

基于动态邻居表的分簇路由协议

朱海平,冷云锋

(华中科技大学 机械科学与工程学院,湖北 武汉 430074)

摘 要: 提出了一种基于动态邻居表的分簇协议 (clustering routing protocol based on dynamic neighbor table, CRBONT). 它以满足特定条件的节点为中心,根据约定的广播半径,动态的建立广播半径内,所有节点的剩余能量组成的邻居表,并以此为依据选取簇头. 仿真结果表明,CRBONT 算法的簇头分布非常均衡,各个节点的能量消耗差距细微,第一个节点死亡时间明显延迟,能较好地延长网络的生存周期.

关键词: 无线传感器网络; LEACH 协议; 动态邻居表; 分簇技术; 广播半径; 能量消耗

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)11-0092-06

Clustering Routing Protocol Based on Dynamic Neighbor Table

ZHU Hai-ping, LENG Yun-feng

(School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of
Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the clustering technology and cluster head election method of LEACH protocol, a new protocol based on dynamic residual energy neighbor table is proposed. Including ID and residual energy of nodes, the dynamic neighbor table is used to select the cluster head. Analysis and simulation results show that, new protocol can improve the shortcoming of LEACH, and equable the distribution of cluster head, and balance the energy consumption of node, and then prolong the lifetime of the network effectively.

Key words: wireless sensor networks ; LEACH protocol; dynamic neighbor table; clustering technology; broadcast radius; energy consumption

1 引言

LEACH 协议^[1] 是一种 WSN 经典的路由协议,它减少了网络能量的消耗,同时也提高了网络的可扩展性. 但 LEACH 协议也存在很多问题,这些在一定的程度上降低了网络的生存寿命.

鉴于 LEACH 协议未考虑节点剩余能量和分布密度这一缺陷,很多学者在簇头个数,能量阈值,数据融合,簇头分布,能量消耗等方面进行了深入的研究^[2-14],取得了可观的效果.

本文提出了一种基于动态邻居表的路由算法,算法在选举的过程中考虑了剩余能量的因素,引入了广播半径和动态剩余能量邻居表的概念,使得它

和 LEACH 及其改进协议有着较大的区别. 这些做法使得节点簇头分布更加可控和均匀,数量适中,网络整体能量消耗均衡,各个节点死亡时间接近,对延长网络的寿命有了很大的改进.

2 LEACH 协议

LEACH 协议是一种基于分簇的层次性路由协议,在网络运行时引入“轮”的概念,每轮包括簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段. 在每轮中,网络中每个节点以等概率随机成为簇首,其他节点就近原则自动加入簇,簇形成后,簇内节点把采集的数据发送给簇首,簇首对数据进行融合并把结果发送给基站. 在整个过程中簇首的能量消耗最大,因此 LEACH

收稿日期: 2014-02-20; 修回日期: 2014-03-29

基金项目: 国家自然科学基金(51275191); 国家科技重大专项(2014ZX04014101)

协议规定当选簇首后的节点在规定的轮数内不得再当选,这样很好的均衡了能量的消耗。

2.1 簇建立阶段

在 LEACH 协议中,引入了一个阈值 $T(n)$ 来计算第 n 个节点当选簇头的概率, $T(n)$ 的计算式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P(r \bmod 1/P)} & n \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, P 为簇头数与总节点数的比值, r 表示当前网络运行的轮数, G 表示最近 $1/P$ 轮不是簇头节点的集合。

选举簇头时,每个节点随机产生一个 $[0,1]$ 区间内的随机数,当该随机数小于 $T(n)$ 时,该节点当选为簇头,并向全网络广播当选为簇头的消息,所有簇头选举结束后,各个节点依据簇头广播的信号强度,加入一个强度最大的簇。簇头节点接收到入簇请求后,为簇内各个节点创建时分多址 (TDMA) 时隙表。

2.2 稳定数据通信阶段

在该阶段,簇内各个节点根据时隙表依次向簇头节点发送采集到的数据,簇头节点收到数据后对数据进行融合,然后再将融合后的数据发送至基站。

2.3 协议的能量消耗模型

本文采用与文献[15]相同的无线通信模型,在网络工作过程中的能量消耗如下所述:

(1) 节点发送 k bit 数据到距离 d 处的节点时的能量消耗:

$$E_t(k, d) = \begin{cases} kE_{\text{elec}} + k\epsilon_{\text{fs}} d^2 & d < d_0 \\ kE_{\text{elec}} + k\epsilon_{\text{mp}} d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, E_{elec} 表示射频电路发送或接收 1 bit 数据时消耗的能量, ϵ_{fs} 和 ϵ_{mp} 功率放大器的能耗系数, d 为发送节点到接收节点之间的距离, d_0 为常数, $d_0 = \sqrt{\epsilon_{\text{fs}}/\epsilon_{\text{mp}}}$ 。

(2) 节点接收 k bit 数据消耗的能量:

$$E_r(k) = kE_{\text{elec}} \quad (3)$$

(3) 簇头节点融合 m 帧长度为 k bit 的数据消耗的能量:

$$E_t(m, k) = mkE_{\text{DA}} \quad (4)$$

式中, E_{DA} 为节点融合 1 bit 数据时消耗的能量。

2.4 LEACH 协议的不足之处

通过 matlab 软件对算法进行仿真,可以得到簇头节点的分布图和传感器节点的死亡分布图。鉴于分布图的随机性,特此进行多次仿真运行,经分析取

发生概率较大的情况,可以参照图 1 和图 2,具体的仿真参数如表 1 所示。

(1) 由图 1 可知,选举出的簇头节点分布极其不均衡,导致节点到簇头的距离增大,能量消耗增大。而且各个簇大小差异也会很大,从而使得簇头节点的负荷过重,以至于导致节点过早死亡。

(2) 由图 2 可知,经过 900 轮的循环后,死亡节点分布集中,网络出现检测盲区,监测死角过早出现,使得网络提前报废。

(3) 算法完全没有考虑节点的剩余能量,能量不足的节点仍有可能当选为簇头,导致该节点过快死亡,影响网络寿命。

图 1 中圆圈表示簇头节点,黑色点为一般节点。

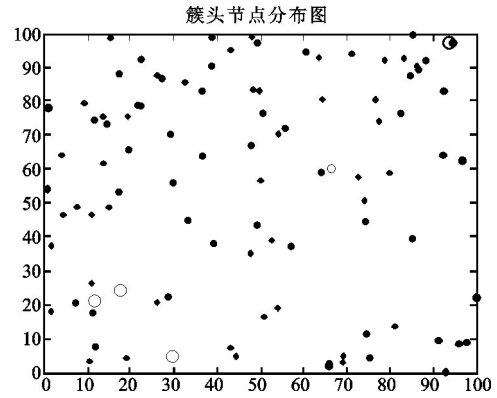


图 1 LEACH 算法簇头节点的分布图

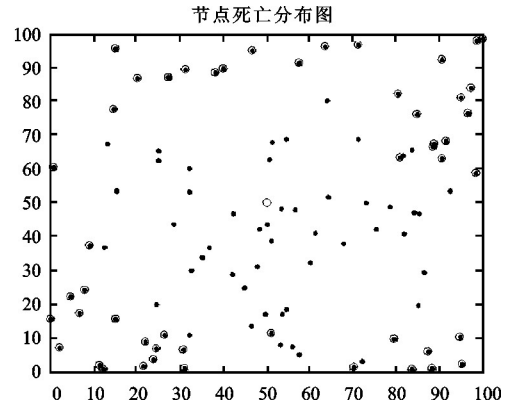


图 2 LEACH 算法 900 轮后死亡节点分布图

图 2 中在黑色点上面画上圆圈表示该节点能量耗尽,已经死亡。中央的点为基站。

鉴于 LEACH 协议以上的一些不足之处,本文提出的基于动态剩余能量邻居表的路由协议,CRBONT 协议,算法中考虑了节点的剩余能量,在一定范围内只有能量最大的节点才能当选为簇头,很好的平衡了节点能量的消耗。此外,以满足特定条件的节点为中心,半径 R 范围内不存在其他簇头节

点,使得簇头节点分布较为均匀.

3 CRBONT 算法

3.1 算法系统模型

在一块正方形的区域内随机均匀分布着 N 个节点.

(1)每个节点固定不动,独立采集和处理数据,而且都有一个固定的 ID 号.

(2)系统为分布式结构,所有节点结构和功能相同,能量均有限,都具有数据发送、接收和融合的能力.

(3)基站唯一,在网络区域的中心处,位置固定.

(4)节点的射频电路发射功率可调.

3.2 算法的描述与流程

满足特定要求(式(5)所示)的节点,以自身为中心, R 为半径,依据此范围内的所有节点的剩余能量建立邻居表,表内能量最大的节点当选为簇头.簇头选出后,在该 R 半径范围内的所有节点失去竞争成为其他簇头的资格,自动变为非簇头节点.各个簇的形成和稳定通信阶段与 LEACH 算法相同.能量消耗模型同 LEACH 协议.

对于动态邻居表的理解如下:

(1)动态邻居表的范围:以满足特定条件(式 5)的节点为中心,广播半径 R 范围内的节点.

(2)动态邻居表的内容:节点的 ID 和剩余能量.

(3)每轮选举时邻居表的数量和节点都会不同,会发生动态变化.邻居表数量由满足式(5)的节点个数决定,每张邻居表包含的节点也会不同.

(4)整个网络不是仅有一张表,然后从表中选择出剩余能量最高的几个节点成为簇头.而是会有多张表格,每张表格只取能量最高的节点成为簇头,因此簇头的个数由表的个数决定.

具体算法流程如下:

(1)簇头选举阶段

本文提出的新的协议和 LEACH 协议最大的不同在此阶段,放弃使用产生随机数来评判是否当选为簇头的条件,即不采用 $Rand(1) \leq T(n)$ 来产生簇头,同时增加剩余能量因子,把它作为当选簇头的主要评判标准.

每轮选举是一个编号循环遍历的过程,在网络建立前给每个节点分配一个编号从 1 到 N ,然后广播节点.每轮选举时从编号为 1 的节点开始递增遍历,判断该节点是否满足式(5)所示的条件,若满足条件,则该节点以 R 为半径广播建立剩余能量邻居

表的消息,处在该范围内的所有节点响应信息并且将自己的剩余能量发送至广播节点,至此邻居表建立,进入下一循环.当编号递增至最大值 N 时,结束遍历,选举过程结束.

具体的流程图如图 3 所示.

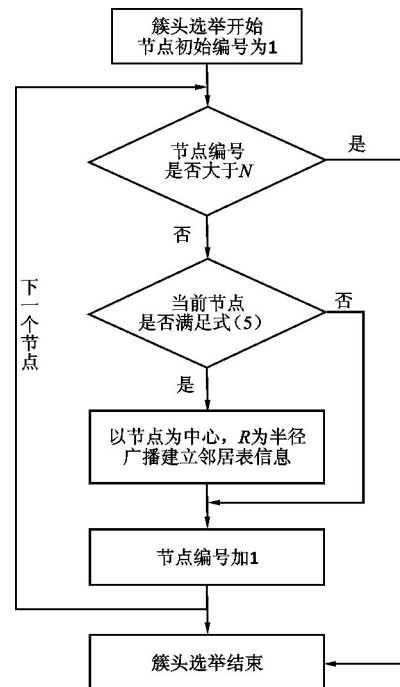


图 3 簇头选举流程图

节点的特定条件如下:

$$\begin{cases} S(i). E \geq \bar{E} \\ S(i). flag = 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中, $S(i). E$ 表示节点的剩余能量, $\bar{E}$ 表示全网的平均能量, $S(i). flag$ 每轮的初始值为 1, 它的值由式(6) 决定.

(1) 平均剩余能量 $\bar{E}$ 的计算

每个节点初始能量相同,在稳定数据通信阶段将自己的剩余能量随着数据发送给簇头节点,在选举簇头前,簇头节点间互发簇内平均剩余能量,计算得到全网的平均剩余能量,然后发送到簇内的各个节点.具体流程可以按图 3 所示理解.

图 4 中 $S(i). E$ 为一般节点的剩余能量,假设整个网络只有两个簇, $\bar{E}_1$ 表示簇 1 的平均剩余能量, $\bar{E}_2$ 表示簇 2 的平均剩余能量, $\bar{E}$ 表示整个网络的平均剩余能量.

(2) $S(i). flag$ 值的确定

$$\begin{cases} S(i). flag = 1 & i \notin G \\ S(i). flag = 0 & i \in G \end{cases} \quad (6)$$

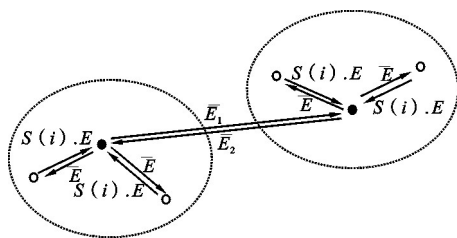


图4 计算平均能量

式中, G 表示已经处于广播半径范围内的节点的集合. 对式(6)的理解可以参照图5.

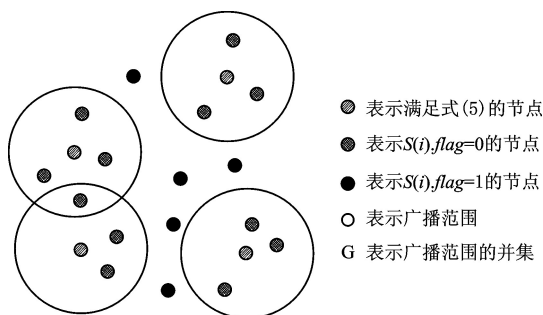


图5 对式(6)的理解

(2) 簇形成阶段和稳定通信阶段

与 LEACH 协议相同, 所有已经当选为簇头的节点, 向全网络广播当选信息, 其他节点按照接收广播信号的强弱加入相应的簇. 簇首创建 TDMA 时隙表并向簇内广播, 网络工作时按照时隙表进行数据传输, 簇首接收数据并进行融合, 然后发送至基站.

4 算法仿真

本文采用 matlab 对 LEACH 算法和 CRBONT 算法进行仿真, 仿真的参数如表 1 所示.

表1 协议仿真参数

参数	取值	参数	取值
节点分布区域	100 m×100 m	E_{elec}	50 nJ/bit
基站坐标	(50,50)	ϵ_{ts}	10 pJ · m ² /bit
节点个数	100	ϵ_{mp}	0.001 3 pJ · m ² /bit
广播数据包大小	20 bit	d_0	87 m
控制数据包大小	25 bit	E_{DA}	5 nJ/bit
通信帧数	20	R	30
节点初始能量	0.5 J		

4.1 广播半径对簇头个数的影响

大量的研究表明, 簇头个数对网络的生存周期有着重大的影响, 最佳的簇头与总个数比例为 3%~6% 通过多次仿真, 选择其中发生概率较大的一

种情况如图 6 所示.

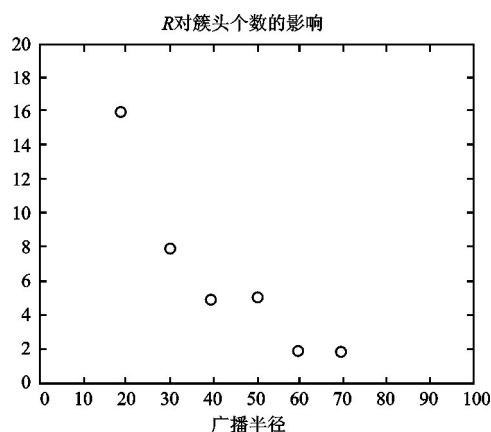


图6 CRBONT 协议中广播半径对簇头个数的影响

由图 6 可知, 一般 R 在 30~60 范围时符合簇头个数最佳比例的要求, $R=40$ 或者 $R=50$ 时簇头个数为最佳, 因此从簇头个数层面考虑, 广播半径应当选择 40 或者 50.

4.2 网络寿命

图 7 中对比了 LEACH 协议和 CRBONT 协议的网络寿命.

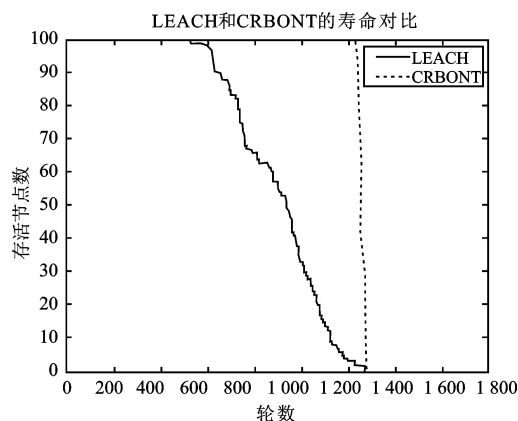


图7 两种协议时网络寿命的对比

根据图 7 的仿真结果可以得到以下结论:

(1) LEACH 协议中, 网络的第一个节点死亡时间大概在 540 轮左右, 而 CRBONT 协议网络第一个节点的死亡时间在 1 220 轮左右. 性能提升了超过 100%

(2) 使用 LEACH 协议的网络时, 死亡节点超过一半的轮数大约在 900 轮, 而使用 CRBONT 协议的网络知道 1 200 轮还没有出现节点的死亡, 此项性能指标提升了约 34%.

(3) 使用 LEACH 协议的网络时, 第一个死亡节点的轮数和最后一个节点的死亡轮数相差了大约

700 轮,这说明网络中各个节点的负载不均衡,能耗相差较大.而使用 CRBONT 协议的网络中轮数相差不大,说明各个节点的能耗相当均衡,负载平摊到各个节点,网络性能得到了较大的优化.

(4)由图 2 可知,使用 LEACH 协议的网络,当轮数为 900 时,死亡节点分布集中,导致了大部分的检测盲区出现,使得网络的真实寿命已经不足 900 轮,而在网络中还存在着大量能量充足的节点可以工作,浪费了很多能量资源.而使用 CRBONT 协议的网络节点死亡的时间相差不大,即使死亡节点分布集中,也不会对网络的寿命造成多大的影响,在节点能量的充分利用这项指标上,CRBONT 协议也有较大的改观.

4.3 网络节点能量消耗图

在网络的运行过程中,各个节点的能量消耗不同,簇头节点能力消耗最大.网络能量消耗过度不均会影响网络的寿命,使得一些节点提前死亡,而且死亡分布集中,这样会导致网络监测盲区的过早出现,因此控制网络能量均衡消耗尤为重要.通过仿真分析,在第 100 轮和 800 轮时分别对比网络中各个节点的剩余能量,如图 8、图 9 所示.

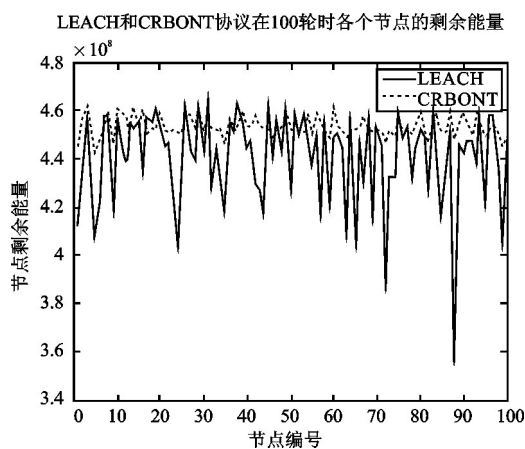


图 8 第 100 轮时两种算法节点剩余能量的对比

通过图 8、9 的对比,CRBONT 协议各个节点能量的消耗非常均衡,波动很小,而 LEACH 协议各个节点能量消耗差距大.这样的情况在第 800 轮时表现的更加明显,而且在 800 轮时,LEACH 协议已经出现了大量节点的提前死亡,对网络的寿命影响很大.

4.4 簇头分布

均匀分布的簇头可以使得节点到簇头的距离减少,从而降低能耗,也可以使得各个簇的大小均衡,不会出现个别簇头的负担过重的情况.

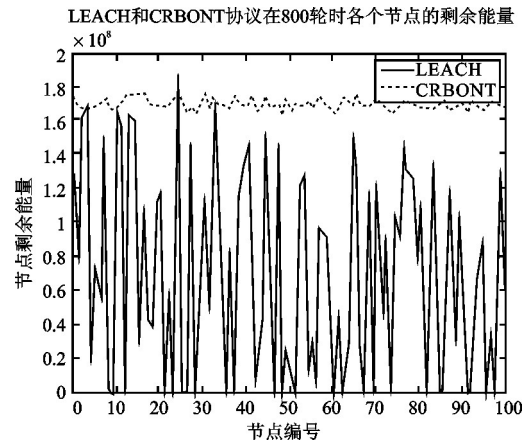


图 9 第 800 轮时两种算法节点剩余能量的对比

簇头的产生有一定的随机性,经过多次仿真运行,取发生概率较大的情况,可以大致参照图 10 中,图中圆圈表示当前轮簇头节点的分布图.对比图 1 和图 10 可知,根据概率,在大部分轮数内 CRBONT 算法的簇头分布更加合理、均衡,更有利于网络寿命的增长.

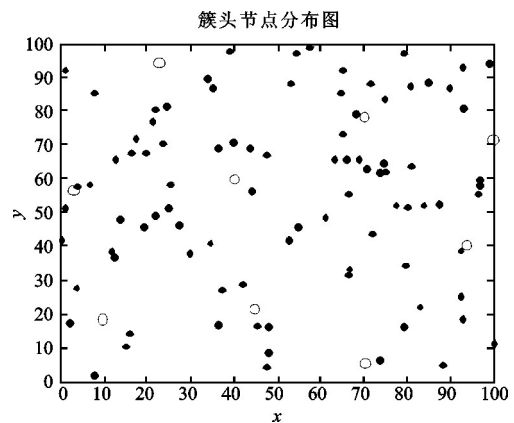


图 10 CRBONT 算法的簇头节点分布图

4.5 广播半径对 CRBONT 协议网络寿命的影响

不同的广播半径,会影响到簇头节点的分布及个数,会很大程度的影响网络的寿命.研究表明,当簇头节点数为总节点数的 3%~6% 时,网络的能量消耗最少,因此选择广播半径时,要考虑到簇头节点的个数.

由图 11 可知,广播半径 R 对网络寿命有着较大的影响,当 $R=50$ 时有着最大的寿命,半径增大或者减少都会逐渐的减少寿命.当半径 $R=20$ 时,第一个死亡节点到最后一个死亡节点的轮数相差变得较大,而当 $R=50$ 时,网络中节点几乎同时死亡.因此最佳的广播半径为 50 m.

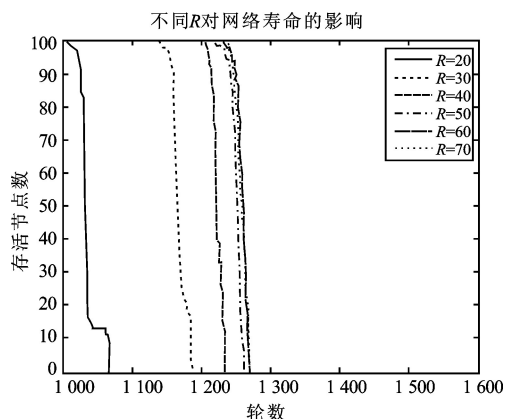


图 11 不同广播半径对网络寿命的影响

5 结束语

本文提出的基于动态邻居表的分簇路由协议(CRBONT),采用了 LEACH 协议的分簇和轮选思想,但却和 LEACH 协议有着本质的区别.算法的仿真证明了本算法在网络寿命,簇头分布,死亡节点分布,节点能量利用率等方面的优越性.

参考文献:

- [1] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient, communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proc of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [2] HuJunping, Jin Yuhui, Dou Liang. A time-based clusterhead selection algorithm for LEACH[J]. IEEE, 2008(8):1172-1176.
- [3] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient, communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf on System Sciences, Maui: IEEE, 2000: 3005-3014.
- [4] 徐劲松, 杨庚, 陈生青, 等. 基于全局信息的 LEACH 协议改进算法[J]. 南京邮电大学学报, 2009, 29(4): 55-63.
- [5] Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks [C]// MProceedings of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium. San Francisco: IEEE Computer Society, 2001: 2009-2015.

- [6] 石为人, 柏荡, 高鹏, 等. 无线传感器网络簇头半径自适应调节路由算法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(8): 1779-1785.
- [7] 龚本灿, 李腊元. 一种能量均衡的无线传感器网络分簇算法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(11): 3424-3426.
- [8] 刑云冰, 史浩山, 赵洪钢. 基于备用节点的无线传感器网络 LEACH 协议的改进[J]. 传感技术学报, 2007, 20(7): 1592-1596
- [9] 王燕, 张锐等. 基于三步簇头竞争机制的分簇算法研究[J]. 仪表技术与传感器. 2013: 90-93
- [10] 李岩, 李彦中. 基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(5): 1103-1105
- [11] 俞黎阳. 无线传感器网络网格状分簇路由协议和数据融合算法的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [12] 顾相平, 孙彦景. 一种改进的无线传感器网络分簇路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(3): 34-37
- [13] 殷新春, 徐力杰. WSN 中一种基于数据融合的能量高效分簇路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(9): 116-119
- [14] 陈志奎, 倪晶晶, 姜国海. WSN 中一种基于剩余能量级别的负载均衡路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(12): 82-86
- [15] Heinzelman W, Chandrakasan A, BALAKRISAN H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Trans on Wireless Networking, 2002, 1(4): 660-670.

作者简介:



朱海平 男, (1975-), 博士. 研究方向为物联网、无线传感器网络、制造执行系统.



冷云锋 男, (1990-), 硕士. 研究方向为物联网、无线传感器网络、嵌入式研究.