

一种改进的 LEACH 模型及其仿真分析

孙鹏飞, 王小明, 刘 丁

(陕西师范大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710062)

摘 要:为了最大限度地延长无线传感器网络生命周期,对无线传感器网络传统路由算法低功耗自适应聚类 LEACH 进行改进,改进后的算法命名为 LEACH-EC。在广播阶段选取簇头节点时引入高概率选取机制,根据节点的剩余能量和节点的集中度选取簇头节点,选取的簇头节点兼顾了节点剩余能量和节点分布状况。实验结果表明,LEACH-EC 算法选取的簇头节点性能较优,能有效地减少簇内节点传输能量消耗。因此,LEACH-EC 算法能够均衡无线传感器网络能耗负载,延长无线传感器网络生命周期。

关键词:无线传感器网络;低功耗路由;剩余能量;节点集中度;簇头选取

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)05-0105-04

An Improved LEACH Model and Simulation Analysis

SUN Peng-fei, WANG Xiao-ming, LIU Ding

(College of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract:To prolong the network lifetime effectively, the traditional low energy adaptive clustering hierarchy algorithm can be improved in WSN, improved algorithm named LEACH-EC. A high-probability selecting mechanism is introduced to select the clustering head node at broadcasting phase. This new algorithm for wireless sensor network main difference from traditional LEACH is that the LEACH-EC considers the node's remaining energy and the node's location. Simulation results show that the LEACH-EC algorithm can reduce and balance the energy consumption of nodes, and prolong the network lifetime more effectively than the traditional LEACH.

Key words:WSNs; low energy routing; residual energy; node centrality; head selecting

0 引 言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是由一组传感器节点以自组织方式构成,其目的是协作感知、采集和处理网络覆盖地理区域中感知对象的信息,并对这些数据进行处理,最终将这些信息传送到需要的用户。WSNs有广阔的应用前景,目前已成为国内外学者研究热点之一^[1,2]。由于节点存在计算能力、存储能力和电池能量等自身的局限性,如何高效利用节点能量延长网络寿命仍然是无线传感器网络协议设计的重要目标。

路由协议是无线传感器网络的核心技术之一,解决的是数据传输问题。现有的路由协议按照是否利用地理信息分为两类,一类是基于非地理信息的路由协议(如Flooding、Gossiping^[2]);另一类是基于地理信息

的路由协议(如SPEED^[3]、GPSR^[4]算法等)。

Flooding和Gossiping协议简单易于实现,健壮性好,资源浪费和盲目使用是这类协议的主要缺点。地理路由协议使用地理位置信息作为其它路由算法的辅助,降低了网络开销,缺点是节点的成本和能量消耗比较大。

低功耗自适应聚类^[5,6](Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)是一种基于分簇的能量有效路由协议,该协议思想是以循环的方式随机选择簇首节点,将整个网络的能量负载平均分配到每个传感器节点,从而达到降低网络能源消耗、提高网络生存时间的目的。但是该算法中簇头节点随机选取,未考虑簇头节点的剩余能量和节点位置,容易导致单个节点较早死亡。

文中提出了改进的LEACH-EC算法,LEACH-EC算法在选取簇头节点时,倾向于选择剩余能量多的节点作为簇头节点,并根据节点地理位置计算节点集中度,使得所选取的簇头节点位于分布密集区域,减少簇内节点与簇头节点通信距离,降低节点能量消耗,从而达到延长无线传感器网络寿命的目的。

收稿日期:2011-10-28;修回日期:2012-02-02

基金项目:国家自然科学基金(60773224, 60970054);教育部科学技术研究重点项目(107106);教育部留学回国人员科研启动基金

作者简介:孙鹏飞(1986-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;王小明,教授,博士生导师,研究方向为无线传感器网络、访问控制等。

1 LEACH 算法描述

LEACH 分为^[7-9]启动阶段和稳定阶段。在启动阶段,簇头节点随机产生,每个传感器节点选择 0~1 之间的一个值,如果选定的值小于某一个阈值 $T(n)$,那么这个节点成为簇头节点,阈值 $T(n)$ 由公式(1)给定。选定簇头节点后告知整个网络,网络中的其它节点根据接收信号强度决定从属的簇,并通知相应的簇头节点,完成簇的建立。最后,簇头节点采用 TDMA 方法为簇中每个节点分配向其传送数据的时间片。

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

公式(1)中, p 为节点被选取为簇头节点的概率, r 为已完成的回合数, G 为前 $r-1$ 个轮回里未被选取为簇头节点的集合。

在稳定的数据通信阶段,簇内节点将采集的数据传输到簇头节点,簇头节点对簇中所有节点所采集的数据进行信息融合后再传送给基站。但是簇头节点消耗了较多的能量,为了避免簇头节点过早死亡,需要定期更换簇头节点。

LEACH 算法原理图见图 1。

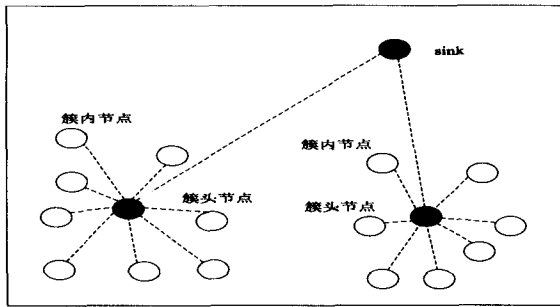


图 1 LEACH 算法原理图

LEACH 算法具有很多优点,比如数据可进行融合处理,分层的簇型结构更加降低能量消耗,因此在能耗方面性能较好;但 LEACH 仍有不足之处,如在启动阶段选取簇头时,未考虑节点的剩余能量,剩余能量少的节点应多休眠,剩余能量多的节点应多活动,以较大的概率当选为簇头节点,如果能考虑到上述的因素,则可以有效地均衡网络能耗负载,延长网络寿命。另外,传感器节点分布不均匀,选取的簇头可能分布在区域边缘,簇内节点与簇头节点通信距离较远,消耗能量较多,缩短了网络寿命。因此,针对 LEACH 算法的缺陷和不足,文中提出了改进的 LEACH-EC 算法。

2 改进的 LEACH 算法

2.1 网络模型

将无线传感器网络抽象为一个图 $G = (N, E)$, $N =$

$\{N_1, \dots, N_n\}$ 表示节点集, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 表示边集, $P(x_i, y_j)$ 表示节点的物理坐标, R 为节点的通信半径,网络的大小为 $L \times S$,如果节点 N_i 与节点 N_j 的欧氏距离小于等于通信半径 R ,则节点 N_i 与 N_j 互为邻居节点。设节点总是有数据发送给 Sink,互为邻居的节点具有相关冗余数据,基站和节点的位置固定不变。

2.2 簇头选取

簇的启动阶段,为了使得网络中节点负载均衡,在簇头选取时将考虑节点的剩余能量,将节点的剩余能量与初始能量的比值引入到阈值 $T(n)$ 的计算公式中,节点的剩余能量与初始能量的比值计算公式如下:

$$q = \frac{E_{\text{residual}}}{E_{\text{initial}}} \quad (2)$$

公式(2)中, E_{residual} 为节点的剩余能量, E_{initial} 为节点的初始能量。

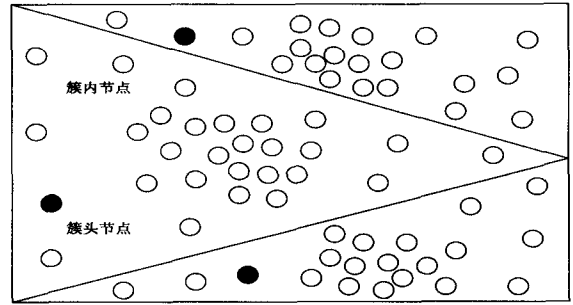


图 2 节点随机分布图

图 2 中簇头节点随机选取,大量簇内节点与簇头节点通信距离较远,根据信道模型^[10-12],传感器节点发送 k bit 消息 d 距离时消耗的能量 $E_{TX}(k, d)$ 是:

$$E_{TX}(k, d) = E_{TXelec}(k) + E_{TXamp}(k, d) = \begin{cases} k E_{elec} + k \epsilon_f d^2, & d < d_0 \\ k E_{elec} + k \epsilon_{amp} d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (3)$$

接收 k bit 消息消耗的能量 $E_{RX}(k)$ 是:

$$E_{RX}(k) = E_{RXelec}(k) = k E_{elec} \quad (4)$$

由公式(3), (4)得出,随着传输距离的增加 ($E_{TXamp} \propto d^2$ 或者 $E_{TXamp} \propto d^4$),传输所消耗的能量也将大大增加,因而增加了网络整体能量消耗,缩短了网络的寿命。

为了选出较优的簇头节点,引入节点集中度的概念。假定无线传感器网络中的任意一节点 N 的通信半径为 R ,该节点有 n 个邻居节点,且每个邻居节点与该节点 N 的距离记为 d_j ,则节点 N 的集中度为

$$c = \sum_{j=1}^n \frac{R}{d_j} \quad (5)$$

选取簇头时可以将节点的集中度考虑进去,从而选出周围节点分布较密、邻居节点较多的簇头节点。公式(5)中, d_j 越小意味着与邻居节点距离越近, n 越大意味着该节点有着更多的邻居节点,周围传感器节

点分布较为密集。 d_j 值越小, n 越大, 则该节点集中度 c 的值将会越大。

根据这一思想, 对公式(1)改进, 改进后的阈值 $T(n)$ 公式如下:

$$T(n) = \frac{p}{1 - p \left[r \bmod \left(\frac{1}{p} \right) \right]} \cdot (w_1 * q + w_2 * (1 - \frac{1}{c})) \quad (6)$$

其中: $0 \leq w_1 \leq 1$, $0 \leq w_2 \leq 1$, 且 $w_1 + w_2 = 1$

由公式(6)得出, 节点剩余能量多、集中度大的节点相应的 $T(n)$ 也会较大, 将以高概率选取为簇头节点。随着轮数的增加, 分布较密区域的节点的剩余能量逐渐降低, $T(n)$ 的值也会慢慢变小, 而分布稀疏区域中的节点由于前期未当选为簇头节点, 所以剩余能量较多, 从而其 $T(n)$ 的值将会慢慢变大, 也会以高概率当选为簇头节点。 $T(n)$ 的值由节点的剩余能量和节点的集中度共同影响。

LEACH-EC 算法伪码描述如下:

算法: 低功耗自适应聚类算法改进模型 LEACH-EC

输入: 节点的初始能量以及 Sink 的位置坐标

输出: 每轮网络总剩余能量、存活节点个数

算法步骤:

Begin

1: For $j=1$ to $\text{nodenums}-1$

2: 根据公式(2), (5)计算节点的 q_j 和 C_j ;

End for

3: For $j=1$ to $\text{nodenums}-1$

4: if ($\text{rand}() < Tn * (w_1 * q_j + w_2 * (1 - 1/C_j))$) //

随机数小于阈值

5: 标记 j 为簇头节点;

End if

End For

6: For $i=1$ to $\text{nodenums}-1$ //加入簇头节点

7: For $j=1$ to $\text{nodenums}-1$

8: if ($j = \text{head}$) //节点是簇头

9: 计算 i, j 之间的距离 $d_{i,j}$

10: $\text{dist} = d_{i,j}$

11: if ($d_i < \text{dist}$)

标记节点 i 属于簇首 j

End if

End if

End For

End For

12: For $j=1$ to $\text{nodenums}-1$

if ($j = \text{live}$)

$E_{\text{residual}} = E_{\text{initial}} - E_{\text{TX}}(k, d)$

End if

End For

13 一旦满足 $\text{live_num} > 0$, 则执行步骤 1 ~ 13

14: Output round_num ; res_energy ; live_num

End

3 仿真实验及性能分析

3.1 仿真参数设置

文中采用 C++ 语言编写实验仿真环境, 节点不均匀分布在相同网络拓扑下分别运行 LEACH 算法和 LEACH-EC 算法, 结束后取 50 次实验数据平均值做统计分析。将改进后的 LEACH-EC 算法与 LEACH 算法在网络平均寿命、网络存活节点个数、网络能量标准方差做了比较, 实验相关参数设置如表 1 所示:

表 1 WSNs 仿真参数设置

参数	数值
网络大小	200 * 200m ²
Sink 位置	(150, 200)
节点总数 N	500 ~ 1000 个
节点初始能量	0.5J
数据包大小	3800bit
ϵ_{amp}	0.0013nj/bit/m ⁴
E_{DA}	5Nj/bit/signal
E_{elec}	50nJ/bit
ϵ_{fs}	10pJ/bit/m ²

3.2 仿真结果分析

文中定义网络寿命为网络运行开始至一半节点能量耗尽时所经历的轮数。实验中用网络所经历的轮数来间接衡量网络寿命。网络寿命是衡量无线传感器网络性能优劣的重要因素。图 3 表明 LEACH-EC 算法网络寿命高于 LEACH 算法; 同时图 3 也说明网络平均寿命随着节点个数的增多而递减, 主要原因是节点密度增加导致簇内成员增多, 簇头节点转发数据消耗能量较快。

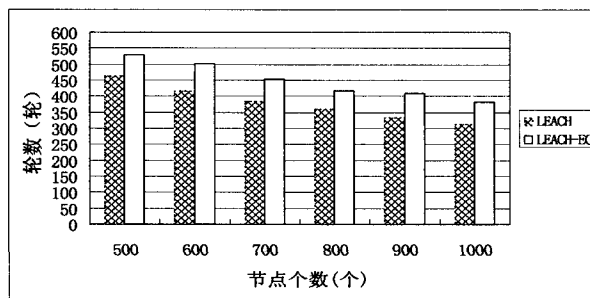


图 3 网络平均寿命

图4为网络运行开始后, LEACH-EC算法与LEACH算法在相同网络拓扑下每轮运行结束后网络中存活节点个数的比较。由图中可以看出,随着轮数的递增,网络中存活节点个数是逐渐递减的。这是因为网络经历了一定的轮数后,必然会出现节点能量耗尽从而死亡的现象,同时图4表明,在网络节点相同的情况下, LEACH-EC算法每轮运行结束后网络中存活节点个数高于LEACH,这是因为LEACH-EC相比LEACH而言选取出来的簇头节点较优,不易导致单个节点能量较早耗尽,减少了网络节点能量消耗,使得节点的存活时间延长。

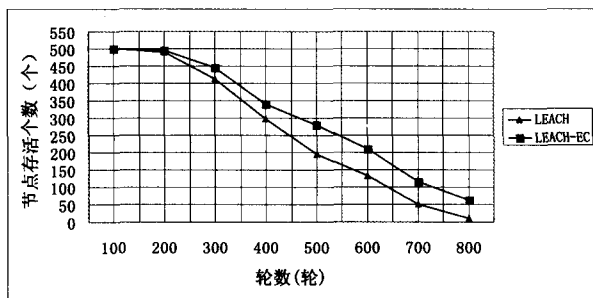


图4 网络存活节点个数

实验采用标准方差刻画网络能量消耗的平均程度,标准方差越小,网络能量消耗越均衡。根据标准方差公式

$$\bar{E} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (e_i - \bar{E})^2} \quad (7)$$

节点 n_i 的剩余能量可表示为 e_i , N 表示网络中传感器节点的总个数, \bar{E} 表示传感器节点总能量的平均值由公式可得

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^N e_i}{N} \quad (8)$$

图5表示在不同的网络拓扑下网络寿命终结后LEACH-EC算法和LEACH算法的标准方差,实验表明在不同的网络拓扑下LEACH-EC算法能量均衡性较LEACH算法都有明显的改进。

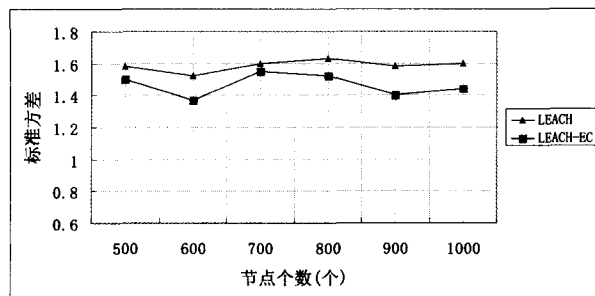


图5 网络标准方差

4 结束语

文中在低功耗自适应聚类(LEACH)算法的基础上提出了一种改进的算法模型LEACH-EC,通过引入节点的剩余能量和节点的集中度,降低了节点能量消耗,均衡了网络能耗负载,有效地延长了网络寿命。LEACH-EC算法与LEACH算法实验仿真比较表明,LEACH-EC算法在网络平均寿命、网络均衡负载等性能指标获得了较优的结果。

参考文献:

- [1] 孙利民,陈建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003,14(7):1282-1291.
- [3] Busnel Y, Bertier M, Fleury E, et al. Gcp: Gossip-based code propagation for large-scale mobile wireless sensor networks [R]. INRIA, Rennes, France; [s. n.], 2007.
- [4] 谢志恒,张向利,朱冲. 无线传感器网络GPSR协议的一种改进策略[J]. 计算机工程与应用, 2009,45(35):111-114.
- [5] Zhang Haibo, Shen Hong. EEGR: Energy-efficient Geographic Routing in Wireless Sensor Networks [C]//IEEE International Conf. on Parallel Processing. Xi'an, China; [s. n.], 2007:1-8.
- [6] Thein M C M, Thein T. An Energy Efficient Cluster-head Selection for Wireless Sensor Networks [C]//International Conference on Intelligent Systems, Modeling and Simulation. [s. l.]; [s. n.], 2010:287-291.
- [7] Zytoun O, Fakhri Y. A Balanced Cost Cluster-heads Selection Algorithm for Wireless Sensor Networks [J]. International Journal of Computer Science, 2009,4(1):21-24.
- [8] 熊昊翔,李峰,李平. 基于节能的无线传感器网络LEACH协议改进[J]. 计算机技术与发展, 2007,17(11):237-240.
- [9] 李雅卿,李腊元. WSN中LEACH路由协议的改进及其仿真[J]. 计算机工程, 2009,35(10):104-107.
- [10] Akhtarkavan E, Shalmani M T. Energy Adaptive Cluster-head Selection for Wireless Sensor Networks Using Center of Energy Mass [C]//Proc of 13th International CSI Computer Conference. Kish Island, Iran; [s. n.], 2008:130-137.
- [11] 吴征,朱军,韩永远. 一种新的基于LEACH的WSN分簇协议[J]. 计算机技术与发展, 2010,20(5):29-33.
- [12] Pal S, Bhattacharyya D. Energy Efficient, Chain Based Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks [M]//Security-enriched Urban Computing and Smart Grid. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 2010:472-481.