量捕获传感器网络、Mesh 路由等。

曾令国 (1979-), 男, 四川安岳人, 浙江师范大学讲师, 主要研究方向为无线传感器网络、网络可靠性等。