

无线传感器网络中异步成簇算法的研究

杨永雷, 朱 军

(安徽大学 电子科学与技术学院, 安徽 合肥 230039)

摘 要:在无线传感器网络的一些成簇算法中,所有的簇头都要严格按照全局时间同步进行周期性的改选,即使传感数据较少的簇也要进行改选。因此,文中在 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)算法基础上提出了异步成簇算法,即在成簇之后不再按照全局同步进行簇头改选,而是根据各个簇内传感数据的多少实时地进行簇头改选。它可以节省传感数据较少的簇内节点进行改选所需要的能量,从而达到有效地延长了网络的生命周期的目的。结果表明,异步成簇算法比 LEACH 算法能更有效地利用节点上的能量资源。

关键词:无线传感器;成簇算法;异步;LEACH;能耗

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)02-0145-03

Research on Asynchronous Clustering Algorithm in Wireless Sensor Network

YANG Yong-lei, ZHU Jun

(School of Electronic Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: In some algorithms of wireless sensor network, all cluster heads are re-elected in strict accordance with global synchronization, even if some cluster heads sending few packets have to re-elected when the time of a round is over. Based on the LEACH algorithm, asynchronous clustering algorithm is proposed. The algorithm means that after the first time of clustering re-elections of cluster heads are not in accordance with global synchronization, but in accordance with the number of packets within the cluster for real-time. In this way, the algorithm can reduce the energy of cluster head re-electing for the cluster with few packets and so as to extend the life cycle of the network effectively. The result shows that our algorithm can make use of the energy in nodes effectively than LEACH.

Key words: wireless sensor; clustering algorithm; asynchronous; LEACH; energy cost

0 引 言

LEACH 算法是 Heinzelman 等人提出的第一个有簇思想的无线传感器网络成簇算法^[1]。随后的文献[2~8]中的成簇算法都是以 LEACH 算法为基础演化而来的。虽然 LEACH 算法能平衡各节点的能耗并确保每个节点都有机会成为簇头,但其簇头改选时开销过大,不利于能量节省的原则。

文中在分析 LEACH 算法及其相关算法的基础上,针对传感数据较少的簇内节点也要进行簇头改选的问题,提出了异步成簇算法。

1 相关工作

LEACH 算法的思想就是将无线传感器网络分成若干个簇,每个簇头可将本簇内的节点采集到的信息进行融合再传输,从而可节省节点能量^[7];另外整个网络周期性地对簇头进行同步改选,使每个节点都有成为簇头的机会,以平衡各个节点的能耗。其中每个节点成为簇头的概率服从式(1):

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})}, & n \in G \\ 0, & n \notin G \end{cases} \quad (1)$$

式中, p 是网络中簇头数目占总的节点数目的百分比; r 是当前选举簇头的轮数; G 是最近的 $1/p$ 轮不是簇头的节点集合。每轮开始时,各个节点产生一个随机数,如果该数大于节点的 $T(n)$ 时,则该节点成为簇头。成为簇头之后,该节点向 sink 和周围节点广播消息,周围节点根据自己与该簇头节点之间的关系自动加入离自己最近的簇。建立簇之后,进入簇稳定时

收稿日期:2009-06-25;修回日期:2009-09-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60772123);安徽大学人才队伍建设经费资助项目(02203105)

作者简介:杨永雷(1984-),男,安徽蚌埠人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络与通信信号处理;朱 军,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为光信号处理与光通信。

期^[1]。簇结构见图 1。

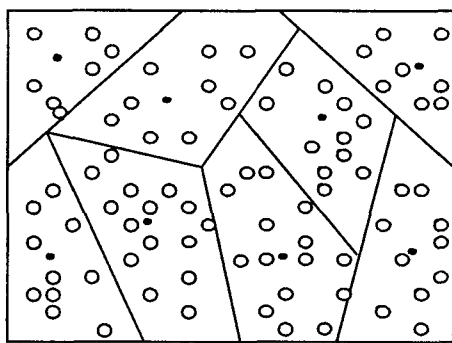


图 1 LEACH 分簇示例

图 1 中空心节点是簇头节点,实心节点是簇内成员节点。经过一个固定周期的簇稳定期之后,整个网络会按照严格的时间同步重复上述簇头选举过程。但在连续 $1/p$ 轮内,每个节点都有一次充当簇头的机会。可见,LEACH 算法采用随机选举的方法平衡了各节点的能耗,避免了簇头过分消耗能量,从而达到了提高网络生存时间的目的。后来的许多成簇算法都是在该成簇思想的基础上发展而来的。

文献[3]中的 HEED(Hybrid Energy Efficient Distributed clustering approach)算法思想是:在每轮的簇头选举时,各节点根据“剩余能量”和“簇内通信开销”两个参数通过若干次迭代计算出自己成为临时簇首的概率。它可以保证簇头是均匀分布的,而且剩余能量占初始能量的比重越大的节点成为簇头的可能性也越大。其缺点是:随着剩余能量的减少,该算法会导致簇的建立时间拉长和开销增大或是簇的均衡性变差。文献[4]中提到的成簇算法运用了簇的大小、节点之间的距离以及节点能量的多少三个参数,可根据系统的需要实时改变各参数的权值。簇头改选时,根据各节点计算出的通信开销选择开销最小的节点为簇头。其缺点是:开销计算比较复杂,对节点的运算能力要求较高。而文献[5]中的响应式分布分簇算法也运用了 3 个不同的代价函数:最近节点、最大节点度和最小节点度来选择簇头节点,以避免单个节点过早能量耗尽。其缺点是:随着网络规模的增加,其算法的收敛速度会减慢。文献[6]中的 EWC(energy efficient weight-clustering algorithm)算法则考虑了节点的剩余能量以及簇头、节点跟基站三者之间的相互距离和节点的层次水平(邻居节点数目越多层次水平越高)三个参数,再根据三者的权值,最后选择剩余能量多、离簇内成员近的节点为簇头。缺点是:性能不够理想,网络寿命基本没有得到优化。

上述几种成簇算法有一个共同的特征:所有簇头节点都需要在全局网络同步的条件下进行改选。在网

络中的所有簇头都进行改选的时候,有的簇传感的数据可能很少,即簇头消耗的能量很少,但为了平衡各节点的能量消耗,也要进行簇头改选,这样反而增加了能耗较小的簇的节点能耗。

2 异步成簇算法

所谓异步成簇算法是在各个簇建立之后,各簇不再按照网络全局同步进行下一轮的簇头改选,而是根据各个簇的特点进行独立的异步改选。如簇头节点可在接收一定数量的数据包之后将自身小能量与预先设定的阈值相比较,如果簇头节点的剩余能量小于该阈值,那么就进行簇头改选。这样,簇头改选之后,先前的簇头节点依然还预留一部分剩余能量供以后传感数据使用,从而不会使该节点因当选簇头期间急剧耗能而死亡,有利于延长网络的整体寿命。此时簇头改选的条件为:

$$E_{\text{Cluster}} < E_{\%} \quad (2)$$

式中, E_{Cluster} 表示簇头节点当前剩余的能量; $E_{\%}$ 是一个阈值,可设为初始能量的一定百分比。文中仿真时 $E_{\%}$ 取初始能量的 5%。本算法的流程图如图 2 所示。

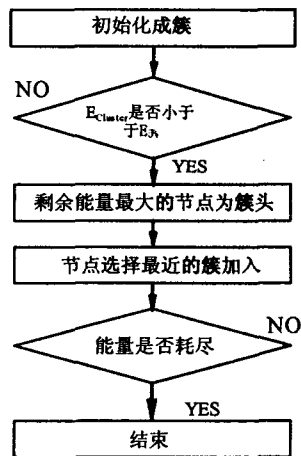


图 2 异步成簇算法流程图

首先,无线传感器网络按照 LEACH 算法初始化成簇。在簇结构稳定之后,簇内节点向簇头节点告知自己的状态,簇头为簇内各个节点安排传输时隙。

其次,当簇头接收和传递数据时,它的能量会有消耗。处理若干个数据包之后,将它的剩余能量 E_{Cluster} 与阈值 $E_{\%}$ 相比较,如果 $E_{\text{Cluster}} > E_{\%}$,继续维持簇的稳定,在等待处理之后的若干个数据包传来后再比较,反之则进行簇头改选。改选时,当前簇头节点向簇内各节点广播,簇内节点中上报各自的剩余能量,然后簇头节点选出剩余能量最大的节点为下一个簇头,其余节点可以选择新簇加入,如有更近的簇则选择距离自己最近的簇加入。其他簇的非簇头节点如果发现自己离新

簇比较近,那么加入该簇。
最后,当有节点能量耗尽时判定网络死亡。

3 仿真结果与分析

参考文献[9]的能耗模型,设 100 个节点随机分布在 $200\text{m} \times 200\text{m}$ 范围内, sink 节点在 (100, 100) 位置。其余参数见表 1。

其中, N 是节点的数目, E_{init} 是节点的初始能量, ξ_{amp} 和 ξ_{fs} 是放大器的两种能耗参数, PacLength 是数据包长度, CtrPacLength 是控制包长度, E_{per} 是节点接收或发送一位数据的能耗^[10]。仿真中,当第一次出现一个节点的能量为零时即判定网络死亡。

表 1 参数设置

Parameter	Acronym	Value
Number of node	N	100
Initial energy	E_{init}	0.5J
Amplifier constant	ξ_{amp}	0.0013pJ/bit/m^4
Amplifier constant	ξ_{fs}	10pJ/bit/m^2
Packet Length	PacLength	4000bit
Control Packet Length	CtrPacLength	100bit
Tx/Rx electronics constant	E_{per}	50nJ/bit
Threshold	$E_{\%}$	$E_{\text{init}} \times 0.5\%$

图 3 给出了阈值 $E_{\%}$ 占初始能量的比重与网络正常运行期间所能获的数据包数目之间的关系,由图可见, $E_{\%}$ 的初始值可设为 $E_{\text{init}} \times 0.5\%$, 因为此时的网络整体能获得最多的数据包约为 730000 (10 次取平均值)。

此仿真表明,使用异步成簇算法在出现第一个节点死亡时,网络能获取的数据包在 730000 以上 (10 次平均值),这时,其余节点的剩余能量如图 4 中实线所示。图 5 给出了 LEACH 算法中每轮簇内产生数据包数目 pac_round 和网络获取的数据包总数 pac_sum 之间的关系。

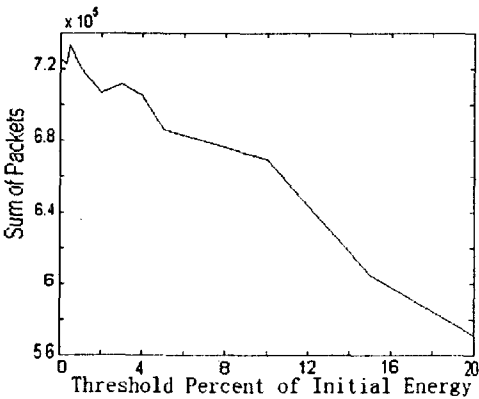


图 3 阈值对数据包总数的影响

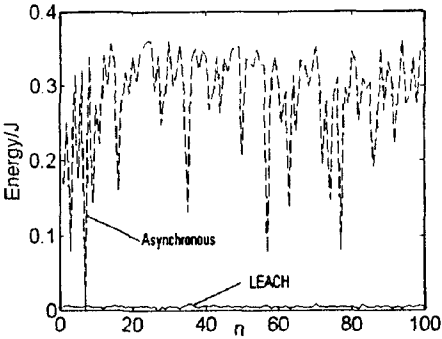


图 4 第一个节点死亡时节点的剩余能量

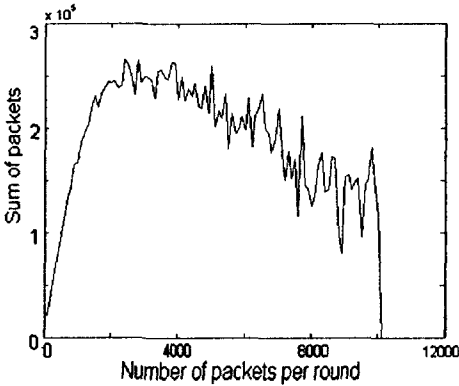


图 5 LEACH 算法的性能

由图 5 可见,当每轮簇内产生数据包数目 pac_round 等于 2400 的时候,此时 LEACH 算法的寿命大概为 110 轮,网络获取的数据包总数 pac_sum 达到最大值,约为 264500。这个值远小于异步成簇算法中的 730000。网络死亡时,各节点的剩余能量如图 4 中虚线所示。

对比图 4 中虚线和实线的数值大小可以发现:使用 LEACH 算法,在网络中出现第一个死亡节点的时候,其余节点的剩余能量仍然很多,平均能量约占初始能量的 33%;而使用异步成簇算法时,网络死亡时,平均剩余能量约占初始能量的 2%,这远低于 LEACH 算法的 33% 水平。

因此,异步成簇算法利用减少网络中不必要的簇头改选的方法,能够节省大量的不必要的能量开销;利用为当前簇头节点预留了一部分备用能量,可以延长当前簇头节点的死亡时间,能够避免簇头节点因为传输、侦听和融合大量数据而导致的节点过早死亡。即异步成簇算法能更有效地利用能量资源,延长网络的整体寿命。

4 结束语

分析结果表明:各簇簇头节点进行异步改选,能够避免簇内仅产生少量数据包时就进行簇头改选所造成

(下转第 151 页)

究中的模型和基础理论尚处于雏形阶段,现有的水印算法和对水印系统的评价方法大多是经验性的,未来需要继续修改和完善水印系统的基本理论。

(2)算法分析及新算法。重点研究现有数字水印技术算法的稳健性、安全性和抗攻击性,并融合数字信号处理技术,找出它们之间的关系,从而发现更好的算法。

(3)与密码学结合。在有关版权的应用中,数字水印技术必须与像密码之类的其他机制相结合,尤其是与数字签名技术结合,才能构造综合的数据安全系统,才能提供可靠的保护。

(4)对水印攻击的研究。水印攻击与水印算法是矛盾关系,二者相互制约又相互促进,只有能够经受住各种攻击的算法才是最鲁棒的算法,加强对水印攻击的研究可以极大地促进水印技术的发展。

参考文献:

- [1] 张冠男,王树勋,温 泉.一种嵌入可读水印的自适应盲水印算法[J].电子学报,2005,33(2):308-312.
- [2] 钮心忻,杨义先,吴志军.信息隐藏理论与关键技术研究[J].电信科学,2004,20(12):28-30.
- [3] 蒋建国,宣 曼,齐美彬.数字水印技术的研究现状及进展

[J].计算机应用,2006,26(12):60-62.

- [4] 温 泉,孙锐峰,王树勋.零水印的概念与应用[J].电子学报,2003,31(2):214-216.
- [5] 谢荣生.盲检测图像数字水印技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2002:75-78.
- [6] 费伦科,丁振凡.数字水印技术的研究[J].华东交通大学学报,2006,23(1):78-81.
- [7] Cox I J, Kilian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12):1673-1687.
- [8] Voyatzis G, Pitas I. Digital image watermarking using mixing systems[J]. Computer & Graphics, 1998, 22(4):405-416.
- [9] Kutter M, Jordan F, Bossen F. Digital signature of color images using amplitude modulation[C]//Proc. of SPIE:EI'97. [s. l.]:[s. n.], 1997:518-526.
- [10] Podilchuk C I, Zeng W. Image-adaptive watermarking using Visual models[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4):525-539.
- [11] Barni M, Bartolini F, Piva A. Improved wavelet based watermarking through pixel-wise masking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5):783-791.
- [12] Huang J W, Yun Q S, Shi Y. Embedding Image Watermarks in DC Components[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000(10):974-979.

(上接第147页)

的能量耗费,可以更加有效地利用各个节点的能量。该算法在无线传感器网络中具有一定的应用价值。后续的研究可以进一步考虑簇内节点的数目以及各簇头的分布均衡以及改选簇头时如何进行数据传递的问题。

参考文献:

- [1] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication Protocol for wireless microsensor networks[C]//System Sciences. 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference. Hawaii: [s. n.], 2000.
- [2] Bandyopadhyay S, Coyle E J. An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks[C]//INFOCOM 2003. Twenty Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [s. l.]: IEEE, 2003:1713-1723.
- [3] Younis O, Fahmy S. HEED: a hybrid, Energy-Efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks[J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2004, 3(4):366-379.
- [4] Moussaoui O, Ksentini A, Naini M, et al. A novel clustering

algorithm for efficient energy saving in Wireless Sensor Networks[C]//7th International Symposium on Computer Networks (ISCN'06). Istanbul, Turkey: [s. n.], 2006:66-72.

- [5] 胡 静,沈连丰,宋铁成,等.新的无线传感器网络分簇算法[J].通信学报,2008,29(7):20-26.
- [6] Cheng Lu, Qian Depei, Wu Weiguo. An Energy Efficient Weight-clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of 2008 Japan-China Joint Workshop on Frontier of Computer Science and Technology (FCST'08). [s. l.]: IEEE Computer Society, 2008:30-35.
- [7] Bouhafs F, Merabti M, Mokhtar H. A Semantic Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks [C]//3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2006). Las Vegas, Nevada, USA: [s. n.], 2006:351-355.
- [8] 杜胜永,柴乔林.基于最大连通度的生成簇优化算法[J].计算机应用,2006,26(6):186-189.
- [9] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks [J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- [10] 芦东昕,侯晓东.无线传感器网络路由协议成簇算法研究[J].华北电力大学学报,2006,33(4):51-54.