

移动节点的LEACH改进型算法

陈珍焰,刘贵喜

(西安电子科技大学 自动控制系,陕西 西安 710071)

摘要: LEACH(low-energy adaptive clustering hierarchy)是一种有效延长网络生命周期的通信协议,其组网过程中存在聚类大小范围不定和簇间干扰现象.针对该问题,提出基于移动节点的LEACH改进型算法.节点以一定半径广播成簇消息限定聚类大小,减少簇首通信干扰.针对网络运作一段时间后出现能量过低或者不平衡的聚类,加入移动式感测节点,移动至聚类担任簇首,延长网络生存时间.实验结果与分析表明新方法远好于LEACH.

关键词: 无线传感器网络;丛集;移动节点;网络生存时间

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2008)02-0140-05

An improved LEACH algorithm based on mobile sensor nodes

CHEN Zhen-yan, LIU Gui-xi

(Department of Automation, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: The low-energy adaptive clustering hierarchy (LEACH) is an energy-efficient protocol that maximizes network lifetime, but its cluster range is unstable and there can be disturbances between clusters in the network setup process. This paper presents an improved LEACH algorithm based on mobile cluster heads. With the algorithm, sensor nodes broadcast cluster updates and confine cluster range to a set radius so as to reduce disturbances between cluster heads. As clusters lose energy or become unbalanced after a period of network operation, mobile sensors are added to clusters and promoted to cluster head in order to prolong the network survival time. Experimental results and analysis indicated that the performance of the new method is far better than basic LEACH.

Key words: wireless sensor network; clusters; mobile nodes; network life time

无线传感器网络由大量无处不在的、具有通信与计算能力的微小传感器节点构成的智能自治测控网络系统,是能根据环境自主完成指定任务的智能系统^[1]. WSN是涉及微传感器与微机械、通信、自动控制、人工智能等多学科的综合性学科,在军事、工业控制、空间、海洋探索等领域有着广阔的应用前景^[2]. 机器人设计中,应用无线传感器网络可以实现移动目标的定位以及跟踪等;借助于航天器布撒的传感器节点,无线传感器网络可以实现对星球表面大范围、长时期、近距离的监测和探索;利用水下传感器网络进行海洋物理研究、灾难预防以及对水下军事目标的监测、定位、跟踪. 无线传感器网络分布在人不便进入或不能进入的区域,节点的能量无法得到补充,使得如何延长传感器网络

的寿命成为设计上需要考虑的关键因素之一. 当前主要从拓扑控制、MAC层协议、路由机制选择、数据融合等方面实现无线传感器网络节能,从而延长网络的生存周期.

本文从通信协议的角度出发,在LEACH(low-energy adaptive clustering hierarchy)网络基础上,提出了一种基于移动节点的LEACH改进型算法(the advanced algorithm of leach based on mobile sensor node, BMSN),特点是在网络中加入移动式感测节点,且具有较高能量. 簇首的选举机制保证无线传感器网络通信遵循自由空间模型^[3]. 在网络出现能量过低的丛集时,移动节点移动至丛集最优簇首位置,选举自身担任簇首,延长网络的生存周期. 仿真结果表明新算法具有良好的性能.

收稿日期:2007-10-22.

基金项目:武器装备预研基金资助项目(9140A17080407DZ0101).

通讯作者:陈珍焰. E-mail:zhychen21@163.com.

1 LEACH 协议缺陷

1.1 现有协议

对于无线传感器网络,最简单的数据通信协议是直接通信(direct transmission),即节点收集数据后直接与基站通信.当基站距离很远时,节点的通信代价太大,将很快死亡.

LEACH^[4-5]低功耗自适应聚类数据通信协议,基本思想是减少与基站直接通信的节点数目,并通过数据聚合技术减少通信能量的损耗.LEACH 分为设置和稳定工作 2 个阶段.设置阶段随机选出若干聚类首领(cluster head),聚类首领向所有节点广播消息,其余节点依据接收信号的强弱加入就近的聚类.稳定工作阶段节点持续采集监测的数据,并传至聚类首领,聚类首领将所有成员的数据进行聚合后发送给远端的基站.每轮选取新的聚类首领,重复 2 个阶段的工作,保证网络中能量的损耗分布在所有节点中.此外,聚类首领利用数据聚合技术将多个信号聚合为一个有效的信号,使得通信量大大降低,也极大地减少了能量的消耗.与直接通信方式相比,LEACH 的网络生命周期可延长 4~8 倍.

LEACH-C(LEACH-centralized)^[6]是集中式的簇头产生算法,由基站负责挑选簇头.LEACH 每轮产生的簇头没有确定的数量和位置,LEACH-C 根据全局信息挑选簇头,有效解决 LEACH 的这一不足.每个节点把自身地理位置和当前能量报告给基站,基站根据所有节点的报告计算平均能量,当前能量低于平均能量的节点不能成为候选簇头.从剩余候选节点中选出合适数量和最优地理位置的簇头集合是一个 NP 问题.基站根据所有成员节点到簇头的距离平方和最小的原则,采用模拟退火(simulated annealing)算法解决该 NP 问题.最后,基站把簇头集合和簇的结构广播出去.LEACH-C 效果优于 LEACH.

1.2 问题描述

设计有效利用能量的路由协议的原则是使每轮数据收集的总能耗最小,同时保证能量的损耗均匀分布在所有节点上.在传感器网络中基于聚类的通信协议应满足以下几个目标^[7]:

1) 网络中节点之间的通信,包括聚类成员与首领的通信、聚类首领之间的通信,应该遵循自由空间模型,避免远距离传输的高能量衰减,因此聚类的大小应该限制在一定范围内.在 LEACH 协议中,成为首领的节点在全网范围内广播消息,其功率衰减遵循多路径衰减模型^[3],而所有其他节点接收此消息也将损耗一定的能量.事实上,对于多数未成为此聚类成员的节点而言,接收此消息的能量信号是不

必要的.同时这些随机选取的聚类首领,可能在网络的边缘,成员与首领的距离较远,势必增加通信能量的消耗.

2) 聚类首领彼此不能相距太近,应较为均匀地分布在网络中.在 LEACH 中,随机选取的聚类首领可能相距太近,节点在接收成员的数据时,可能会由于电磁波的互相干扰导致数据的重发,引起不必要的能量损耗.

2 BMSN 协议运作流程

无线传输中,发射功率的衰减随着传输距离的增大而呈指数衰减.文献[3]提出了 2 种信道模型:自由空间(free space)模型和多路径衰减(multi-path fading)模型,当发送节点和接收节点之间的距离 d 小于某个值 d_0 时,采用自由空间模型,发射功率呈 d_0^2 衰减;否则采用多路径衰减模型,发射功率呈 d^4 衰减.

针对 LEACH 算法存在的不足之处,本文提出了基于移动节点的 LEACH 改进型算法.在 BMSN 协议中,节点以半径 r 广播, r 为聚类半径,其值小于 $d_0/2$,目的是为了保证聚类首领之间的距离限制在 d_0 范围内.这样网络内成员与簇首、簇首与簇首之间的通信都遵循自由空间模型.BMSN 协议还保证簇首节点之间的距离大于 r ,减小聚类首领之间的通信干扰.

2.1 簇首选举

节点 A 在满足 E_{cur} (节点现有能量)大于全体节点平均能量的基础上,以半径 r 广播,宣布自己参与竞争簇首,发布 candidate 消息.节点等待一段时间 T ,若未收到其他节点的 candidate 消息,表明 A 节点覆盖半径内没有其他节点竞争簇首, A 宣布自身为簇首,并广播 Head 消息.若节点接收到其他节点的 candidate 消息,比较节点之间的 $E_{cur} + \frac{1}{d^2}$ (d 表示 r 半径内其他节点与自身节点距离,和是调整系数),选择节点中该值较大者为簇首.若 A 为簇首,簇首节点广播 Head 消息,非簇首节点接收 Head 消息,发布 cancel 消息,取消自己的 candidate 消息,不再参与簇首竞争.若 A 非簇首,等待一段时间 T ,接收 Head 消息,发布 cancel 消息,不参与竞争簇首.其他节点若能接收到 Head 消息,则不参与竞争,否则,重复上述步骤.

循环结束后,簇首节点已定,节点在半径 r 内选择 $E_{cur} + \frac{1}{d^2}$ 最大者,并向其发送 join 消息,加入该簇;若节点不在已定簇首节点通信范围 r 内,将宣布自身为簇首,直接广播 Head 消息.

2.2 丛集观察

丛集观察阶段,主要的工作是观察已经分配好

的丛集,对各丛集内的节点做能量分析,判断各个丛集是否需要移动节点的支持.此阶段制订 2 个丛集的判断条件,条件 1:丛集不平衡;条件 2:丛集头能量过低.

条件 1,丛集不平衡的判断如式(1):

$$\begin{cases} E_{num}^i > Num, \\ E_{cluster-average}^i < E_{total-average}. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $E_{cluster-average}^i$ 表示丛集 i 内,全部非移动式节点的平均能量; E_{num}^i 表示丛集 i 内,非移动式节点能量小于 $E_{cluster-average}^i$ 的节点数目; $E_{total-average}$ 表示环境中全部非移动式节点的平均能量; Num 为可调整的参数($Num=1$).

条件 2,丛集头能量过低的判断如式(2):

$$E_{head-current}^i < * E_{head-need}^i \quad (2)$$

式中: $E_{head-need}^i$ 表示丛集 i 的簇头负责在此回合接收丛集内成员传送的数据以及将数据聚集并传送至基地台所需要的最少能量.

$E_{head-current}^i$ 表示丛集 i 的丛集头能量.

$*$:可调整的参数($=1$).

当丛集的状况符合上述两条件之一时,则认定此丛集需要支持,并且将此丛集列入被支持丛集的优先权排序.当条件 2 成立的时候,丛集头节点的能量可能已经达到担任丛集头所需消耗之高额能量的临界值,因此将视为最高优先支持的丛集,此状况在网络运作的后半段将越趋明显.而条件一成立时,只是表示在此回合中的某个丛集有部分节点能量较低所造成丛集成员能量不平衡状况,因此条件一视为次优先支持的丛集,此状况在网络运作时间内皆可能发生.

2.3 移动节点设定

在确定需要支持的丛集之后,移动节点设定阶段主要进行 3 个工作:1) 计算需要支持丛集的虚拟丛集头位置;2) 判断及分配移动节点;3) 新丛集调整.

首先,根据各个需要支持丛集的信息,设定支持丛集所分配给移动节点的支持位置.基站收集丛集内节点信息,计算出最优簇首位置,并通知移动节点移动至该位置,即为移动节点移动的距离.在移动节点能量满足担任簇头消耗能量基础上,确保需要支持的丛集消耗的总能量最小.接着,将移动节点分配给需要支持的丛集,分为 2 种状况:

状况 1:移动节点数目需要支持的丛集数目.

状况 2:移动节点数目 < 需要支持的丛集数目.

当状况 1,通过排列组合分析,移动感测节点与需求支持丛集一对一分配,寻找出节点总移动距离最短的组合.

当状况 2,由于移动节点数目不足以支持全部丛集,根据被支持丛集的优先权排序,选择排序中的

前 n 个丛集, n 为移动节点数目,透过排列组合分析,移动节点与需求支持丛集一对一分配,寻找出节点总移动距离最短的组合.

最后,在支持分配结束后接着进行丛集调整,分配到支持的丛集支持移动式感测节点为新的丛集头,旧丛集头则转换为一般丛集成员,移动式传感器设定阶段结束.

2.4 数据通信

在数据通信阶段,进行控制信息的发布以及真正的丛集运作,接着恢复 LEACH 运作,进行下列工作:1) 感测节点将数据传送至所属的丛集头;2) 丛集头节点接收并聚集数据;3) 丛集头传送数据至基地台.各丛集中节点传送数据至丛集头,皆利用 TDMA^[8] 的排程,分配各个节点属于自己的传送时槽,避免产生数据碰撞,而各个丛集之间也都使用各自的扩展码(spreading code),避免丛集之间的信号影响.

3 仿真结果

仿真分析结果主要是比较 BMSN 与 LEACH、LEACH-C,分析网络的运行时间以及移动节点的利用状况.利用 Matlab 进行仿真比较,参数设定如表 1.

表 1 参数设定值
Table 1 Parameter define

参 数	value
网络区域大小	400MB ×400MB
基站位置坐标	(200,200)
节点总数	200
分簇个数	5
节点初始化能量 / J	1.0
传送包大小 / bit	2 000
数据聚合能耗	5nJ / (bit · message ⁻¹)
Num	节点总数的一半
	100

模拟在 400MB ×400MB 的环境中,均匀部署 200 个感测节点(包含数个移动节点).并且定义环境中的一般感测节点的死亡数目到达 150 的时候,网络终止.一般感测节点能量以 1.0 J 均匀分配.移动节点能量参考文献[9],假设其能量约 17 000 J (可移动距离约 15 000 m).在丛集数目上,分割为 5 个丛集,并且丛集头在数据融合的消费能量为 5nJ / (bit · message⁻¹). Num 为式(1)中丛集不平衡条件之参数;为式(2)中丛集头能量过低条件之参数.

仿真场景分 2 种情况:case1,移动节点数目小

于簇数;case2,移动节点数目大于簇数.

表 2 case1 ~ case2 条件表	
Table 2 Condition case1 ~ case2	
case	条件
1	高能量移动节点个数 = 2
2	高能量移动节点个数 = 8

图 1 为 case1 在拥有 2 个移动 (高能量) 节点的环境下,采用 LEACH、LEACH-C、BMSN 的运作时间关系图.图 2 为移动节点的剩余能量与运作时间的关系.可以看出,BMSN 协议的网络整体运作时间大约是 LEACH 的 2.6 倍,比 LEACH-C 提高了将近 9 %,主要原因是移动节点可以依照所设定的条件来进行支持丛集的动作.在 LEACH-C 方法中,由于高能量节点没有移动的弹性空间,所以高能量节点只能被动地等待自己在丛集头选择阶段被选为丛集头,因此由图 2 中可看出 LEACH-C 中移动节点的能量下降幅度相当微小,根本无法充分地被利用,因此网络受到高能量节点的帮助相当的少.

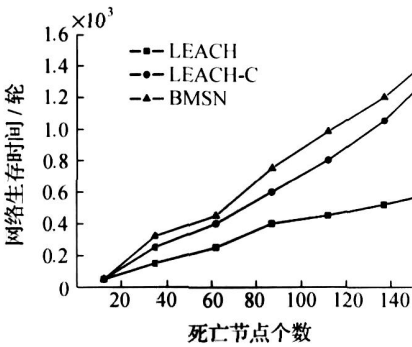


图 1 Case1 网络生存周期
Fig. 1 Case1 network survival time

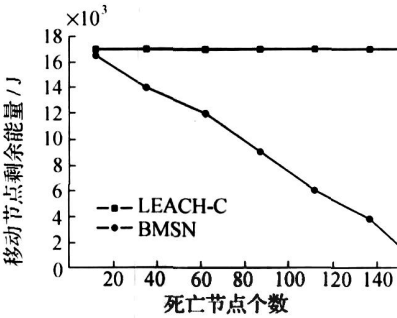


图 2 case1 移动节点剩余能量
Fig. 2 Case1 mobile sensor residual energy

图 3 为 case2 在拥有 8 个移动 (高能量) 节点的环境下,采用 LEACH、LEACH-C、BMSN 的运作时间关系图.图 4 为移动节点的剩余能量与运作时间的关系.可以看出 BMSN 协议的网络生存时间是

LEACH 的 6 倍多,相对 LEACH-C 提高近 120 %.分析原因可能是移动节点的数目过多,对于每一个丛集而言,都可以分配到移动节点的支持,从而大幅延长网络的生命期.图 4 可知移动式感测节点在网络生命期结束时仍未耗尽能量,原因是各移动节点所需要负责支持的涵盖范围相对缩小,因此各移动节点在支持上所需要移动的距离也非常的短,所以才会造成能量剩余许多的情况.

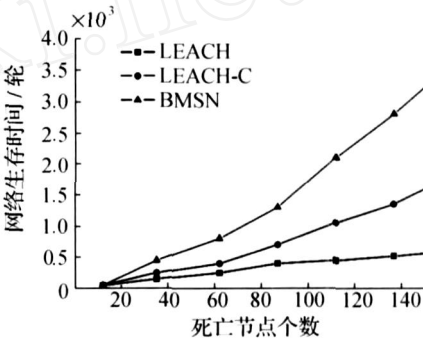


图 3 Case2 网络生存周期
Fig. 3 Case2 network survival time

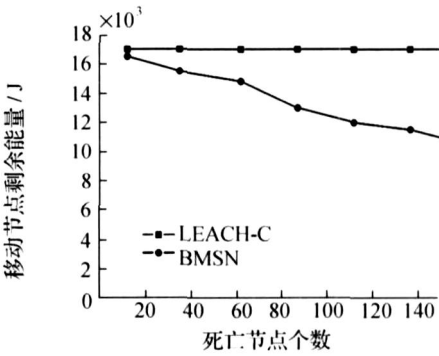


图 4 Case2 移动节点剩余能量
Fig. 4 Case2 mobile sensor residual energy

4 结束语

本文提出基于移动节点的 LEACH 改进型算法,引入新的簇首选举机制确保聚类的大小限制在一定范围内,减少簇首节点之间的干扰.并且在网络中加入移动节点,虽然增加了一定的成本,但透过布置少数具有高能量的移动节点,并且将移动节点的能量平衡地散布在运作周期内,确实提升了整个网络的运作时间.在移动节点数目较多的环境中,在不会太早耗尽移动节点能量的前提下,可放宽支持丛集的条件参数,让丛集可以尽量得到移动节点的支持,对于延长网络时间有进一步的提高.

参考文献:

[1]于海斌,曾 鹏.智能无线传感器网络系统[M].北京:科学出版社,2006.

- [2] BOUHAFS F, MERABTI M, MOKHTAR H. Mobile event monitoring protocol for wireless sensor networks [C]// 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications, [S.l.]. 2007:864-869.
- [3] RAPPAPORT T. Wireless communications: principles and practice [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [4] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor network [C]// Proceedings of 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [5] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [6] HEINZELMAN W. Application-specific protocol architecture for wireless networks [D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [7] YANG, Haiming SIKDAR B. Optimal cluster head selection in the LEACH architecture [C]// IEEE International Performance Computing and Communications Conference. [S.l.]. 2007:93-100.

[8] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[9] SIBLEY G T, RAHIMI M H, SUKHATME G S. Robomote: a tiny mobile robot platform for large-scale sensor networks [C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation. Washington, DC, 2002: 1143-1148.

作者简介:



陈珍焰, 男, 1983年生, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、智能信息控制。



刘贵喜, 男, 1966年生, 教授, 博士, 主要研究方向为目标探测识别与跟踪滤波、多传感器信息融合、图像处理。先后主持或参加30多项科研项目, 曾获国家科技进步三等奖一项、机电部科技进步二等奖一项、国防发明专利一项、国家实用新型专利一项, 发表论文70余篇。

International Symposium on Intelligent Unmanned Systems 2008 2008 智能无人系统国际研讨会

The international symposium on intelligent unmanned system 2008 is jointly organized by Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Konkuk University, and Institute Teknologi Bandung. The joint-event is the 4th conference, extending from International Conference on Emerging System Technology (ICEST) in 2005, International Conference on Technology Fusion (ICTF) in 2006, both held in Seoul, and International Conference on Intelligent Unmanned Systems (ICIUS) in 2007 hosted in Bali. In 2008, NUAA hosts the ISIUS 2008 as a joint conference with ISNIT 2008 focusing on both theory and application primarily covering the topics on intelligent unmanned/ robotic systems and biomimetic technologies. The objective of ISIUS 08 is to bring together researchers and engineers interested in the recent developments in unmanned systems. It will provide an international forum to present and discuss the state-of-the-art intelligent unmanned systems. We are pleased to invite you to submit papers and attend ISIUS 08.

The ISIUS 08 will be co-located with the International Symposium on Nature-Inspired Technology 2008. Papers should be written in English and describe original work. Submitted papers will be either reviewed or published (after acceptance). Upon acceptance, at least one of the authors of the paper must register for the conference in order for the paper to be included in the proceedings. Selected outstanding papers will be published in SCI/ EI cited journals such as Chinese Science Bulletin (SCI cited), Progress in Natural Science (SCI cited), and Journal of Bionic Engineering (EI cited).

会议网站: <http://ibss.nuaa.edu.cn/main.htm>