

## 异构传感网基于圆环域的簇头混合通信路由算法\*

江禹生, 邓光忠, 管芳  
(重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

**摘要:** 簇结构是减少无线传感网能耗的基础, 针对经典 LEACH 协议簇头能耗不均衡的缺点, 提出了一种适用于异构传感网中的基于圆环域的簇头混合通信的路由算法 LEACH-RMC。该算法通过在监测区划分圆环域确定簇头的等级, 簇头采用单、多跳结合通信方式均衡了簇头的能耗。网络中采用固定簇头, 节省了普通节点的硬件花费。实验表明, 新的算法明显延长了网络的生存期, 均衡了簇头的负载。

**关键词:** LEACH; 圆环域; 能耗均衡; 混合通信

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2012)04-0084-03

### Ring-zone-based with cluster-heads' hybrid communication routing algorithm for heterogeneous WSNs

Jiang Yusheng, Deng Guangzhong, Guan Fang  
(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Clusters structure is the basis of decreasing WSNs' energy consumption. According to the cluster-heads' unbalance energy consumption in classical protocol LEACH, propose a routing algorithm LEACH-RMC, which ring-zone-based with cluster-heads' hybrid communication modes applicable to heterogeneous WSNs. Make use of dividing the sensor field into some ring zones to determine the level of the cluster-heads, and combine single-hop and multi-hop to communicate which has balanced the energy consumption of the cluster-heads. Using fixed cluster-heads in the networks has saved hardware costs of normal nodes. The simulation results show that the new algorithm obviously extend the span of WSN's lifetime and balance the load of the cluster-heads.

**Key words:** LEACH; ring-zone; energy balance; hybrid communication

随着物联网应用热潮的兴起, 作为其感知层的无线传感网的路由技术成为新的研究热点。无线传感器节点是由电池供电, 特殊的工作环境决定了节点电池的不可更换性。由于无线传感网中部分节点的过早死亡会造成整个网络通信的瘫痪, 因此, 节点的节能和能耗均衡是无线传感网有效工作的前提。本文针对传感器节点的这些限制, 提出了一种异构网络中基于圆环域的单、多跳结合的簇头混合通信路由算法 (LEACH-RMC)。通过均衡网络的能量负载以整体达到增加网络寿命的目的。

#### 1 分簇路由与能耗不均衡性

无线传感网路由协议分为平面路由和分层路由。分层路由可以有效地减少网络的能量消耗<sup>[1]</sup>, 许多能量高效的路由协议都是在簇结构的基础上设计的。MIT 的 HEINZELMANZ W 等人率先提出分层的 LEACH 协议<sup>[1]</sup>, 它通过等概率周期性选择簇头, 将整个网络的能量负载

平均分配到每个节点, 以达到降低网络能耗的目的。但 LEACH 不适合在异构网络中使用。SMARAGDAKIS G 等人在 LEACH 的基础上提出了适用于异构网络的 SEP 协议<sup>[2]</sup>, 簇头选举以初始能量为参数, 能量高的节点更多地当选簇头, 但它没有考虑节点的剩余能量。卿利等人提出一种新的分布式能量有效成簇算法 DEEC<sup>[3]</sup>, 在 SEP 的基础上考虑了节点的剩余能量, 它能获得比 LEACH 和 SEP 等算法更长的生存时间和吞吐量<sup>[3]</sup>。但是, 这些协议都没有最大化网络的效益。首先, 它们都采用簇头轮换机制, 每个节点都有机会担当簇头, 因此所有节点都应具备必要的硬件条件; 其次, 在通信中使用的都是单跳, 距离基站远的簇头将消耗更多的能量。相反, 采用多跳通信, 距离基站近的簇头因为要转发更多数据而存在更大的能量负载。因此网络中总是存在不均衡耗能的模式。

#### 2 异构网络模型

##### 2.1 网络结构

将监测区看成是半径为  $R$  的圆域, 基站在圆心位

\* 基金项目: 国家 863 资助项目 (2008AA01Z202); 重庆市科技攻关计划重点资助项目 (CSTS, 2009AB2145)

## 通信与网络 Communication and Network

置。节点随机分布在圆域中,簇头密度为  $\lambda_1$ ,因此每个簇头平均传输半径为  $r_1$ :

$$r_1 = 2\sqrt{\frac{S}{\pi np}} \quad (1)$$

其中,  $n$  是节点个数,  $p$  是簇头比例,  $S$  为监测区域面积。因此,以基站为圆心,以  $r_1, 2r_1, 3r_1$  等为半径把监测区分为  $m$  个圆环域。其中,

$$m = \left\lceil \frac{R}{r_1} \right\rceil \quad (2)$$

网络中,普通节点能量较低,簇头节点能量高于普通节点数倍。

LEACH-RMC 算法做如下假设:

- (1)簇头只在它们的能量为 0 时才被假定为死去<sup>[5]</sup>;
- (2)所有节点的范围足够确保网络的连接性和覆盖。

### 2.2 能耗模型

本文采用参考文献[1]中的能耗模型。

在发送  $l$  bit 数据时,经过距离  $d$  的过程中,发送端的能量消耗为:

$$E_{tx}(l, d) = \begin{cases} l \times E_{elec} + l \times \varepsilon_{fs} d^2 & d < d_0 \\ l \times E_{elec} + l \times \varepsilon_{mp} d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (3)$$

相应地,接收  $l$  bit 数据时,接收端的能量消耗为:

$$E_{rx}(l) = l \times E_{elec} \quad (4)$$

簇头对  $l$  bit 数据进行融合,消耗的能量为:

$$E_{DA}(l) = l \times E_{gather} \quad (5)$$

其中,  $E_{elec}$  表示发送和接收 1 bit 数据发送电路和接收电路所消耗的能量;  $\varepsilon_{fs} d^2$  和  $\varepsilon_{mp} d^4$  分别为传输距离小于  $d_0$  和大于等于  $d_0$  时每放大 1 bit 数据放大器消耗的能量;  $E_{gather}$  为对 1 bit 数据融合消耗的能量。式(3)中的  $d_0$  由式(6)决定,其中  $\varepsilon_{fs}$  和  $\varepsilon_{mp}$  取决于发送单元的放大器。

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (6)$$

由以上能耗模型可得出第  $i$  级的簇头每轮的平均能量消耗  $P_{Ch}(i)$  为:

$$P_{Ch}(i) = 0.5 \{ E_{tx}(l, d) + N(i) [E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l)] \} + 0.5 E_{rx}(l, D(i)) + E_{DA}(l) \quad (7)$$

其中,  $N(i)$  如式(8);  $D(i)$  是多跳通信时第  $i$  级簇头到基站的距离。

## 3 LEACH-RMC 路由算法

### 3.1 算法步骤

在 LEACH-RMC 算法中,超级节点作为簇头,其他普通节点自组织入簇。具体实现步骤如下:

第一步:圆环域划分

假定节点位置都是固定不变的,节点和基站位置信息都已知。首先根据到基站的距离把簇头分为若干等级,到基站距离小于等于  $r_1$  的簇头为第 1 级,到基站距离大于  $r_1$  小于等于  $2r_1$  的为第 2 级,依此类推,直到监测区的边界。监测区的划分如图 1 所示。

第二步:簇头路径选择

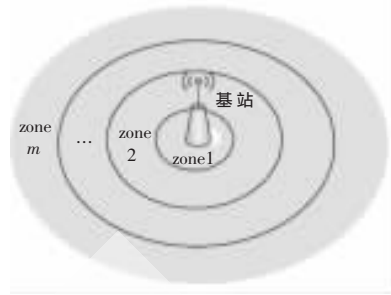


图 1 监测区划分示意图

监测区划分后,簇头都知道自己所属等级,每个簇头根据距离在上一级中选出最优的簇头作为下一跳,即其父节点,第一级簇头的父节点是基站。

第三步:簇的建立

延续了 LEACH 中“轮”的概念,只是每轮中不再选举簇头,网络生命期内超级节点一直担任簇头。簇的建立以达到最少的通信能耗为标准,簇头通过广播数据包通知自己是簇头,周围普通节点根据接收到的信号强度申请加入到不同的簇,簇头回复确认加入信息。

第四步:数据传输

稳定数据传输阶段,簇头首先根据入簇节点信息建立一个 TDMA 表,然后把表广播给簇内节点,并且允许普通节点在除自己传送信息的所有时间段内关闭无线模块,最小化能量消耗<sup>[6]</sup>。普通节点采集有效信息发给簇头,簇头对数据融合后以偶数轮单跳、奇数轮多跳通信方式传送到基站。

多跳通信中,每个高等级的簇头都要转发低级簇头的的数据,第  $i$  级簇头要转发来自  $i$  级以外的簇头的的数据。假设监测区分为  $m$  个圆环域,第  $i$  级有  $L(i)$  个簇头,则  $i$  级每个簇头需要转发的数据包平均个数为  $N(i)$ :

$$N(i) = \frac{\sum_{j=i+1}^m L(j)}{L(i)}, \quad 0 < i < m \quad (8)$$

其中,  $L(i)$  是第  $i$  级圆环域包含的簇头数:

$$L(i) = \lambda_1 \pi \{ (ir_1)^2 - [(i-1)r_1]^2 \}, \quad 0 < i < m \quad (9)$$

$\lambda_1$  是簇头节点的密度,  $r_1$  是各级圆环域的宽度。

### 3.2 理论分析

节点的能耗主要来自无线通信模块。由式(3)可知通信能耗与通信距离  $d$  密切相关,如果  $d \geq d_0$ ,则传输数据时放大器所需能耗与  $d^4$  成正比,远距离通信将使节点能量快速消耗,而且单跳或多跳通信都会造成网络节点能耗不均衡。

LEACH-RMC 使用了混合通信方式,这里做理论分析,比较 LEACH 和 LEACH-RMC 能耗情况。对能耗最敏感的是第一级和最后一级的节点。由式(7)得:

$$P_{Ch}(1) = 0.5 \{ E_{tx}(l, d) + N(1) [E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l)] \} + 0.5 E_{rx}(l, d) + E_{DA}(l) \quad (10)$$

$$P_{Ch}(m) = 0.5 E_{tx}(l, d) + 0.5 E_{rx}(l, D) + E_{DA}(l) \quad (11)$$

## 通信与网络 Communication and Network

其中,  $d=r_1, D=R$ , 其他参数与仿真参数相同。

由式(8)、式(9)可得:

$$N(1) = \frac{np - \frac{r_1^2}{R^2} \times np}{\frac{r_1^2}{R^2} \times np} = \frac{R^2 - r_1^2}{r_1^2} = \left(\frac{R}{r_1}\right)^2 - 1 = m^2 - 1 \quad (12)$$

将参数代入式(10)和式(11), 可以得到  $P_{CH}(m) \approx P_{CH}(1)$ , 而在LEACH中  $P_{CH}(m) = 20P_{CH}(1)$ , 所以理论上本算法中簇头能耗均衡明显得到改善。

### 4 仿真实验及性能分析

本文利用 MATLAB 仿真工具, 采用仿真分析的方法对 LEACH 和 LEACH-RMC 进行对比。主要分析了网络中第一个节点死亡和 10% 的节点死亡的轮数以及网络中总能量的消耗在各轮次上的比较。

#### 4.1 仿真场景及参数设置

LEACH-RMC 协议适用于大规模的异构无线传感网中, 因此, 实验假设 1000 个节点随机分布在半径为 180 m 的圆形监测区内, 基站位于圆心, 坐标为 (0,0)。网络的仿真参数设置如表 1。

表 1 网络仿真使用参数表

参数值	数值
簇头比例 $p$	0.1
普通节点初始能量/J	0.5
簇头初始能量 ( $a=5$ )/J	$0.5(1+a)$
数据包长度/bit	6400
控制包长度/bit	200
传输消耗 $E_{elec}/(nJ/bit)$	50
$e_p/pJ/bit/m^2$	10
$e_{mp}/pJ/bit/m^4$	0.0013
$E_{gather}/nJ/bit$	5

#### 4.2 仿真结果分析

图 2 是两种协议在各轮次存活节点数目的比较, 可以看出本文提出的 LEACH-RMC 算法延长了网络的生存时间, 由 LEACH-RMC 曲线的斜率可知节点几乎在同一时间死亡, 达到了延长网络生命和能耗均衡的目的。这是因为 LEACH-RMC 算法中单、多跳结合通信, 减少了单纯使用单跳通信时远离基站的簇头的能量消耗和多跳通信时靠近基站的簇头的能量负载, 这种整个网络的负载均衡地分配在所有簇头的方法使得不至于部分

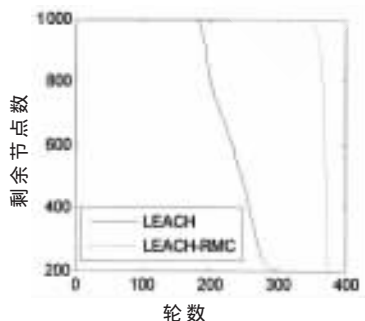


图 2 网络生存时间曲线

簇头过早死亡造成网络瘫痪。

图 3 是两种协议在各轮次的总能耗比较。由图明显得到, 200 轮以前两种协议均处于稳定状态, 而 LEACH-RMC 协议在每轮的能耗都比 LEACH 少, 这说明 LEACH-RMC 协议均衡了网络各轮次的能耗。

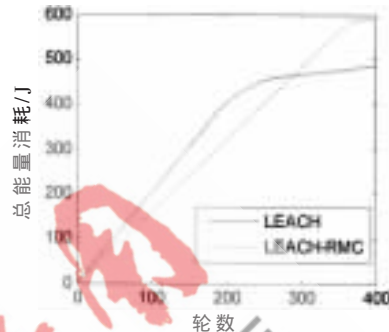


图 3 网络总能耗曲线

由表 2 的数据可知, LEACH-RMC 的第一个节点死亡和 10% 的节点死亡轮数相对 LEACH 均提高了 87% 左右。在 10% 的节点死掉以前, 网络可以向基站传送高质量和高可靠的数据, 即 LEACH-RMC 延长了网络的稳定期。

表 2 两种协议的节点死亡情况统计表

协议名称	第一个节点死亡/轮数	10% 的节点死亡/轮数
LEACH	176	193
LEACH-RMC	328	361
提高比例/(%)	86.36	87.04

在无线传感网中, 使用分簇然后引进一些强大的节点始终作为簇头, 能够提高系统的性能, 延长网络生命周期而且节约了硬件花费。而混合通信模式有效地均衡了网络的负载, 延长了网络的稳定期。通过分析和实验仿真, 证明了 LEACH-RMC 协议比 LEACH 效果好。

#### 参考文献

- [1] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660 - 670.
- [2] SMARAGDAKIS G, MATTAI, B A. SEP: A stable election protocol for clustered heterogenous wireless sensor networks [C]. Proceedings of the International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications, Boston, USA, 2004.
- [3] 卿利, 朱清新, 王明文. 异构传感器网络的分布式能量有效成簇算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 481-489.
- [4] Li Min, Long Jun, Jian Pingyin. An efficient key management based on dynamic generation of polynomials for heterogeneous sensor networks[C]. 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, 2010 IEEE: 460-464.
- [5] MACHADO R, ANSARI N, WANG G. Adaptive density

## 通信与网络 Communication and Network

control in heterogeneous wireless sensor networks with and without power management[J]. IET Commun, 2010,4(7): 758-767.

- [6] Li Han. LEACH-HPR: An energy efficient routing algorithm for heterogeneous WSN[C]. Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010 IEEE International Conference on, Oct. 2010(2):507-511.

(收稿日期:2011-09-12)

### 作者简介:

江禹生,男,1961年生,副教授,主要研究方向:无线传感网理论与技术,宽带无线接入技术,无线自组织网络等方向研究。

邓光忠,男,1980年生,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

管芳,女,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

