

无线传感器网络 LEACH 算法的改进

武春涛, 胡艳军

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要:无线传感器网络是监控远程环境的工具之一,由于能量和存储空间限制,其路由协议必须维持较小的路由信息并尽可能地减少能量消耗。基于经典的 LEACH 算法进行了改进,主要体现在对簇头选举的考虑上,把节点的剩余能量考虑到簇头的选举过程中去。最后对经典 LEACH 算法和改进后的算法进行仿真比较,证实改进后的算法很大程度上延长了网络的生存时间,同时减小了簇中节点的能量消耗。

关键词:无线传感器网络;分层路由协议;LEACH 算法;生存时间

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)03-0080-04

Improvement of LEACH in Wireless Sensor Networks

WU Chun-tao, HU Yan-jun

(Ministry of Education Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Wireless sensor networks is one of the tools that scout and control the long-distance environment system. Due to the limitation of power and memory size, the router protocol of wireless sensor networks must maintain small router information and reduce the power usage as much as possible. The improvement of LEACH is based on power. Mended cluster head selection of the classic LEACH algorithm, and the node remaining energy is considered to selection of cluster head. Both of the algorithms were emulated. It is proved that network life time and energy consuming of node are improved greatly from mending algorithm results.

Key words: wireless sensor networks; dual-layer router algorithm; LEACH; lifetime

0 引言

由传感器、微处理器和无线通信接口组成的无线传感器网络(WSN)是一门日益引起人们研究兴趣的技术。无线传感器网络的随机布设、自组织、自适应等特点使其在军事、环境、医疗、家庭和其它商用领域有广阔的应用前景和很高的应用价值。传感器节点通常使用容量有限、不可更换的电源,这就要求 WSN 路由协议必须以节约能源为主要目标,最大限度地延迟网络时间。根据基本的网络结构无线传感器网络的路由协议可以分成平面路由协议和分层路由协议两种。由于平面路由协议需要维持较大的路由表,占据较多的存储空间,因而并不适合在大规模网络中采用,分层路由算法可以在一定程度上解决这个问题。文献[1]比较了当前典型的分簇路由算法的特点和适用情况,其中 LEACH 算法是比较成熟且常用的分层路由算法。

LEACH 是一种基于簇的协议,针对传感器网络提出了分布式簇算法,其算法是根据节点接收到的信号强度进行分组,组内选择一个簇头来负责与汇聚节点通信和组内数据融合,从而减少了节点间交换数据的数量达到节能效果。文献[2]中体现了 LEACH 算法比直接数据通信有很大的优越性。但是 LEACH 算法并没有考虑到每个节点的能量状态,在簇头选举的时候存在很大的随机性,可能导致距离汇聚节点较远的传感器节点需要消耗过多的能量进行通信,以至于很快死亡,影响整个传感器网络的生存时间。文献[3]在研究 LEACH 基础上提出了在簇层建立后引入 CSMA/CD 技术,减少数据包的重传,使得能量消耗减少。文献[4]对 LEACH 研究与改进中,节点根据自身的情况生成定时装置,增大网络的负载均衡能力。文献[5,6]在路由选择、能量控制等方面对经典 LEACH 算法进行改进。文中在研究经典 LEACH 算法的基础上,在簇头选举的方面对 LEACH 做出改进,把节点的剩余能量考虑到节点的簇头选举过程中,并在适当时候增加簇头选举的范围,减少了距离汇聚节点较远的传感器节点的能量消耗,延长网络的生存时间。

收稿日期:2008-06-24

基金项目:国家自然科学基金项目(60772123)

作者简介:武春涛(1985-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;胡艳军,教授,研究方向为无线通信。

1 分层算法简介

LEACH(Low - Energy Adaptive Clustering Hierarchy)^[7]是一种以最小化传感器网络能量损耗为目标的分层式协议。算法通过随机选择簇头节点平均分担网络中的数据传输,使传感器网络中节点能量得以平衡,延长网络的生命周期。LEACH 协议分为两个阶段:准备阶段和数据传输阶段。准备阶段和数据传输阶段一起构成一个轮回。为了减少分簇带来的额外能耗,簇稳定阶段远远长于簇形成阶段。在簇形成阶段,每个传感器节点先生成 0~1 之间的随机数,如果生成的随机数小于阈值,那么这个节点就被选为簇头。阈值的大小由式(1)确定。

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

其中 p 是网络中簇头占所有节点的比例, r 是目前进行的选举轮数, G 是指这一轮循环中未当选过簇头的节点集合。在节点被选为簇头后,就向外发送广播信息,其他节点根据收到的广播信息的信号大小决定要加入的簇,并向簇头发送加入簇的请求。簇头收到请求后将节点加入自己的路由表并为每个节点设定一个 TDMA 时间表,再将该表发送给所有簇内节点。此后的簇稳定阶段,节点按照时间表进行数据传输,每隔一定时间整个网络重新进入簇形成阶段开始新一轮的簇头选举过程。和平面路由算法相比,LEACH 算法可以延长将近 30% 的网络生存时间。但是,由于 LEACH 算法中簇头的产生具有极大的随机性,可能会出现部分簇头相距过近或部分区域的节点离簇头太远的情况,大大增加了节点的传输能耗,对于由几千个节点组成的大规模传感器网络,离汇聚节点很远的簇头能量消耗很快,故不能有效地延长网络生存时间。

LEACH - C^[8]与 LEACH - F^[8]都是集中式的簇头产生算法,由汇聚节点挑选簇头,LEACH - C 算法在开始时候要求每个节点通过 GPS 系统先确立自己的地理位置,然后把自己的地理位置和当前能量状况报告给汇聚节点,汇聚节点计算出平均能量,当前能量低于平均能量的节点不能成为候选簇头,由汇聚节点通过模拟退火算法解决如何选出最优的簇头集合,然后把簇头集合和簇结构进行广播。LEACH - F 算法簇的形成与 LEACH - C 算法一样,但一旦形成簇以后,簇的结构就不能改变,因为 LEACH - F 不能动态地处理节点的加入、失败和移动,并不适应于真实的网络应用。

2 LEACH 算法改进

LEACH 算法中对于未当选过簇头的节点以概率

$T(n)$ 当选,随着当选过簇头节点数的增加,剩余节点当选簇头的阈值 $T(n)$ 随之增加,节点成为簇头的可能性增大, G 指这一轮中未当选过簇头的集合,当只剩下一个节点未当选时, $T(n) = 1$ 表示这个节点一定当选。经过多轮循环选举后,某些距离汇聚节点很远的簇头能量消耗很快,可能过早死亡,影响整个网络的覆盖范围和生存时间。为了使距离汇聚节点较远的传感器节点经历较少的簇头选举次数,以便减少较远节点的能量损耗,平均整个网络的能量消耗,在研究 LEACH 算法的基础上,把整个网络的剩余平均能量考虑到 LEACH 算法簇头选举中去,并且适当地改变簇头选举中 G 的范围。

$$E \geq k\bar{E} \quad k \in (0,1) \quad (2)$$

$$F = \begin{cases} G & n \geq KN \\ g & n < KN \end{cases} \quad (3)$$

\bar{E} 为传感器节点的平均剩余能量, E 为单个传感器节点的剩余能量, F 为下轮选举的范围, g 为簇头选举的范围(此处是指整个网络), N 为整个网络的节点数, n 为轮回中未曾做簇头的节点数, k 为簇头选举中参考平均能量的系数 $k \in (0,1)$, K 为网络循环的深度系数 $K \in (0,1)$,当 $K = 1/N$ 时(在不考虑节点剩余能量对簇头选举影响的时候),改进后的算法便成为了原传统的 LEACH 算法。

经典 LEACH 算法中, G 的范围随着当选过簇头节点数的增加而减小,为了平衡整个网络中的能量,所有的传感器节点都必须轮流当选为簇头,由于各个簇头到汇聚节点的数据传输能量的消耗不同,导致与汇聚节点远的簇头消耗能量很大直至过早死亡,整个网络的能量变得不均衡。改进后的 LEACH 算法,在循环选举的回合中,只有满足式(2)的节点才有当选为簇头的机会,减小了网络中能量较低的节点成为簇头的可能性,也减小了网络中簇头选举的随机性,使得在距离汇聚节点较远的传感器节点当选簇头次数减少,从而减小了较远传感器节点的能量消耗。同时为了不减少网络中成簇的个数,在适当的时候扩大 G 的范围,增加了距离汇聚节点较近的节点成为簇头的概率。在一定程度上缓解了节点能量的快速消耗,提高了整个网络的生存期。

改进后的 LEACH 算法在簇形成阶段,网络中传感器节点成为簇头或者是普通节点的流程如图 1 所示。

簇形成阶段中,产生随机数小于阈值的节点只有在满足 $E \geq k\bar{E}$ 的时候才能成为簇头,成为簇头后广播消息,随机数大于阈值或者不满足 $E \geq k\bar{E}$ 要求的节点成为普通节点,普通节点根据经典的 LEACH 算法

选择要加入的簇头,并发送加入消息形成簇。在簇头选举结束后,由汇聚节点计算循环中未做簇头的节点数 n 和整个网络的平均剩余能量,并广播平均能量消息,在广播剩余平均能量的同时,若 $n \geq KN$,广播告知所有传感器节点,下轮循环从范围中选举簇头,否则从范围 g 中选举簇头。

文中采用文献[9]中的能量模型,数据传输过程中发射 b bit 数据需要的能量可以分为功率放大消耗和射频电路消耗两个部分。由于每个发送节点和接收节点的距离不同,可以分为自由空间模型和多路径衰减模型。

$$E_{TX} = \begin{cases} b * (E_X + E_{\text{friss-amp}} * d^2) & d < d_{\text{cross}} \\ b * (E_X + E_{\text{two-ray-amp}} * d^4) & d \geq d_{\text{cross}} \end{cases} \quad (4)$$

(4) 式中 E_{TX} 为发送 b bit 数据消耗的能量, E_X 为射频电路消耗的能量, $E_{\text{friss-amp}}$ 、 $E_{\text{two-ray-amp}}$ 分别为两种信道模型下功率放大所需要的能量。

3 仿真和分析

在 $200 * 200$ 的范围内随机安放 200 个传感器节点,随机生成一个节点分布图,每个节点的初始能量为 0.5 焦,在仿真过程中,取参数 $p = 0.05^{[10]}$, $k = 0.8$, $K = 0.2$,对经典 LEACH 算法和改进后的 LEACH 算法进行仿真,得到的结果如图 2 和图 3 所示(图中 LEACH 表示经典 LEACH 算法,NEW 表示改进后的 LEACH 算法)。

图 2 显示了改进后的 LEACH 算法大约在 $R = 680$ (R 表示网络中簇头选举的轮回数) 的时候开始有节点死亡,经典的 LEACH 算法大约在 $R = 290$ 时候开始有节点死亡,所以改进后的 LEACH 算法相对于原 LEACH 算法来说,改进后的 LEACH 算法在整个网络生存时间上大约提高了一倍以上,很大程度上延长了

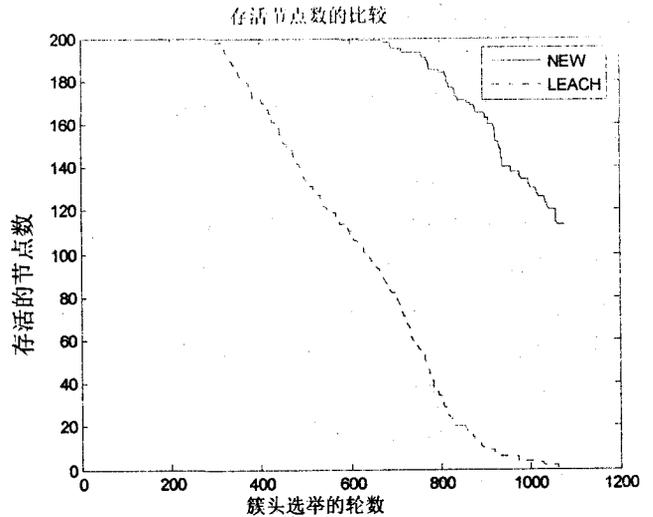


图 2 存活节点数比较

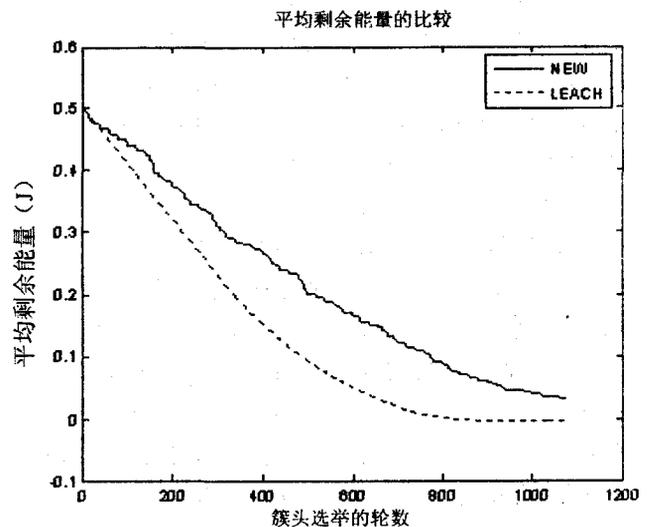


图 3 平均剩余能量的比较

网络的生存期。图 3 表示了改进后的 LEACH 算法在能量消耗上也得到了改善,大约在 $R = 600$ 的时候,改进后的算法在能量消耗上比原 LEACH 要少得多。

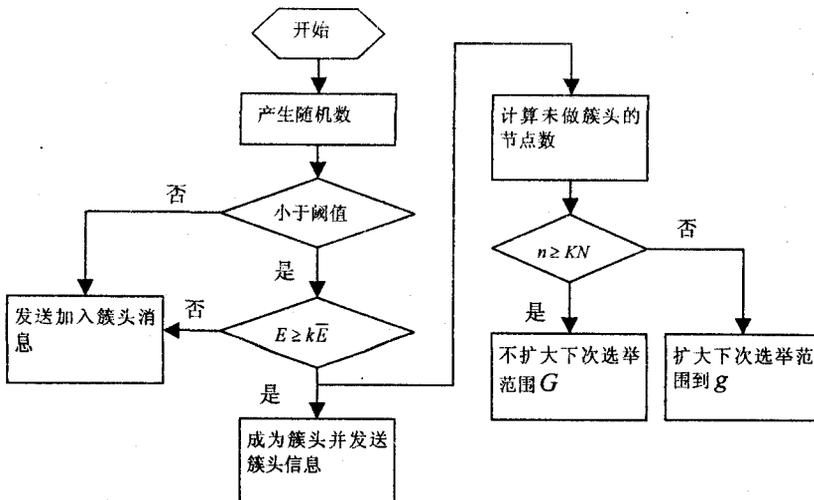


图 1 传感器节点在簇形成阶段的流程图

4 结束语

文中对传统经典 LEACH 算法进行了研究和仿真,并在其基础上对 LEACH 算法进行了改进。把节点的剩余能量考虑为 LEACH 算法的簇头选举影响因素之一,并且适当的时候扩大了簇头选举的范围,通过仿真得到改进后的算法在很大程度上提高了网络节点的生存率,延长了网络的生存时间,并且对网络中的能量消耗有很好的改善。但是改进后的算法在提高网络性能的同时也给网络

增加了复杂度等一些不完善的问题,还需日后进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 沈波,张世永,钟亦平.无线传感器网络分簇路由协议[J].软件学报,2006,17(7):1588-1600.
- [2] 金骥,徐昌庆,葛颖君.无线传感器网络基于类的 LEACH 路由算法研究[J].计算机应用与软件,2006,23(11):137-138.
- [3] 李秉智,赵娜.基于无线传感器网络的 LEACH 算法的改进[J].传感器与仪器仪表,2006,23(8):153-155.
- [4] 吴臻,金心宇.无限传感器网络的 LEACH 算法的改进[J].传感技术学报,2006,19(1):34-36.
- [5] Kim J M, Joo H K, Hong S S. An efficient clustering scheme through estimate in centralized hierarchical routing protocol [C]//International Conference on Hybrid Information Technology. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006:145-152.
- [6] Chang R S, Kuo C J. An energy efficient routing mechanism for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006:308-312.
- [7] 李利民,李建中,陈渝.无限传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005:95-96.
- [8] Heinzelman W. Application-Specific protocol architectures for wireless networks [D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [9] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4):660-670.
- [10] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//In: the proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences. Maui, Hawaii: [s. n.], 2000.

(上接第 76 页)

到底层实现之间跨度太大的问题。

参考文献:

- [1] Gupta A. Formal Hardware Verification Methods: A Survey [J]. Formal Methods in System Design, 1992(1):151-238.
- [2] Sammane G A, Schmaltz J, Toma D, et al. TheoSim: combining symbolic simulation and theorem proving for hardware verification[C]//In: Proc of the Integrated Circuits and Systems Design. [s. l.]: [s. n.], 2004:60-65.
- [3] 边计年,薛宏熙,苏明,等.数字系统设计自动化[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [4] Touati H J, Savoj H, Lin B, et al. Implicit state enumeration of finite state machines using BDDs[C]//Proceedings of International Conference on Computer-Aided Design. Santa Clara: [s. n.], 1990:130-133.
- [5] Huang S Y, Cheng K T, Chen K C, et al. Aquila: An Equivalence Checking System for Large Sequential Designs[J]. IEEE Transactions on Computers, 2000, 49(5):443-464.
- [6] 方敏,张雅顺,李辉.混合系统的形式验证方法[J].系统仿真学报,2006,18(10):2921-2928.

(上接第 79 页)

的速度提高很多。图 3 给出了网络用于识别字符图像的模块大小分别为 2×2 、 4×4 、 8×8 、 32×32 时,图像噪声为 30% 的情况下网络的收敛性。通过比较可以知道,新网络通过 2 次迭代就可以达到传统网络 10 次迭代的效果。

4 结束语

提出了一种利用距离学习算法来减少 Hopfield 网络连接权值的新方法。

仿真结果证实了数据分析的结论,与传统 Hopfield 网络相比,新方法在复杂度、速度和学习能力上都有改善。距离因子的属性使得它可以滤除一些远处神经元的连接权值,这就使网络无论在软件还是硬件的执行过程中减少了复杂性。

参考文献:

- [1] de Sa Marques J P. 模式识别——原理、方法及应用[M]. 吴逸飞译. 北京:清华大学出版社,2002.
- [2] Kuhlmann P, Garces R, Eissfeller H. A dilution algorithm for neural networks[J]. Journal of Physics, 1992(25):593-598.
- [3] Gazzaniga M S. Organization of the human brain[J]. Science, 1989(245):947-952.
- [4] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [5] Hopfield J J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities[J]. Proceedings of the National Academy of Science, 1982(79):2554-2558.
- [6] Hebb D O. The organization of behavior; a neuropsychological theory[M]. New York: Wiley, 1949.
- [7] 孙兆林. Matlab 6. x 图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2002.