

# 无线传感器网络中分区分簇路由协议的设计

张 爽, 王潜平, 戴靠柱, 刘 俊

(中国矿业大学 计算机科学与技术学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:**为了解决 LEACH 协议中簇头分布不均匀以及频繁选举簇头的问题,提出了一种分区分簇路由协议(subsection clustering routing protocol, SCRP)。在 SCRP 算法中,节点根据基站发送的关于划分区域的消息包,加入相应的区域;在每个区域选择簇头时,综合考虑了 LEACH 协议中提及的阈值以及簇头的剩余能量和平均消耗能量;与基站通信时,考虑了区域内簇头的剩余能量。实验结果表明,SCRP 能够比 LEACH 有效地延长网络的生命周期,提高基站的数据接收量。

**关键词:**分区; 分簇; 信号强度; 阈值; 能量

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2011) 04-1220-03

## Design of subsection clustering routing protocol in WSN

ZHANG Shuang, WANG Qian-ping, DAI Kao-zhu, LIU Jun

(School of Computer Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** To address the problem of the uneven distribution of cluster heads and the high frequency of the head elction in LEACH, a new routing protocol in wireless sensor network, which is called subsection clustering routing protocol (SCRP) is proposed. In SCRP, firstly the nodes is joined into the correspondng according to the messagel about the regions divided by the base station sent. When electing the heads in every region, besides the threshold referred to in LEACH, the residual energy and the average consumption energy of the cluster heads are considered comprehensively. Communicating with the base station, the residual energy of the cluster heads in the region is taken into account. Simulation results show that, SCRP outperforms LEACH, in terms of the lifetime of network and the data received by base Station.

**Key words:** subsection; clustering; signal strength; threshold; energy

## 0 引言

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是由大量低功耗、有着有限能量的传感器节点组成。这些节点被随机地部署在监控区域,并自组织成网络。

能量消耗是无线传感器网络中直接影响网络寿命的一个主要因素,不过现在已做了很多研究来解决此问题。主要是从以下 5 个方面来解决<sup>[1]</sup>:①有效地调度节点的状态,以使在睡眠和活动状态之间交换;②有效地控制传输功率以确保在能量消耗和连通之间达到折中;③数据压缩以减少传输无用的数据量;④在数据链路层有效地访问信道和包传输协议;⑤高能效的路由、分簇和数据融合。而基于分簇的路由协议,已成为无线传感器网络研究的热点。LEACH 算法是为 WSN 设计的一种低功耗自适应分簇路由协议,是在无线传感器网络中提出的第一个分簇路由协议,其后的分簇路由协议(如 LEACH-C、PEGASIS 等)大部分都在它的基础上发展而来。

本文提出的是基于 LEACH 改进的路由算法,一种分区分

簇路由协议(SCRP)。预先根据网络及节点的传输范围来确定划分网络的区域数,基站根据区域数以及自己发送的功率,以决定每个区域的最高功率和最低功率,然后将这样的消息发送到整个网络中广播,节点根据接收得到消息包,来确定以加入哪个区域;簇头是在每个区域分别进行选举,选举时不仅考虑了 LEACH 中的阈值,还考虑了簇头剩余能量和平均消耗能量;该协议的数据传输结合了单跳和多跳。

## 1 相关工作

LEACH 协议<sup>[2]</sup>的基本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节点上,从而降低能耗、延长网络的生存时间。它能有效的节省能量,延长网络的生存时间,使网络中的节点相对均衡的消耗能量。但是它无法保证簇头节点能遍及整个网络,很可能出现被选的簇头节点集中在网络中的某一区域的现象;频繁选举簇头会耗费更多的能量。

针对 LEACH 的不足,现介绍国内外提出的一些改进的分

收稿日期: 2010-05-29; 修订日期: 2010-07-29。

作者简介: 张爽(1985—),女,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络; 王潜平(1964—),男,安徽安庆人,教授,博士生导师,研究方向为 CSCW、数据库技术、无线传感器网络、人工智能; 戴靠柱(1985—),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络; 刘俊(1985—),男,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络。E-mail: cumt\_zs@163.com

簇路由算法。文献[3]提出的 EEUC, 是一种能量高效的非均匀分簇的路由协议, 利用非均匀的竞争半径, 使得靠近汇聚点的簇的成员数目相对较小, 从而簇头能够节约能量以供数据转发使用, 达到均衡簇头能量消耗的目的。但是, 每轮都要重新选择簇头, 会消耗额外的能量。文献[4]提出的 T-LEACH, 对于无线传感器网络分簇协议, 它是一个基于阈值的分簇替换方法。T-LEACH 通过使用剩余能量的阈值使得簇头选择的次数最小。通过减少簇头选择的次数和替换开销, 相比于现有的分簇算法, 它使得整个网络的寿命延长。文献[5]中集中于改进 LEACH 中簇头分布不均衡的问题。网络里基站到节点的距离和关于运行轮数的调整函数都被用于产生网络里簇头的分布。使用这两个因素, 调整之后簇头沿着环形带分布。因此, 该分布更合理, 而且调整函数的值可以根据轮数而改变。此外, 网络中所有的节点都有相同的机会成为簇头以均衡能量消耗。

2 系统模型

2.1 网络模型

假设 N 个传感器节点随机均匀分布在一个 M\*M 的正方形区域内, 并且该传感器网络具有如下性质<sup>[6]</sup>: ①网络中的节点是静止的, 部署后不再移动; ②节点部署后, 网络不需要人为维护; ③每个节点初始能量完全相同, 具有同构性质; ④节点没有安置 GPS, 不知道其具体位置; ⑤无线发射功率可控, 即节点可以根据距离来调整发射功率的大小; ⑥在传感器网络里有一固定的基站(BS), 假设基站以一定功率发射, 可以到达整个区域; ⑦节点可感知自己的剩余能量。

2.2 无线通信模型

本算法中节点的能量消耗采用无线传输能量消耗模型计算<sup>[7]</sup>。传感器节点发送 l bit 数据所消耗的能量为

$$E_{TX}(l,d)=E_{Tx-elec}+E_{Tx-amp}(l,d)=\begin{cases} l*E_{elec}+l*\epsilon_f*d^2 & d\leq d_0 \\ l*E_{elec}+l*\epsilon_{mp}*d^\alpha & d>d_0 \end{cases} \quad (1)$$

传感器节点接收 l bit 数据所消耗的能量为

$$E_{Rx}(l)=E_{Rx-elec}(l)=lE_{elec} \quad (2)$$

式中:  $E_{elec}$ ——发射电路损耗的能量,  $d$ ——发送节点和接收节点之间的距离。当  $d$  小于阈值  $d_0$  时, 功率放大损耗采用自由空间模型; 当  $d$  大于  $d_0$  时采用多路径衰减模型。  $\epsilon_f, \epsilon_{mp}$  分别是自由空间信道模型和多径衰减模型中功发送电路信号放大器的倍数。

3 SCRP 协议的设计

在本文中, 为了解决 LEACH 算法中无法保证簇头遍及这个网络, 以及频繁选择簇头而消耗能量, 提出了分区分簇的改进路由协议, SCRP 算法。

SCRP 算法的主要思想是利用基站根据对发射功率进行分段, 对网络进行划分区域, 在划分的区域里进行簇头的选举, 这样就解决了簇头无法遍及整个网络的, 使得簇头在整个网络里均匀分布; 在簇头选举时, 引入了剩余能量和平均消耗能量, 以解决频繁选举簇头; 数据传输时, 簇间传输时采用了单跳和多跳相结合的方式。

3.1 区域划分

SCRP 协议考虑了簇头节点在空间上的分布, 会首先将整

个网络划分为多个区域, 如图 1 所示。预先根据网络的大小、节点的传输范围可以确定将网络划分的区域数  $k^{[8]}$ 。由于随着传输距离的增大, 节点接收到基站的信号强度会越来越小, 考虑到每个区域的负载均衡, 每个区域的划分主要根据接收到的信号强度。基站首先向网络中发送一个消息包, 该消息包包括了网络划分的区域数, 以及每个区域的最高和最低的功率强度。每个区域的最高接收功率与最低接收功率的差如下

$$P_i=\frac{i}{k}P_m, i=1,2,\cdots,k \quad (3)$$

每个区域的最高接收功率和最低接收功率为

$$P_{m1}=P_{BS}, P_{l1}=P_{BS}-\frac{1}{k}P_{BS}$$
$$P_{m2}=\frac{k-1}{k}P_{BS}, P_{l2}=P_{m2}-\frac{2}{k}P_{m2}$$
$$\cdots\cdots$$

网络中的节点根据接收到的消息包, 根据接收信号强度判断, 判断所属区域, 并标示在自身的信息表中。分区后如图 1 所示。实现该过程的伪代码为:

- (1)  $S_j.receive(message); //S_j$  是第  $j$  个传感器
- (2) for  $i=1$  to  $k$
- (3) if  $P_{Li}<P(RSS)\leq P_{mi}$  then  $//P_i(RSS)$  是  $i$  节点的接受信号强度
- (4)  $S_j.region=i;$
- (5) end if
- (6) end for

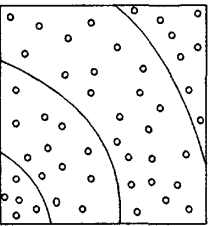


图 1 根据接收到的消息包划分的区域

3.2 簇头的选择

在首轮选举簇头时, 如同 LEACH 协议, 每个节点都会产生一个 0-1 的随机数, 并与相应的阈值  $T(n)$  进行比较, 若该随机数小于阈值  $T(n)$ , 则当选为簇头; 反之则为非簇头节点。  $T(n)$  的计算公式如下<sup>[9]</sup>

$$T(n)=\begin{cases} \frac{p}{1-p\lceil r\mod(\frac{1}{p})\rceil} & n\in G \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $P$ ——节点成为簇头的百分数,  $r$ ——当前回合数,  $G$ ——在这一轮循环中未当选簇头的节点集合。

当选为簇头的节点在所属区域内广播, 非簇头节点根据接收到的信号强度, 并加入接收信号强度高的簇。但是在下一轮选举簇头时, 引入了簇头的剩余能量  $E_m$  和平均消耗能量  $E_m$  的概念。这时会首先判断簇头自身的剩余能量  $E_m$  是否大于簇头的平均消耗能量  $E_m$ 。如果  $E_m>E_m$ , 则不需要重新选择簇头, 反之则要在当前簇内重新选择簇头, 这样就避免了频繁选举簇头而引起的多余能量消耗。簇头选择的流程图如图 2 所示。

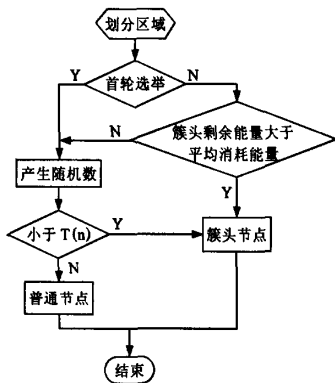


图2 簇头选举过程流程

3.3 数据传输

本算法中,簇内的数据传输采用直接通信方式,簇头构建TDMA调度,采用与LEACH相同的组织方式。簇头的任务是融合非簇头节点收集的数据,并发送数据给基站。文献[10]证明了对于簇间通信,多跳转发至基站比直接传输更能有效地利用节点能量。改进的算法中,簇间通信采用多跳和单跳相结合的模式。如图1所示,靠近基站的第1层的簇首会使用单跳与基站通信,而在其它层的则使用多跳通信。上层簇头选择下一跳时,主要是选择它的下一层区域的簇头,且该簇头比该层的其它簇头的其它剩余能量都高。工作过程如下:

步骤1 每层中被选举好的簇头在该层广播自身消息,即簇头的剩余能量。相应层中的簇头节点比较接收到剩余能量消息,剩余能量高的簇头会标示为H,转到步骤2。

步骤2 i层中剩余能量高的簇头向i+1层广播消息,(i+1)层簇头根据接收的信号强度判距离i层中剩余能量高的簇头的距离,并保存在自身的信息表中。

步骤3 (i+1)层中非簇头节点收集监测到的数据后,将数据传给本簇的簇头,簇头节点将数据进行融合后,根据自身信息表中保存的i层簇头信息,选择下层中能量较高的簇头作为下一跳节点来转发数据。

4 实验仿真与分析

4.1 实验环境

本文采用NS2<sup>[11-12]</sup>对LEACH协议和改进的算法进行了仿真和比较。本文设定相同的仿真场景,仿真实验场景如表1所示。为了能够全面评价该协议的效果,将从网络中存活节点的个数以及基站当前接收到的数据总量来比较LEACH协议和改进的协议。

4.2 实验结果与分析

两种协议的节点存活个数如图3所示。在前300秒的运行时间里,LEACH协议与SCRP协议的节点的个数都没有减少,均为100个。在320秒时,LEACH协议出现了死亡节点,在446秒时存活节点的个数不超过10个;而SCRP协议在350秒开始出现死亡节点,协议运行了520秒时存活节点的个数

表1 实验场景

参数	参数值
区域数	4
网络范围	500m*500m
基站位置	(50,175)
节点个数	100个
初始能量	2J
$E_{elec}$	50nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>
簇头个数	6个
数据包数据长度	500Bytes
数据包包头大小	25Bytes

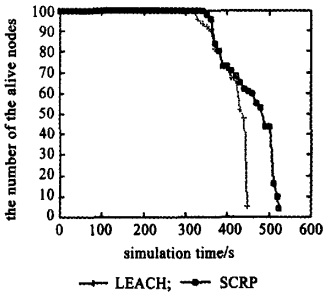


图3 网络中存活节点的个数

小于10个。不论是以网络中第一个节点死亡时刻或者是网络节点死亡速度来作为衡量网络生命周期的标准,提出的SCRP协议可以更好的分配网络的能量,有效地延长了网络的生命周期。

两种协议的基站接收到的数据如图4所示。随着运行时间的增长,基站接收到的数据总量会增加。在前400秒的时间里,SCRP协议和LEACH协议中基站所接收的数据量并无太大变化。在随后的时间里,由于LEACH协议中节点的剩余能量会越来越少,LEACH协议中剩余能量很少的节点被选为簇头,这种簇头节点在接收簇内成员节点的数据时或在向基站传送数据时能量耗尽,变成失效节点,该簇内所有节点采集的数据都会丢失,以至于当簇头节点能量消耗时,基站将不会从簇头接收到数据。由于SCRP协议的运行时间比LEACH协议长,基站可以接收到更多的数据。

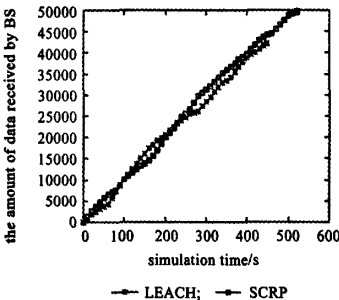


图4 基站接收数据量

(下转第1337页)

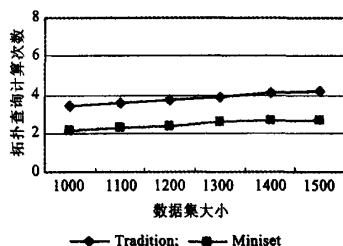


图3 两种决策树生成算法的比较

弃了传统决策树生成算法中对空间中各个拓扑关系具有相同出现率的理想化假定, 根据实际的情况, 为空间数据库系统中出现的所有拓扑关系的出现率赋值, 保证出现率最高的拓扑关系在查询时具有最少的计算次数, 使得决策树有更小的带权路径, 决策树更接近最优, 从而提高了查询效率。在以后的研究工作中, 我们将继续研究空间查询, 把拓扑关系、方向关系和度量关系三者结合作为查询的选取条件以提高空间查询的效率是我们的又一工作重点。

#### 参考文献:

[1] 刘新. 三维空间关系的描述及其定性推理[D]. 山东: 山东科技

大学, 2007: 63-100.

- [2] Wang Yingjie. Fuzzy clustering analysis by using genetic algorithm[J]. International Journal of Innovative Computing Information and Control, 2008, 30(2): 331-337.
- [3] Lin P L, Tan W H. An efficient method for the retrieval of objects by topological relations in spatial database systems[J]. Information Processing and Management, 2003, 39(4): 543-559.
- [4] Xu J, Yao C. Formalizing natural-language spatial relations descriptions with fuzzy decision tree algorithm[C]. Proceedings of SPIE, 2006.
- [5] 张弛伟. 空间拓扑查询[D]. 湖南: 中南大学, 2007: 1-5.
- [6] 孙学琛, 李新杰. 哈夫曼树的图形化算法设计[J]. 山东理工大学学报, 2008, 22(6): 108-111.
- [7] Reasey Praing, Markus Schneider. Efficient implementation techniques for topological predicates on complex spatial objects[J]. GeoInformatica, 2008, 12(3): 219-253.
- [8] Kalum Priyanath Udagepola, Li Xiang, Yang Xiaozong, et al. MSRIC: A model for spatial relations and integrity constraints in topographic databases [C]. Proceedings of the 5th WSEAS Int Conf on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, 2006: 366-391.

(上接第 1222 页)

## 5 结束语

本文提出了一种区域分簇的基于能量的路由协议 (SCRIP). 在 SCRIP 协议中, 预先根据网络的大小、节点的传输范围可以确定将网络划分的区域数。基站在网络中广播, 节点根据接收到的消息, 发送给基站接收的信号强度, 基站根据信号强度来划分区域, 并广播到网络中, 节点以此来确定自己所属区域, 并在区域中根据节点产生的随机数选举簇头, 有效解决了簇头分布不均匀的问题。在下一轮选举簇头时, 根据簇头的剩余能量和平均消耗能量来确定是否要重新选择簇头, 解决了频繁选举簇头。仿真结果显示, 该协议有效地延长了网络的生命周期, 并提高了基站接收到的数据量。

由于研究有限, 本文的研究工作还不够完善, 该协议的主要缺点是节点是随机部署的, 所以在分区分簇之后, 会出现一些孤立的节点, 它们无法被簇覆盖。这将是以后的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] Ali Chamam, Samuel PierreG. A distributed energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks[J]. Computers and Electrical Engineering, 2010, 36: 303-312.
- [2] 王殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 77-79.
- [3] 李成法, 陈贵海, 叶魁, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36
- [4] Jiman, Joongjin Kook, Sangjun Lee. T-LEACH: The method of threshold-based cluster head replacement for wireless sensor networks[J]. Inf Syst Front, 2009, 11: 513-521.
- [5] Li Xunbo, Li Na, Chen Liang, et al. An improved LEACH for clustering protocols in wireless sensor networks [C]. International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE Computer Society, 2010: 496-499.
- [6] Yi S. PEACH: Power-efficient and adaptive clustering hierarchy protocol for wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2007, 30: 2842-2852.
- [7] Kumar D. EEHC: Energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2009, 32: 662-667.
- [8] Min X. Energy efficient clustering algorithm for maximizing lifetime of wireless sensor networks[C]. Int J Electron Commun, 2009.
- [9] 孙利民, 李建民, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 95-96.
- [10] Younis O, Fahmy S. Heed: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for Ad hoc sensor networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.
- [11] 于斌, 孙斌, 温暖, 等. NS2 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [12] 柯志亨, 程荣祥, 邓德鸾. NS2 仿真实验: 多媒体和无线网络通信[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.