

多级异构传感器网络距离和能量有效分簇算法^{*}

吴保强, 张 霓^{*}, 邹 涛, 何熊熊
(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 分簇路由算法是无线传感器网络降低能耗的一种关键技术。由于多级能量异构无线传感器网络的节点初始能量在一定范围内随机分布, 为了能有效利用节点能量的异构性以降低能耗、延长网络稳定周期, 提出了同时考虑节点剩余能量和节点至基站距离的多级能量异构无线传感器网络的分布式分簇算法 CDEE。该算法使剩余能量较高、距离基站较近的节点成为簇首的机会更大。仿真结果表明, CDEE 算法可以有效降低并平衡网络能量消耗, 延长网络稳定周期。

关键词: 分簇算法; 异构无线传感器网络; 剩余能量; CDEE

中图分类号: TH7; TP919. 72

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)07-0057-04

Clustering algorithm based on distance and energy-efficient for multilevel heterogeneous wireless sensor networks

WU Bao-qiang, ZHANG Ni, ZOU Tao, HE Xiong-xiong

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Clustering algorithm is a kind of key technique used to reduce energy consumption in wireless sensor networks. The wireless sensor networks were called multilevel energy heterogeneous if the initial energy of nodes was randomly distributed in a certain range. To reduce the energy consumption and prolonging the network stability period by concerning the energy heterogeneity, a new distributed clustering scheme clustering algorithm based on distance and energy-efficient (CDEE) was proposed. The nodes, which had the higher residual energy and the closer distance to sink, had the more chances to become the cluster-heads. The simulation results show that CDEE can not only reduce and balance the energy consumption, but also increase the stability period of the network.

Key words: clustering algorithm; heterogeneous wireless sensor networks; residual energy; clustering algorithm based on distance and energy-efficient (CDEE)

0 引 言

无线传感器网络^[1]是一种新的信息获取和处理模式, 如何降低能耗、最大化网络生命周期是无线传感器网络研究的重点之一。无线传感器网络可分为同构网和异构网: 同构网中所有传感器节点的初始能量和硬件都相同, 而异构网则由多种不同类型的传感器节点构成。当前有关无线传感器网络路由的研究多考虑同构网, 但在实际中, 同构网极少存在, 因为即使传感

器节点硬件同构, 其初始能量、能量消耗率等性能也不相同^[2], 因此异构网的研究开始得到广泛关注。

现有的同构网路由算法如 LEACH^[3] 和 PEGASIS^[4] 等, 由于没有考虑节点的异构性, 不能使异构网能量消耗达到最优, 因此有必要针对异构网的特点设计新的路由算法。文献[2]把监测区域划分为一些区域, 每个区域选择一个簇首, 这种簇首选择方法不能够获得整个网络的最优簇首选择, 只能获得局部最优。这就意味着算法中的能量均衡消耗是以降低能量有效

收稿日期: 2009-12-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(009AA04Z138); 国家自然科学基金资助项目(60604017)

作者简介: 吴保强(1984-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事无线传感器网络方面的研究。E-mail: wubaoqiang315@163.com

通信联系人: 张 霓, 女, 副教授, 硕士生导师。E-mail: zn@zjut.edu.cn

为代价的。文献[5]提出了一个包含高级节点和普通节点的二级异构网络模型,对于不同类型的节点,给出不同的加权概率,使具有较多能量的高级节点比普通节点成为簇首的机会更多,从而有效延长了网络的稳定周期。文献[6]将二级异构网络扩展为多级,提出一个分布式能量有效分簇算法 DEEC (Distributed Energy-Efficient Clustering Algorithm),在加权概率中考虑平均能量和节点剩余能量。在簇首选举过程中,文献[5-6]只考虑了节点剩余能量,没有考虑距离因素。通过分析能耗模型可知,能耗与距离也有很大关系,在簇首选举中考虑距离因素,将会有效均衡并减少能量消耗,延长网络生存时间。文献[7]采用固定的簇划分,在选举簇首时将节点剩余能量与节点至所在簇质心间的距离结合起来考虑,使网络的生存时间比 LEACH 和基于 ECS (Equal Clustering Size) 结构的分簇算法有了很大的提高,但稳定周期却比 LEACH 算法短。文献[8]在簇首选举中考虑了剩余能量和节点到基站的距离,但每个节点都需要计算每一轮的平均剩余能量,实现较难,并会增加网络能耗。

本研究提出一种适合多级能量异构无线传感器网络的分布式分簇算法 CDEE,该算法采用动态的簇划分,在簇首选举时,同时考虑节点剩余能量和节点到基站的距离,剩余能量越多且距离基站越近的节点成为簇首的概率越大;该算法采用估计的方法得到每个节点当前轮的平均剩余能量,在不影响性能的前提下可有效降低能耗。

1 CDEE 算法

1.1 基本假设

假定 N 个传感器节点均匀散布在一个 $M \times M$ 的正方形区域内,节点总有数据传回到基站,假设基站远离监测区域中心,且所有节点到基站的距离大于 d_0 (其中 $d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}}$, ε_{fs} 和 ε_{mp} 的值取决于所用的传输放大器模型)。为了避免网络拓扑结构频繁改变,假定节点是微移动或者静止不动的。节点的初始能量在 $[E_0, (1 + \alpha)E_0]$ 间随机分布 (其中 E_0 为能量下界, $(1 + \alpha)E_0$ 为节点的能量上限, α 是比 E_0 多出的能量倍数)。

1.2 簇首的选择

网络总能耗 E_{tot} 为^[9]:

$$E_{tot} = L(2NE_{elec} + NE_{DA} + k\varepsilon_{mp}d_{toBS}^4 + N\varepsilon_{fs}d_{toCH}^2) \quad (1)$$

式中 L —簇首节点在该轮中传输的数据位数; E_{elec} —

传输器或接收器电路传输每一位 (bit) 数据所消耗的能量; E_{DA} —簇首执行融合的代价; N —网络中节点个数; k —簇头数; d_{toBS} —簇首到基站的平均距离; d_{toCH} —节点到簇首的平均距离; ε_{mp} 、 ε_{fs} 如前所述。

由式(1)可知,网络总能耗主要受 d_{toBS} 和 d_{toCH} 影响。为了降低网络总能耗,在选择簇首时应选择 d_{toBS} 小的节点成为簇首节点。因此,在簇首选择机制中引入距离因子 ε ,在节点剩余能量相差不大的情况下,使距基站较近的节点成为簇首的概率更大,从而节省由通信距离产生的能耗,使网络能耗更加均衡。

在簇首选择过程中,每个节点 s_i ($i = 1, 2, \dots, N$) 都产生一个 $(0 \sim 1)$ 之间的随机数,如果产生的随机数小于阈值,则当选为簇首,反之为非簇首节点。这里,阈值 $T'(s_i)$ 设计为:

$$T'(s_i) = \begin{cases} T(s_i) \times \varepsilon & \forall s_i \in G \\ 0 & \forall s_i \notin G \end{cases} \quad (2)$$

其中:

$$T(s_i) = \frac{p_i}{1 - p_i \left(r \bmod \frac{1}{p_i} \right)} \quad (\forall s_i \in G) \quad (3)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{d(s_i)}{d_{\max}} \quad (4)$$

式中 G —前 $1/p_i$ 轮中没有当选为簇首的节点的集合; $d(s_i)$ —节点 s_i 到基站的距离; $d_{\max}$ —节点到基站的最远距离, $d_{\max} = \max \{ d(s_i) \}$; p_i —节点平均概率; r —当前轮数。

这里采用文献[5]的方法将节点的剩余能量引入到节点平均概率 p_i 中,即:

$$p_i = \frac{pN(1 + \alpha_i)E_i(r)}{(N + \sum_{i=1}^N \alpha_i)\bar{E}(r)} \quad (5)$$

式中 p —簇首最优比例; N —网络节点个数; $E_i(r)$ —节点 s_i 第 r 轮的剩余能量; $\bar{E}(r)$ —第 r 轮时网络节点平均剩余能量。

从式(2)~式(5)可看出节点的剩余能量越多、离基站越近,则阈值 $T'(s_i)$ 越大,节点在 $[0, 1]$ 产生的随机数小于 $T'(s_i)$ 的概率也越大,成为簇首的机会也就越多。

公式(4)中,由于 $d(s_i) \leq d_{\max}$, 因此 $\varepsilon < 1$, 从而 $T'(s_i) < T(s_i)$ 。这样在经历一定的轮数后,对于那些距离基站很远的节点来说,虽然剩余能量还足以充当簇首和基站进行通信,但是由于 $\varepsilon \ll 1$, 使得 $T'(s_i) \ll T(s_i)$, 这些节点很难成为簇首。在这种情况下,网络节点的能量不能被均衡地消耗,整个网络会过早失效。

针对这一问题,本研究对式(2)作如下改进:

$$T''(s_i) = T'(s_i) \times \frac{1}{[\varepsilon + (r'_s / \text{round}(1/p)) \times (1 - \varepsilon)]}$$

(6)

式中 p —簇首最优比例; r'_s —可调参数; $T'(s_i)$ 和 ε 如式(2)。

当经过连续的 $r_s = \text{round}(1/p)$ 轮后,如果节点 s_i 一直没有成为簇首,并且其第 r 轮的剩余能量 $E_i(r) > \bar{E}(r)$ 时,令可调参数 $r'_s = 0$,使阈值变为 $T(s_i)$ 。这样,由于阈值被提高,该节点成为簇首的机会增加。当该节点成为簇首之后,令 $r_s = 0, r'_s = \text{round}(1/p)$ 。

1.3 网络节点平均剩余能量的估计

式(5)和式(6)都要用到网络节点平均剩余能量 $\bar{E}(r)$,而 $\bar{E}(r)$ 的实时监测和计算会耗费大量能量。由于 $\bar{E}(r)$ 仅用来作为每个节点剩余能量的参考值,因此采用估计方式得到 $\bar{E}(r)$ 的值不会影响算法的性能。这里在文献[10]的基础上对 $\bar{E}(r)$ 的估计方法作如下改进:

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} E_{\text{total}}(r) = \frac{1}{N} (E_{n0} - (1 + \gamma) \cdot r E_{\text{round}}) \quad (7)$$

式中 $E_{\text{total}}(r)$ —第 r 轮网络剩余总能量; E_{n0} —网络总的初始能量; E_{round} —第 r 轮消耗的总能量。

为了使所有节点几乎同时死亡,假设理想情况下,网络每一轮所消耗的能量 E_{round} 相同。由于网络能量分布不均匀会导致网络节点不在同一时间耗尽能量,因此增加调整系数 γ 以便对估算出的生存期进行调整。

1.4 簇的形成

节点当选为簇首后,发布“加入簇”消息告知其他节点自己是簇首。“加入簇”消息由簇首ID号、簇首的剩余能量和簇首至基站的距离构成。非簇首节点根据接收到的信号的强度,选择信号强度最大的簇首作为自己的簇首,并发送“请求加入簇”消息通知簇首。然后簇首发送TDMA定时消息,并且通知该簇中所有节点,给每个簇成员分配时隙。节点只在自己的时隙内传送数据,其他时刻则进入休眠状态以减少能量消耗。当完成所有节点的时隙分配后,分簇过程结束,网络进入稳定工作阶段。

2 仿真结果与分析

本研究用Matlab对CDEE算法进行仿真,并选用同构网的LEACH算法和多级异构网的DEEC算法作对比。仿真系统由100个节点组成,节点随机分布在

$(x=0, y=0)$ 和 $(x=100, y=100)$ 的正方形区域内,基站位于 $(x=50, y=175)$,取 $\gamma=0.6$,其他试验参数如表1所示。

表1 试验参数

参数	参数值	参数	参数值
E_{elec}	50 nJ/bit	ε_{fs}	10 pJ/bit/m ²
E_{DA}	5 nJ/bit/message	ε_{mp}	0.001 3 pJ/bit/m ⁴
E_0	1 J	Message size	40 000 bits
p	0.1		

能量倍数 α 从0.5增加到5时网络的稳定周期如图1所示。由图1可知:

(1) CDEE的稳定周期比DEEC和LEACH的稳定周期都增加了很多,这是因为CDEE算法选择剩余能量多并且距离基站近的节点作为簇首,避免了低能量节点的过早死亡,延长了网络的稳定周期。

(2) 随着 α 的增加,LEACH的稳定周期变化不大,没有很好地利用由 α 增大所增加的能量,这说明LEACH不考虑节点能量差异的思想不适合异构网络;CDEE和DEEC的稳定周期却随着 α 的增大都有显著增加,这是因为两者都考虑了节点的能量差异,充分利用了异构网络增加的能量。

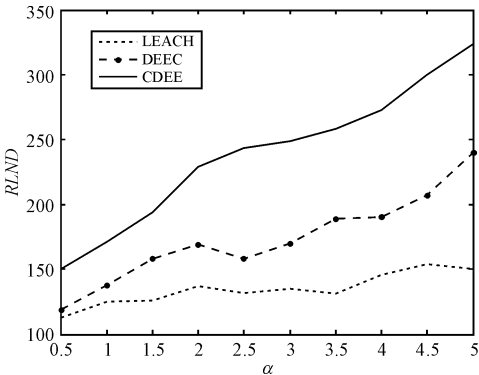


图1 不同 α 下LEACH、DEEC和CDEE的稳定周期

3种算法在每轮循环中的网络剩余能量如图2所示,从图中可以看出:CDEE算法的网络剩余能量比其他两种算法高,说明CDEE算法能有效降低能耗。

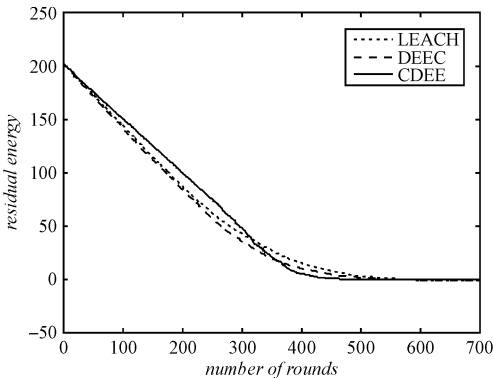


图2 LEACH、DEEC和CDEE的网络剩余能量

当 $\alpha=2$ 时,3 种算法生存节点数随时间的变化如图 3 所示,由图可知,CDEE 算法相对于 DEEC 和 LEACH 能更好地实现能量均衡。

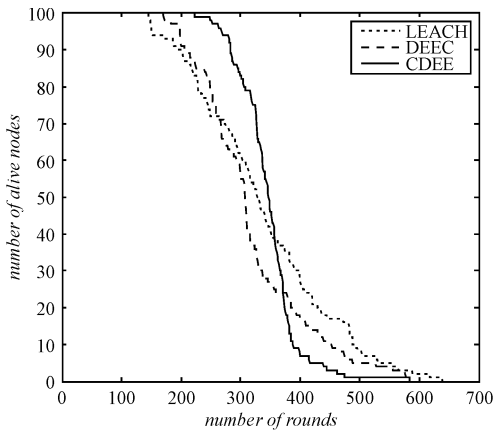


图 3 LEACH、DEEC 和 CDEE 的生存节点数随时间的变化

3 结束语

针对多级能量异构无线传感器网络,本研究给出了一种新的分簇算法 CDEE。该算法根据节点剩余能量和节点至基站的距离选择簇首,使具有较高剩余能量、距离基站较近的节点成为簇首的机会更多;同时对多轮中一直没有成为簇首的节点,采用提高阈值的办法,增大其成为簇首的概率。仿真结果表明 CDEE 算法不仅增加了网络稳定周期、降低了网络能耗,而且使整个网络的能量负载更加均衡。

参考文献 (References):

- [1] 夏南银. 航天测控系统[M]. 北京:国防工业出版社, 2002:1-22.

- [2] LI Xiao-ya, HUANG Dao-ping, SUN Zong-hai. A Routing Protocol for Balancing Energy Consumption in Heterogeneous Wireless Sensor Networks[C]//The 3rd International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks. Beijing: Springer Verlag, 2007:79-88.
- [3] DUARTE-MELO E J, LIU Ming-yan. Analysis of Energy Consumption and Lifetime of Heterogeneous Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of the GLOBECOM'02. New York: [s. n.], 2002:21-25.
- [4] LINDSEY S, RAGHAVENDA C S. PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems[C]//Proc of the IEEE Aerospace Conf. New York: IEEE Press, 2002: 1125-1130.
- [5] SMARAGDAKIS G, MATTA I, BESTAVROS A. SEP: A Stable Election Protocol for Clustered Heterogeneous Wireless Sensor Networks[C]. The Second International Workshop on SANPA, 2004.
- [6] 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.
- [7] 刘君,黄道平. 基于能量异构的无线传感器网络的分簇算法[J]. 计算机技术与自动化, 2006, 25(4): 35-37.
- [8] 王蕊,刘国枝,时映鹏. 异构无线传感器网络能量和距离有效分簇算法[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(4): 110-113.
- [9] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. **IEEE Trans. on Wireless Communications**, 2002, 1(4): 660-670.
- [10] 程伟,史浩山,唐浩漾. 一种基于能量估计的异构传感器网络分簇算法[J]. 传感技术学报, 2008, 21(11): 1913-1917.

[编辑:李辉]

(上接第 20 页)

参考文献 (References):

- [1] 唐文秀,吕南南. 移动基站温度控制节能系统研究[J]. 信息化纵横, 2009(5): 49-53.
- [2] 潘烨,王小波,彭昌武. 基于 STC89C58 数字温度计的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2009, 32(13): 109-112.
- [3] 李志强,黄顺,郭华新. 基于 SHT10 的数字温湿度计设计[J]. 广西轻工业, 2007, 23(11): 35-36.
- [4] Sensirion Company. SHT1x/SHT7x Datasheet[M]. Sensirion Company, 2007.
- [5] 徐敏,诸葛振荣,宋加仁. 基于 1-Wire 技术的数字温度计[J]. 机电工程, 2007, 24(4): 26-29.
- [6] PIERCE F J, ELLIOTT T V. Regional and on-farm wireless

sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington [J]. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2008, 61(1): 32-43.

- [7] RAPPAPORT T S. Wireless Communications Principles and Practice[M]. Upper Saddle Rivre (NJ): Prentice Hall Inc., 1996.
- [8] 张齐,黄锦燕. 移动基站远程集中监控系统的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2008, 24(6): 53-55.
- [9] KALDEN R, MEIRICK I, MEYER M. Wireless Internet access based on GPRS[J]. **IEEE Personal Communications**, 2000, 7(2): 8-18.
- [10] 李旭,马力. VB6 在 CSV 文件格式处理中的应用研究[J]. 信息技术, 2009(7): 26-31. [编辑:李辉]