



## 一种能量有效的无线传感器网络分簇路由算法

许 国, 胡 瑜, 张 莹, 刘玉良  
(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

**摘 要:** 为减少无线传感器网络能耗、延长网络的生存周期, 基于经典的低功耗自适应分簇算法 (LEACH), 提出了一种新的能量有效的分簇算法. 算法的主要思想是综合网络能量分布和簇首间位置分布来优化簇首选择, 从而在使簇分布更均匀的同时, 进一步保证了网络内节点负载均衡. 仿真和分析表明, 该算法是一种有效的分簇路由算法.

**关键词:** 无线传感器网络; LEACH 协议; 分簇; 剩余能量

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2009)01-0058-04

## An Energy Efficient Clustering Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks

XU Guo, HU Yu, ZHANG Ying, LIU Yu-liang

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to reduce the energy consuming and prolong the life span of wireless sensor network, an energy efficient clustering algorithm was proposed based on low energy adaptive clustering algorithm (LEACH). The distribution of network energy and the distance between cluster heads were taken as the parameter to optimize the process of cluster head selection. It can balance the distribution of clusters and provide the energy load's proportionality of sensor node. Both simulation and analysis show that it is an effective cluster-based routing protocols.

**Keywords:** wireless sensor network; LEACH protocol; clustering; remaining energy

近年来, 随着微机电技术、计算机技术和无线通信技术的发展与融合, 具有感知能力、通信能力和计算能力的低功耗、低成本微型无线传感器得以快速发展. 无线传感器网络 (WSN) 就是由大量分布在监测区域中的传感器节点组成, 这些节点自组织形成一个无线网络, 相互协作, 采集和处理区域内被测对象的信息. WSN 可以广泛的应用在环境监测、国防军事、生物群落观察和交通管理等领域, 特别适合应用在人不宜到达的恶劣环境和长期监测任务中, 近几年已经引起学术界和工业界的高度重视, 被认为是将对 21 世纪产生巨大影响力的技术之一<sup>[1]</sup>.

由于传感器节点处于恶劣的环境中, 因此相对传统网络而言, 无线传感器网络最突出的特点是, 节点

能量补给困难, 甚至根本无法补充, 这就要求 WSN 路由协议必须以节约能源为首要目标, 尽可能地延长网络生存周期. 当前的 WSN 路由协议主要有平面路由协议和层次路由协议. 平面型路由协议有 DD<sup>[2]</sup>, SPIN 等, 由于网络中节点众多, 平面路由协议会导致网络开销较大, 不利于网络的扩展. 层次路由协议是基于分簇的逻辑网络结构, 通过对网络节点进行分簇, 并从每簇中选择簇首 (Cluster Head), 簇内成员将感知到的数据信息发送到簇首节点, 簇首对其进行数据融合减少发送量后, 再发送至负责无线传感器网络与有线设备连接的 Sink 节点. 由于簇首是对数据进行压缩处理后才将其发送至 Sink, 这样就可以减小不必要的的数据发送量, 从而达到节约节点能量的

收稿日期: 2008-06-16; 修回日期: 2008-09-08

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目 (2006BAJ16B08); 天津科技大学科学研究基金资助项目 (20080227)

作者简介: 许 国 (1981—), 男, 河北井陘人, 助教.

目的。

LEACH 算法就是一种比较成熟,且比较常用的分簇路由算法,它的簇首选择算法仅仅在概率角度上考虑了节点作为簇首的公平性,而没有把节点能量值、簇内节点位置分布,以及簇首与簇首间的位置信息等重要因素考虑在内,这样就导致了整个网络能量消耗不均衡,如某些不适合充当簇首的节点仅仅依概率当选为簇首,结果会由于能量消耗过快而失效,导致网络生存期的缩短。为了更好地解决这一问题,本文提出了一种能量有效的 WSN 分簇算法,综合网络能量分布和簇首间位置分布来优化簇首选择,从而使簇分布更均匀的同时,进一步保证了网络内节点负载均衡。

## 1 LEACH 分簇算法分析

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 是由 Heinzelman 等人提出的一种层次路由协议,其分簇思想成为很多分簇协议的基础<sup>[3]</sup>。

LEACH 协议引入了“轮”的概念,每一轮分为两个阶段:初始化阶段和稳定工作阶段。在初始化阶段,算法随机的选择节点作为簇首,这样可以从概率角度保证各个节点负载均衡。具体机制是:各个传感器节点产生一个 0 到 1 之间的随机数  $m$ ,如果  $m$  小于某一个阈值  $T(n)$ ,那么这个节点就成为簇首节点。

阈值  $T(n)$  定义为

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times (r \cdot \text{mod}(\frac{1}{p}))} & n \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $p$  是簇首节点占总节点的百分比; $r$  是已经完成的轮数; $G$  是一个集合,集合中的节点是前  $r$  轮中没有当过簇首节点的节点。

在簇首选定后,簇首向所有节点广播自己成为簇首的消息,其他节点根据接收信号的强弱来决定加入哪个簇。在稳定阶段,簇首基于 TDMA 方式为簇内节点分配时隙,簇内节点将感知到的数据在给定的时隙内传送到簇首,簇首节点融合所收信息后发送至 Sink 节点,经过一段时间后进入下一轮的循环。

LEACH 算法作为一种经典的分簇路由算法,相比于平面路由算法,在路由发现和数据传输上,建立路径的时间更短,能量消耗的更少,利用分簇将系统资源更好的分配,改进了功率控制,可以将网络的整个生存时间延长 30%<sup>[4]</sup>。

## 2 LEACH\_N 算法原理

虽然 LEACH 算法在节能性能上有了一定的提高,但仍存在一些问题。首先,节点以相同的概率被选为簇首,若能量低的节点被选为簇首,则很快就因能量耗尽而失效,减少了网络的生存时间;其次,簇首的产生没有考虑网络的能量分布状况。假设选举出的簇首距离网络中能量值最低的节点  $A$  较远,节点  $A$  将花费较高的能量来维持与簇首的通信,它将很快耗尽能量而失效;再次,如果两个簇首之间的间距过近,就会出现“簇首冗余”现象,因为两个太近的簇首所能感知到的信息基本一致,在其后的传输阶段有可能作为其他簇首向 Sink 节点传输数据的中继站,由于这两个簇首物理位置很近,只需要以其中一个为中继站即可,只需消耗一个簇首的能量就能完成传输。

针对这些问题,引入网络能量分布和簇首间距作为成簇路由的两个影响因素,设计了一种新的能量有效的无线传感器路由算法 (LEACH\_N 算法)。

为了避免低能量的或者位置不佳的节点被选为簇首,进一步均衡系统能量负载,在选举簇首时,既要考虑备选节点的剩余能量值,又要遵循保护“低能量”节点的原则,即簇首在物理位置上要尽量接近能量值低的节点,以降低此节点与簇首间的通信代价。在算法中通过加权系数来实现对上述两种因素的综合考虑,为每个节点分配一个权值来表示其适合充当簇首的程度。权值  $W$  可以通过式 (2) 计算。

$$W = (1 - \alpha) \times R_{\text{en}} + \alpha \times d_{\text{low}} \quad (2)$$

式中: $\alpha$  为权重因子,  $0 \leq \alpha \leq 1$ , 它的值由具体应用来决定; $R_{\text{en}}$  为节点剩余能量; $d_{\text{low}}$  为与低值能量节点的距离。

此外,簇首距离过近将导致能量无谓损耗,故簇首间应大于某一距离。设监测区域面积为  $A$ , 在理想状态下簇为半径为  $r$  的圆,设系统分为  $M$  个簇,则有

$$A \approx M \times \pi \cdot r^2 \quad (3)$$

那么,每个簇首应覆盖的区域半径为

$$r \approx \sqrt{\frac{A}{M \times \pi}} \quad (4)$$

这样在每个半径为  $r$  的区域内,如果有一个簇首存在就可以保证簇的覆盖率,同时也避免了簇首间距过近的情况。也就是说,对进行一定的限制,可以进一步平衡簇首的分布。由于无线传感器网络系统应用情况的不同,不能简单的以  $r$  为簇首间距,设定  $d$  为

$$d = \lambda \times r \quad (5)$$

由于无线节点的通道衰减系数的取值依赖于所

处环境, 一般情况下取衰减系数为 2, 但在有较多障碍物的情形下就要取 3—5, 因此在式(5)中需要设置一个距离修正系数  $\lambda$  ( $\lambda$  为大于 1 的常数) 来保证簇的覆盖率.

节点当选为簇首后, 发布广播消息通知网内其他节点, 非簇首节点根据收到的簇首广播信号的强弱加入簇, 并通知簇首. 在簇传输阶段, 采用一跳式路由算法: 簇内普通节点如果要发送数据, 则需要通过该节点所属簇的簇首来进行数据中转, 即节点先将数据发送至簇首, 簇首再将数据转发到 Sink 节点.

### 3 LEACH\_N 算法设计

和 LEACH 一样本算法也是按轮执行的, 每轮分为簇的建立阶段和数据传输阶段. 算法流程见图 1.

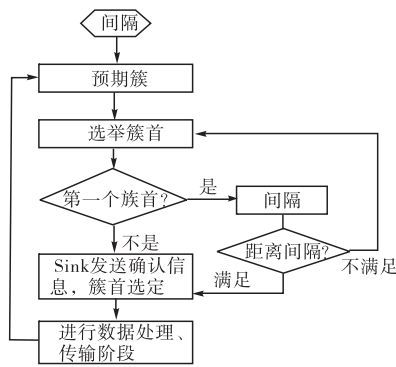


图 1 LEACH\_N 算法流程图  
Fig.1 Algorithm flow of LEACH\_N

(1) 在每轮的开始将无线传感器节点按地理位置均匀的分为几个“预期簇”, 分别在“预期簇”中选举簇首.

(2) 选举第 1 个簇首. 每一个节点都存有一个能量值表, 记录着簇内的所有其他节点的能量值. 在每轮的开始时, 节点要向簇内其他节点广播自己的能量值, 同时接收其他节点发送来的能量信息, 更新自己的能量值表. 完成这个阶段后, 就由能量值最低的节点进行簇首选择. 影响簇首权值的两个因素: 剩余能量由能量表可知; 距离根据接收到的信号强弱做出判断. 至此簇首选择完成, 选出的簇首通知 Sink 节点, 自己成为簇首的信息.

(3) 选举第  $i(i \geq 2)$  个簇首. 选举步骤同(2). 只是在向 Sink 节点发送选举成功的消息以后, 还需等待 Sink 节点的确认. 因为 Sink 节点还要进行判断新选出的簇首与本轮已选出的其他簇首的距离是否大于  $d$ , 如果不满足则要求该簇根据权值重新选择簇首, 直

到满足簇首间距条件为止.

(4) 在成为簇首后, 节点发布广播通知簇内其他节点, 自己成为簇首的消息.

(5) 进入数据传输阶段.

### 4 实验

综合以上改进措施, 对本文 LEACH\_N 算法进行仿真分析, 并与 LEACH 算法进行性能比较.

采用 Heinzelman W R 等提出的简化无线模型<sup>[5]</sup>. 发射放大器损耗为

$$\epsilon_{amp} = 100 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^2)$$

发射和接收电路射频损耗均为

$$E_{el} = 50 \text{ nJ}/\text{bit}$$

则将  $k$  bit 信息传送至距离  $d_1$  处所消耗的能量为

$$E_{TX}(k, d_1) = k \times E_{el} + k \times \epsilon_{amp} d_1^2$$

接收该信息所耗能量为

$$E_{RX}(k, d_1) = k \times E_{el}$$

假设网络由 100 个节点组成, 每个节点具有 0.5 J 的初始能量值, 随机分布在  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  的正方形区域内, 如图 2 所示. Sink 节点位于 (50, 150) 处.

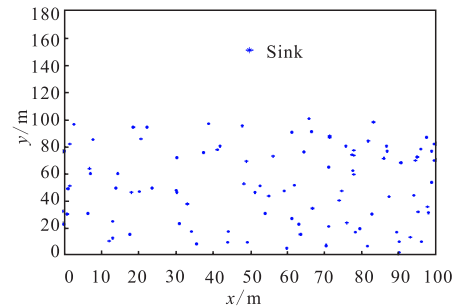


图 2 节点随机分布图

Fig.2 Random distribution diagram of network nodes

第一个失效节点出现的轮数  $t_{FND}$  和全部节点失效的轮数  $t_{AND}$  是衡量 WSN 系统生存周期的重要参数, 因此采用  $t_{FND}$  和  $t_{AND}$ , 将 LEACH\_N 算法与 LEACH 算法进行比较.

首先研究 LEACH\_N 算法中的簇首当选权值  $\alpha$  的取值对节点存活轮数的影响, 结果如表 1 所示.

表 1 权重因子  $\alpha$  对网络生存时间的影响

Tab.1 Mpaiction of  $\alpha$  on network lifetime

$\alpha$	$t_{FND}$ / 轮数	$t_{AND}$ / 轮数
0.1	1 735	2 310
0.4	1 775	2 283
0.5	1 799	2 272
0.6	1 813	2 258
0.8	1 905	2 100

由表 1 可见,  $\alpha$  的取值影响着网络的生存时间.  $\alpha$  取值过小说明节点的剩余能量起着主要影响因素的作用, 保护“低能量”节点的作用偏小, 因此导致  $t_{\text{FND}}$  出现的时间较早. 反之, 如果  $\alpha$  取值过大, 则保护“低能量”节点的因素占相对大的比重, 有可能导致相对较少能量的节点由于位置因素而当选为簇首, 反而加剧其能量消耗, 因此网络的整体生存时间  $t_{\text{AND}}$  减少.

如果单纯从  $t_{\text{AND}}$  来看,  $\alpha$  的取值应该越大越好, 但是如果  $\alpha$  取极限值 1, 就相当于不考虑剩余能量因素而只考虑保护“低能量”节点, 那么就将有可能导致极端情形: 在第  $n$  轮中,  $A$  是某簇中能量最低的节点, 而  $B$  是距离它最近的节点, 那么根据算法,  $B$  就应该成为该簇的簇首, 但是如果  $B$  的能量值较低(比如在簇中仅高于  $A$ ), 那么很可能  $B$  在担任簇首处理这轮的数据时就会失效, 导致重新运行簇首选举算法和发送数据, 不仅造成了数据的延时, 更浪费了有限的能量. 而且新选举出来的节点又有可能是上述的情形, 这样下去必将导致网络整体能量的无谓损耗. 反之, 如果  $\alpha$  取值为 0 则意味着只考虑剩余能量, 那么能量值最高的节点即成为簇首, 可以有效地降低上述重新运行路由算法耗能的可能性, 但是与此同时又起不到保护“低能量”节点的作用, 导致  $t_{\text{FND}}$  出现的轮数较早.

根据大量实验, 选取  $\alpha = 0.6$  可以兼顾参数  $t_{\text{FND}}$  和  $t_{\text{AND}}$ , 在尽量推迟第一个失效节点出现的同时又使系统的整体存活轮数较长, 达到了较好的网络性能. 在上述参数设定下, 分别仿真两种算法. 图 3 为系统运行中存活节点个数与仿真轮数关系图.

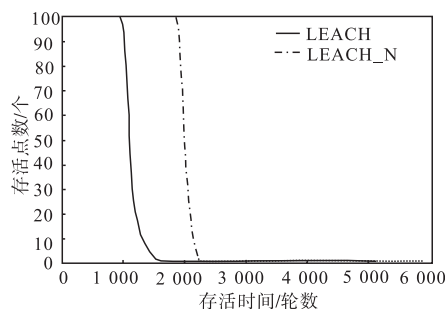


图 3 比较两种算法的生存时间与存活节点个数

Fig.3 Comparison of network lifetime and working nodes using two algorithms

由图 3 可知, LEACH 算法中  $t_{\text{FND}}$  出现的时间为第 964 轮, 而在 LEACH\_N 算法中,  $t_{\text{FND}}$  为第 1 813 轮. 同样可以很明显的看到, 系统节点整体存活率有较大提高, 在 LEACH 算法中, 在第 1 695 轮节点全部失效, 而 LEACH\_N 算法直到第 2 258 轮才全部失效. 仿真结果说明改进后的算法比 LEACH 算法在系统能量有效性方面有较大改善.

## 5 结 论

基于经典的 LEACH 分簇算法, 从能量有效性角度提出了两点改进: 一是考虑网络能量分布的因素; 二是考虑簇首间距离对能量损耗的影响. 经仿真证明改进后的算法比 LEACH 算法在系统能量有效性方面有较大改善. 该算法可使选择的簇首更适合担当数据转发任务, 提高了簇内负载均衡程度, 延长了网络生存时间.

## 参考文献:

- [1] 崔莉, 鞠海珍, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 163-174.
- [2] Intanagonwivat C, Govindan R, Estrin D. Directed Diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks[EB/OL]. (2000-03-20) [2006-12-18]. <http://merlot.usc.edu/cs551-s04/papers/Intanagonwivatooa.pdf>
- [3] Tian D I, Nicolas D, Georgan S. A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003, 3(2): 271-290.
- [4] Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: power-efficient gathering in sensor information systems[C]// Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. Montana: IEEE Press, 2002: 1125-1130.
- [5] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.