

# 一种针对无线传感器网络 LEACH 协议的改进算法<sup>①</sup>

孙建伟<sup>2</sup>, 王绍辰<sup>1,2</sup>, 贾军营<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院大学, 北京 100049)

<sup>2</sup>(中国科学院沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

**摘 要:** 随着无线传感器网络技术的不断发展和完善, 越来越多的领域需要用到这项技术. 但是无线传感器网络中节点携带电量有限, 容易造成网络的寿命短的问题. 这也制约了无线传感器网络技术的广泛应用. LEACH 算法是现在无线传感器网络中广泛使用的协议. 它有效的改善了节点能耗问题, 但该算法簇头是自适应随机生成、未考虑当前节点剩余能量以及簇头分布均衡性等问题. 因此会使网络中能量损耗不均衡, 导致网络过早死亡. 本文采用理论分析和仿真验证相结合的方法. 针对 LEACH 协议成簇过程引入最佳簇头数, 双簇头传输数据等方法来均衡网络中节点的能耗延长网络寿命. 实验结果表明, 改进后的方法有效地减少了网络能量消耗、保证了网络负载的平衡、延长了网络的寿命.

**关键词:** LEACH; 粒子群算法; 均衡能量; 网络寿命

## Improved Algorithm of LEACH Protocol for Wireless Sensor Network

SUN Jian-Wei<sup>2</sup>, WANG Shao-Chen<sup>1,2</sup>, JIA Jun-Ying<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>2</sup>(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** With the continuous development of wireless sensor network technology, more and more fields need to use it. But node carrying capacity is limited in the network, causing the problem of short lifetime. It also restrict the widely used of this technology. LEACH algorithm is now widely used in wireless sensor network protocol. It improved the node energy consumption effectively, but the cluster in the algorithm is adaptive random, lack of considering the current node's energy and cluster distribution balance. So it may make the network energy loss uneven, lead to network premature death. This article combine theoretical analysis and simulation verification. For LEACH agreement clusters process, introduced into optimal cluster, dual cluster head to transmit data and other methods to prolong the network lifetime, balance energy consumption of nodes in the network. The experimental results show that, the improved method effectively reduces the network energy consumption, ensure the network load balance, and prolong the life span of the network.

**Key words:** LEACH; Particle Swarm Optimization; the energy balance; network lifetime

## 1 引言

无线传感器网络(WSN)是一种由大量微型传感器节点组成的多跳自组织网络. 作为当前的热点研究领域, 随着该项技术的不断发展, 它在智能生活、环境监测、军事应用、农业监测等许多领域都有着重要的应用<sup>[1]</sup>.

近年来, 随着研究的深入, 相关学者提出了很多种无线传感器网络的由协议, 通常按照网络拓扑结构

不同, 可将其分为平面型路由协议和层次型路由协议<sup>[2]</sup>. 平面型路由协议由于建立和维护路由的开销较大, 尤其是基站附近的节点参与数据的传输频率较大, 容易导致这部分节点的能量会很快耗尽, 并且不能很好的适应网络快速的动态变化, 因而并不适合在大规模网络中采用. 层次型路由协议在满足传感器网络的可扩展性方面优势明显, 适合应用于大规模的无线传感器网络, 在一定程度上解决了上述问题. LEACH 协

① 收稿时间:2015-04-07;收到修改稿时间:2015-05-15

议是由 MIT 的 Heinzelman 提出的一种经典的层次型路由协议, 不仅是一种低功耗、自组织的 WSN 路由协议, 而且是第一个运用数据融合的自适应分层路由协议<sup>[3]</sup>. 在一定程度上延长了网络寿命. 由于 LEACH 协议在降低能耗延长网络寿命方面的效果较好, 因而其后的许多层次型路由协议都借鉴了 LEACH 协议的思想, 在其基础上发展而来.

本文基于 LEACH 协议提出了一种基于粒子群算法选择簇头, 同时在数据传输阶段采用数据融合和单跳与多跳结合的改进算法, 从而达到延长网络生命周期的目的.

## 2 LEACH 协议

### 2.1 LEACH 协议概述

LEACH 协议, 全称是“低功耗自适应集簇分层型协议”(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy), 是第一个在无线传感器网络中提出的层次式路由协议<sup>[4]</sup>. 其后的大部分层次式路由协议都是在它的基础上发展而来的.

LEACH 定义了“轮”(round)的概念, 一轮由建立簇和数据传输两个阶段组成. 通常数据传输阶段一持续时间相对较长, 这种安排可以避免经常建簇造成额外的能量消耗. 在簇的建立阶段, 簇头是通过下面的机制产生的. 传感器节点随机生成一个 0 到 1 之间的数, 如果该数小于阈值  $T(n)$ , 则选举该节点为簇头.  $T(n)$  的计算方法如下:

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

上式中  $p$  是簇头百分比,  $r$  表示当前循环的轮数,  $G$  是最近  $1/p$  轮中未当选过簇头的节点集合. 由此可知, 对于已当选过簇头的节点在接下来的  $1/p$  轮中将不再参与簇头选举;  $T(n)$  的值越大, 该节点当选簇头的概率越大, 随着轮数的增加, 未当选过簇头的节点当选簇头的概率越来越大, 当只剩最后一个节点时, 该节点当选概率达到 1. 从第 1 轮开始, 每隔  $1/p$  轮所有节点又重新具有相同的成为簇头的概率, 如此循环从而在概率意义上保证了簇头竞争的公平性. 这种对簇头进行轮换的方式将远距离传输所需的能耗较为均匀的分散到每个节点上, 防止了簇头节点因为负载过重而过早

死亡进而造成网络寿命降低.

### 2.2 LEACH 算法的不足

LEACH 算法通过轮次选举随机产生不同的簇头节点, 使得每一个节点都有成为簇头的可能, 有效的平衡了网络构建簇时消耗的能量; 通过簇头节点对簇内节点信息的融合, 减少了冗余信息的传递<sup>[5]</sup>. 这些处理方式在一定程度上使得网络的生存时间在得到了延长, 但还存在以下几个方面的不足:

(1) 簇头是随机选举的, 不能保证选出的簇头的个数, 可能会出现没有节点或是有过节点当选为簇头.

(2) 某个区域产生过多簇头节点或者没有簇头节点, 这些情况都会浪费网络能量影响网络寿.

(3) 各节点被选为簇头的概率严格相同, 会造成不适合做簇头的节点当选, 自身能量较低, 可能在工作中途簇头能量耗尽而失效, 导致网络信息的中断, 影响网络的整体性.

## 3 LEACH 算法的改进办法

为解决上述 LEACH 协议存在的问题, 更好地延长网络寿命提高数据传输质量, 许多相关学者都对 LEACH 算法提出了相应的改进, 如: LEACH-F 使用了时隙表安排节点当选簇头, 节省了簇头的选举产生的能耗; LEACH-C 则通过基站计算得出适合做簇头的节点, 这样也节省了簇头选举的能耗, 但增加了基站的工作负担. 通过这些实例所反映的问题, 本文在 LEACH 算法的基础上引入粒子群算法和双簇头机制, 提出一种新的层次路由协议 LEACH-PDQ, 主要在簇头选举的方法以及簇头数目方面对 LEACH 进行优化.

### 3.1 粒子群算法

粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是 1995 年 Kennedy 和 Eberhart 共同提出的一种群智能优化算法<sup>[6]</sup>. 粒子群算法具有能较快发现最优路径、节省的能量的优点, 非常适合在无线传感器网络中使用.

粒子群算法是一种基于群体协作的全局优化算法, 空间内的任意解均可以看作一个具有位置和速度属性的粒<sup>[7]</sup>. 每个粒子利用一个全局优化函数对当前的位置进行评价, 评价结果称为适应值, 通过分别跟踪自身和群体在飞行历史中所经历的最佳位置来调整速度和位置, 不断地进行迭代以逼近最优解. 粒子的速度和位置更新公式为:

$$V_{k+1} = c_0 v_k + c_1 (p_{bestk} - x_k) + c_2 (g_{bestk} - x_k)$$

$$X_{k+1} = x_k + v_{k+1}$$

其中  $v_k$  和  $x_k$  分别表示  $k$  时刻粒子的速度和位置,  $p_{bestk}$  和  $g_{bestk}$  分别表示截止到  $k$  时刻该粒子所找到的最优解位置和整个群体所找到的最优解位置<sup>[8]</sup>.  $C_0$  表示惯性权重, 一般取 (0,1) 之间的随机数, 它的值较大时有利于跳出局部极值, 较小时则有利于算法收敛;  $C_1$ 、 $C_2$  表示加速常数, 取值较低时会允许粒子在目标区域以外徘徊, 取值较高时则会造成粒子突然冲向或者超过目标区域, 一般取 (0,2) 之间的随机数.

### 3.2 最佳簇头求出公式

簇头节点的数目过多时, 整个网络能量消耗增多, 网络的生命周期变短; 簇头节点数目过少时, 网络中的簇头节点负担过重, 能量消耗过快造成簇头节点过早死亡, 导致网络中节点的能耗不均衡<sup>[9]</sup>. 因此, 网络中存在最佳簇头数目使得在保证通信质量的前提下每一轮网络的能量消耗最小.

假设在一个  $A=N*N$  这样大的一个区域中, 有  $n$  个节点不均匀的分布于该区域中. 能量高的节点的数量占有节点数目的比值为  $m$ , 并且高能量节点所携带的能量是正常能量节点所携带的能量的  $\alpha$  倍. 如果 Sink 节点是坐落于该区域的中心位置, 并且所有的簇的节点到这个 Sink 节点的距离都是  $d_0$  该过程步骤如下:

Step1: 计算网络在一轮簇的生成过程中选举簇头消耗的能量:

$$E_{CH} = \left( \frac{n}{k} - 1 \right) L * E_{elec} + \frac{n}{k} L * E_{DA} + L * E_{elec} + L * \epsilon_{fs} d_{toBS}^2$$

Step2: 计算网络在一轮簇的生成过程中成员节点生成过程消耗的能量:

$$E_{nonCH} = L * E_{elec} + L * \epsilon_{fs} * d_{toCH}^2$$

step3: 由于节点在网络中分布不均匀, 求出节点和它的主簇头节点的平均距离  $d_{toCH}$ :

$$d_{toCH}^2 = \int_{x=0}^{x_{max}} \int_{y=0}^{y_{max}} (x^2 + y^2) \rho(x, y) dx dy = \frac{M^2}{2\pi K}$$

Step4: 计算在一轮簇的生成过程中一个簇消耗的能量:

$$E_{cluster} \approx E_{CH} + \frac{n}{k} E_{nonCH}$$

Step5: 计算整个网络在一轮簇的生成过程中的消耗的总能量:

$$E_{tot} = L(2nE_{elec} + nE_{DA} + \epsilon_{fs}(kd_{toBS}^2 + nd_{toCH}^2))$$

Step6: 计算网络能构建的最佳簇的数量:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \frac{M}{d_{toBS}}} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \frac{2}{0.765}}$$

Step7: 计算簇头节点到 Sink 节点的平均距离:

$$d_{toBS} = \int_A \sqrt{x^2 + y^2} \frac{1}{A} dA = 0.765 \frac{M}{2}$$

Step8: 当大量的节点到 Sink 节点的距离大于  $d_0$  时, 求出簇的最佳个数为:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{n}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \frac{M}{d_{toBS}^2}}$$

### 3.3 利用优化粒子群算法选取簇首

#### 3.3.1 适应度函数的改进

粒子群算法中的适应度函数是评价最优解的关键因子, 我们将用它来评价所选簇头的质量<sup>[10]</sup>. 因此, 在定义适应函数时需考虑以下几个因素:

①簇头能量评价因子  $f_1$ , 用来表示候选节点当前的剩余能量.

②簇头距离评价因子  $f_2$ , 用来表示当选簇头节点与簇内成员节点的平均距离.

③剩余能量的均衡程度评价因子  $f_3$ , 用来表示对于均衡网络的能耗的影响.

④基站距离评价因子  $f_4$ , 等于簇头节点到基站的距离除以基站至网络中心的距离.

综上所述, 定义适应度函数为:

$$\text{cost} = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \alpha_3 f_3 + \alpha_4 f_4 \quad (1)$$

$$f_1 = \frac{E_0}{E_i} \quad (2)$$

$$f_2 = \sum_{i \in C(i)} \frac{d(n_j, CH_i)}{|C(i)|} \quad (3)$$

$$f_3 = \max \left( \sum_{k \in C_i, d_k < \bar{d}_j} \frac{E_k}{E_j} d_{k,f} + \sum_{k \in C_j, d_k > \bar{d}_f} \frac{\bar{E}_j}{E_k} d_{k,f} \right) \quad (4)$$

$$f_4 = \max_{k=1,2,\dots,k} \frac{d(BS, CH_i)}{d(BS, NC)} \quad (5)$$

#### 3.3.2 簇头的选举

按照优化过的适应函数, 在符合本轮簇头条件的节点集中随机选取  $N$  个节点作为初始粒子, 计算各个粒子的适应度函数  $\text{cost}(x_i)$ , 通过迭代的方式搜索网络区域内最优簇头的位置, 直到达到终止条件, 得到最优解作为本轮的主簇头, 次优解作为本轮的副簇头,

具体步骤如图 1 所示:

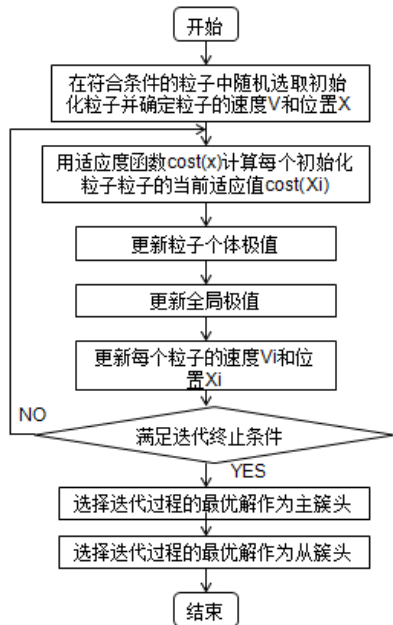


图 1 簇头选举的流程图

其中, 更新粒子个体极值: 对每个粒子的适应值  $\text{cost}(x_i)$  进行评价, 即将第  $i$  个粒子的当前适应值  $\text{cost}(x_i)$  与该粒子的个体极值  $p_{\text{best}k}$  进行比较, 若  $\text{cost}(x_i)$  优于  $p_{\text{best}k}$ , 则更新  $p_{\text{best}k}$ , 否则  $p_{\text{best}k}$  不变.

更新全局极值: 对每个粒子, 将其适应值  $\text{cost}(x_i)$  和全局最优值  $g_{\text{best}k}$  比较, 若  $\text{cost}(x_i)$  优于  $g_{\text{best}k}$  则将其作为全局极值  $g_{\text{best}k}$ , 否则保持不变.

3.4 簇的形成

步骤 1) 各个被选为主簇头的节点向全网广播自己成为主簇头的信息.

步骤 2) 所有未被选为簇头的节点接收来自所有主簇头信息.

步骤 3) 所有未被选为簇头节点的节点分别计算自己到所有主簇头节点的距离.

步骤 4) 所有节点选择离自己位置最近的主簇头节点作为自己的主簇头, 并向该主簇头发送加入请求.

步骤 5) 所有主簇头接收完所有请求之后向本簇的所有成员节点发送网络形成信号, 并为每个节点分配 TDMA. 所有非簇头节点在各自的时段向主簇头发送信息, 发送时间之外节点可关闭收发设备, 进入休眠状态, 减少簇内传输的能量消耗.

步骤 6) 每个簇的主簇头节点把收集好的簇成员节点信息整合后计算自身到基站的距离  $d$ , 若  $d < d_0$ , 采用

单跳方式直接发给基站; 若  $d > d_0$ , 则将数据发给最近的副簇头, 副簇头间利用粒子群算法搜索最优路径通过多跳的方式将数据传给基站. 当同一簇中两个簇头中任何一个簇头由于异常原因失效时, 由另一簇头同时承担一个簇内两个簇头的功能, 直到两个簇头都低于限定的阈值后, 再进行簇头的重选, 这样数据传输阶段持续的时间远远比簇形成阶段长, 保证了路由的健壮性.

步骤 7) 整个网络持续一段时间后, 重新开始以上操作, 重新分簇, 传输数据.

4 结果分析

本文采用 Matlab 仿真工具建立了网络仿真模型, 对改进后的 LEACH-PDQ 算法与 Leach 算法及两种改进算法分别进行仿真测试并比较它们的性能. 对算法的评价通过网络运行的轮数与网络中节点的存活个数的关系进行分析. 算法的仿真是在  $500\text{ m} \times 500\text{ m}$  的区域内, 随机布置 500 个节点, 其中基站的位置分别置于  $(0, 0)$ 、 $(0, 100)$ 、 $(0, 500)$ , 通过不同的情况使实验结果更加准确. 仿真参数如表 1 所示:

表 1 仿真参数表

| 参数               | 值                       | 参数              | 值              |
|------------------|-------------------------|-----------------|----------------|
| 网络半径 $R_n$       | 500m                    | $\epsilon_{m0}$ | 0.0013         |
| 基站位置 BS          | (500,500)               | EDA             | 5nJ/bit/signal |
| 节点格式 N           | 2000                    | 数据包大小 packet    | 4000bit        |
| 初始能量 $E_{in}$    | 2J                      | 层数 n            | 3              |
| 能量分级 $N_{level}$ | 200                     | $R_0$           | 75m            |
| 迭代次数 iter        | 300次                    | $T_{adv}$       | 0.01s          |
| $E_{elec}$       | 50nJ/bit                | 每轮周期 T          | 1s             |
| $\epsilon_s$     | 10pJ/bit/m <sup>2</sup> |                 |                |

表 2 仿真结果对比

| Sink 的位置 | 算法        | 节点平均能耗 | 存活节点数 | FND |
|----------|-----------|--------|-------|-----|
| (0,0)    | LEACH     | 0.4663 | 453   | 213 |
|          | LEACH-PDQ | 0.305  | 486   | 274 |
|          | LEACH-F   | 0.390  | 461   | 230 |
|          | LEACH-C   | 0.372  | 469   | 243 |
| (0,100)  | LEACH     | 0.335  | 475   | 266 |
|          | LEACH-PDQ | 0.287  | 498   | 286 |
|          | LEACH-F   | 0.327  | 449   | 253 |
|          | LEACH-C   | 0.343  | 462   | 266 |
| (0,500)  | LEACH     | 0.393  | 432   | 216 |
|          | LEACH-PDQ | 0.317  | 458   | 263 |
|          | LEACH-F   | 0.372  | 443   | 234 |
|          | LEACH-C   | 0.388  | 422   | 208 |

实验对比结果表 2 所示,通过比较分析可以看出改进后的算法每一轮的节点平均能耗都比 LEACH 算法少,节点存活数比 LEACH 算法多,并且 FND 的轮数也比多于 LEACH,这说明本文算法相比 LEACH 算法在运行过程中节约能量的损耗,显著提高了网络的寿命,且该算法具有一定的鲁棒性。

## 5 结语

本文针对 LEACH 协议的不足,在簇头的选举过程中引入最佳簇头数概念并采用双簇头机制,结合粒子群算法充分考虑各种因素选出了更适合网络的簇头。并且在数据传输过程中采用了多跳和单跳结合的传输方式,多角度的降低网络的能耗。同时,由于粒子群算法能够快速寻找到最优解,节省了簇头选举的时间也降低了整个算法的复杂度。仿真实验的结果表明,新的算法在有效地利用能量,提高网络的稳定性等方面有很大的改进,从而均衡了网络的能量消耗,有效地延长了网络的寿命。

## 参考文献

- 1 秦智超.无线传感器网络中节能关键技术的研究.北京:北京邮电大学,2013.
- 2 白凤娥,李环.能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇算法的研究.计算机与数字工程.2012,40(1):28-31
- 3 赵雁航.一种基于 LEACH 协议改进的物联网路由算法[硕士学位论文].长春:吉林大学,2014.
- 4 杜风雷.基于 LEACH 的改进型无线传感器网络路由算法研究.微电子学与计算机,2010,27(8):128-131.
- 5 Liu AF, Wu XY, Chen ZG, et al. Research on the energy hole problem based on unequal cluster-radius for wireless sensor networks. Computer Communications. 2010,33(3): 302-321.
- 6 Abbasiaa Y. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. Computer Communications, 2007, 30(15): 2826-2841.
- 7 Melhta R, Pandey A, Kapadia P. Reforming Clusters Using C-LEACH in Wireless Sensor Networks. 2012 International Conference on Computer Communication and Informatics. 2012.
- 8 Wei Dali, Shaun Kaplan, H Anthony Chan. Energy efficient clustering algorithms for wireless sensor networks. Proc. of IEEE Communications Society, 2008:236-240.
- 9 Y. Jennifer, M. Biswanath, G. Dipak. Wireless sensor networks survey. Computer Networks, 2008(52):2292-2330.
- 10 Hu Y, Wang XH. PSO-based Energy-balanced Double Cluster-heads Clustering Routing for wireless sensor networks. 2011 International Conference on Advanced in Control Engineering and Information Science, CEIS. 2011: 3073-3077.