

# 基于分簇的无线传感器网络路由协议<sup>①</sup>

武海艳, 宫娜娜, 胡爱娜

(黄河科技学院 信息工程学院, 郑州 450063)

**摘要:** 路由技术是无线传感器网络的关键技术. 其中分簇路由协议具有拓扑管理方便, 数据融合简单等特点. 分析了无线传感器网络分簇路由机制, 着重从簇头的产生、簇的形成和成簇后的数据通信三个方面描述了当前典型的分簇路由算法, 并比较分析了这些算法的特点及存在的问题, 在此基础上提供了一些解决思路.

**关键词:** 无线传感网; 路由协议; 分簇路由

## Cluster-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks

WU Hai-Yan, GONG Na-Na, HU Ai-Na

(School of Information and Engineering, Huanghe Science and Technology College, Zhengzhou 450063, China)

**Abstract:** Routing technology is pivotal in the architecture of wireless sensor networks. In which Cluster-based routing protocols excel in network topology management, data aggregation, etc. In the paper the cluster-based routing mechanisms for wireless networks are analyzed. The emphasis focuses on Cluster head selection, cluster formation and data transmission. After doing research on typical algorithms, the paper compared their performance, and pointed out some research issues.

**Key words:** wireless sensor network; routing protocol; cluster-based routing protocol

### 1 引言

近年来, 随着嵌入式计算、传感器和现代通信等技术的飞速发展和日益成熟, 使得由各种低成本、低能耗、多功能的微型传感器组成的无线传感器网络被广泛应用. 无线传感网通过传感器节点实时监测、感知和采集覆盖区域内的各种环境信息, 并进行处理后报告给感兴趣的用戶. 传感器节点一般采用电池供电, 并且通常部署于恶劣甚至危险的环境中, 对它们进行电源补充非常困难, 因此, 设计能量有效的路由算法以延长网络生存时间是无线传感器网络研究领域的一个重要课题.

### 2 分簇路由协议概述

无线传感网的路由协议包括平面路由协议和分簇路由协议. 平面路由协议中所有节点功能一致、地位平等, 网络结构简单, 但所有节点都需要生成到达汇聚节点的路由, 适用于较小规模的网络. 分簇路由具有拓扑管理方便、能量利用高效、数据融合简单等优

点, 成为研究的重点. LEACH(low energy adaptive clustering hierarchy)<sup>[1]</sup>是 WSN 中最早提出的分簇路由协议. 它的成簇思想贯穿于其后的很多分簇路由协议中. 分簇路由协议就是把网络中的节点分为多个簇, 每级簇由簇头和簇内成员构成, 在高一级网络中, 又可以分簇, 再次形成更高一级的网络. 簇头负责收集簇内成员的数据、融合并和基站通信, 成员节点采集数据, 如图 1 所示.

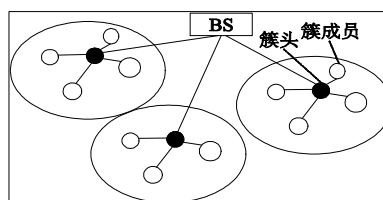


图 1 分簇路由协议的拓扑结构

分簇路由协议一般包括簇头产生、簇的形成和稳定数据通信三个阶段. 国内外的研究人员已提出了许

<sup>①</sup> 基金项目:河南省科技厅科技攻关项目(122102310412);河南省郑州市科技局科技攻关项目(20110992)

收稿时间:2012-08-07;收到修改稿时间:2012-09-14

多优秀的算法和协议. 下面我们就目前 WSN 主要的分簇路由协议, 分析分簇的 3 个阶段中多种不同的实现算法.

### 3 簇头的选择

簇头的产生方法、数量和位置决定了最终形成的簇的结构、大小和数量, 也会影响节点的能量耗费度和网络的生命周期. 目前的簇头选择算法一般基于以下一些因素: 节点的剩余能量; 簇头到基站的距离; 簇头的位置分布, 包括簇头的连通度和覆盖度; 簇内通信代价; 邻居节点的个数.

一些分簇算法对无线传感网进行区域划分, 根据划分的区域进行簇头的选择, 如文献[2]提出的 CEB-UC(cell energy balanced-uneven cluster)算法, 先将传感器网络合理分区, 使得在靠近基站分区内的簇数量较多, 各簇内节点数较少; 在远离基站分区内的簇数量较少, 各簇内的节点数较多, 保证距基站较近的簇头节点可以节约一部分能量供簇间数据转发使用. 文献[3]的 EERPUC(energy efficient routing protocol on uneven cluster)选择簇头时以节点剩余能量和相对位置为依据, 使能量大的节点成为簇头的可能性大, 并且给出的簇头更接近于簇的质心位置, 很大程度降低簇内通信总能耗.

为考虑减轻簇头节点的负载, 还有算法如文献[4-5]中引入了双簇头的思想. 选举出主簇头和副簇头来承担原单一簇头的任务, 减轻了簇头节点的负担, 有效均衡网络能耗.

#### 3.1 LEACH 及改进算法

LEACH 算法中每个节点产生一个 0~1 之间的随机数, 如果这个数小于阈值  $T(n)$ , 则该节点向周围节点广播它是簇头的消息.  $T(n)$ 计算公式中未考虑能量因素.

针对  $T(n)$ 计算公式的不足, 多个文献进行了改进. 如文献[6]DCHS 综合的考虑了节点的能量和阈值对选举簇头的影响, 公式(1)所示.

$$T(n)_{new} = \frac{p}{1-p[r \bmod(1/p)]} \left[ \frac{E_{n\_current}}{E_{n\_max}} + \left( r_s \cdot \frac{1}{p} \right) \left( 1 - \frac{E_{n\_current}}{E_{n\_max}} \right) \right] \quad (1)$$

$E_{n\_current}$  表示节点的当前能量,  $E_{n\_max}$  表示节点的初始能量.  $r_s$  表示节点连续未当选过簇头的轮次.

文献[7]提出的 LEACH-EDH 算法簇头选举时考虑了能量、节点位置、距 BS 的远近, 对  $T(n)$ 进行了改进, 使具有较多能量和离 BS 近的节点成为簇头, 改进公

式如(2)所示.

$$T(n) = \frac{p}{1-p[r \bmod(1/p)]} \times \left[ w_1 \frac{E_{arrent}}{E_0} + (1-w_1) \frac{d_{max}-d}{d_{max}-d_{min}} \right] \quad (2)$$

其中,  $p$  表示簇头节点占网络节点总数的百分比(即节点当选簇头的概率,  $E_{arrent}$  表示节点的当前能量),  $E_0$  表示节点的初始能量,  $d_{max}$  表示节点到 BS 最远的距离,  $d_{min}$  表示节点到 BS 的最近距离,  $d$  表示节点到 BS 的距离,  $w_1$  是一个常数.

文献[8]EDBCM(Energy and Distance Based Clustering Multihop Algorithm)在选择簇头时综合考虑节点能量及到 BS 的距离. 考虑  $E_i > E_{ave}$  的节点作为候选簇头; 计算  $k = E_i / D_{i-BS}$ , 选择  $k$  最大的为簇头.  $E_i$  为节点的当前能量,  $E_{ave}$  为当前网络中节点的平均能量,  $D_{i-BS}$  为节点到 BS 的距离. 通过选择能量较高且距 BS 距离较近的节点为最佳簇头, 来降低数据转发的能量损耗.

#### 3.2 EEUC 算法

文献[9]提出一个非均匀分簇的分布式算法 EEUC, 算法依预先设置的概率阈值在网络中选出部分节点成为候选簇头, 参与竞选. 根据自身到 BS 的距离信息计算它的竞争半径. 靠近 BS 的候选簇头竞争半径较小. 在竞争半径内选择剩余能量最高的候选簇头作为最终簇头. 算法的目标是让靠近 BS 的簇的成员较少, 使其簇头能够预留部分能量供簇头间通信使用.

EEUC 主要是解决传感器网络中的“热区”问题, 但在簇头选择过程中需要节点广播大量消息, 增加了节点的能耗; 采用随机选取候选簇头的方式, 增加了能量低的节点成为簇头的可能性.

在 EEUC 的基础上, 文献[10]提出了 ULRA(uneven layered-based routing algorithm)算法, 先对传感器网络覆盖区域进行分层, 靠近 BS 的簇的成簇半径要比外层簇的成簇半径要小, 节点根据剩余能量启动定时计时器, 公式如(3)所示. 节点如果在定时器到期之前没有收到其他簇头的成簇消息, 那么该节点成为簇头.

$$Time_{id} = T_{max} \left( 1 - c \cdot \frac{E_{id.res}}{E_{id.init}} \right), \quad c = rand(0.9, 1.0) \quad (3)$$

剩余能量多的节点, 定时时间就短, 这样增加了剩余能量多的节点成为簇头的概率.

文献[11]提出的 ADBUC 算法, 选择簇头时不但考虑了节点的剩余能量、地理位置、还考虑了邻居节点的个数和簇头间的距离阈值. 使所有簇头在整个区域

较均匀的分布,更加有效均衡整个网络的能耗。

#### 4 簇的形成

多数成簇算法在选出簇头之后,簇头向其他节点广播当选的消息,接收到广播信号时,其他节点选择广播信号最强的簇头加入。这种方法实现简单,但没有从能量角度考虑簇的规模、数量以及负载均衡等问题。也有一些学者提出了不同的成簇算法,EECS<sup>[12]</sup>算法让其他节点选择距离自己较近,距离基站也较近的簇头加入。选择簇头的代价公式如(4)。

$$COST(CH) = w \times f(d_{CH}) + (1-w) \times g(d_{CH,BS}) \quad (4)$$

$f$  中的  $d_{max}$ 、 $d_{min}$  分别代表簇内成员距簇头的期望最大距离、最小距离,由节点密度决定; $g$  中的  $d_{max}$ 、 $d_{min}$  分别代表簇头到基站的距离、最小距离,由区域 A 大小及基站的位置决定。 $w$  取合适的值后,若一个节点到两个簇头的距离差异较小,而两个簇头到基站的距离差异较大,则节点将选择靠近基站的簇头。这样,距离基站较近的簇头将吸引更多的节点加入其簇,达到平衡簇头载的目的。

文献[13]LSCP 提出了 DAM(distributed aggregate management)的分簇算法:节点采集目标的信号强度,如果信号强度大于竞争簇头阈值,节点把信号强度值广播到邻居节点,邻居节点将这个值与它已经收到的其他节点的信号强度(包括其自身的信号强度)比较,如果该值最大,就转发该值并将转发该值的上游节点做为父亲节点,否则忽略该值。最终,该算法形成一棵以簇头为根的树。

文献 [14]HYENAS(hybrid energy-aware sensor network)中簇头的产生是由基站采用集中方式生成。簇的结构并非每次循环都会改变,HYENAS 算法生成一个名叫 blacklist 的列表,记录每轮循环中哪个簇耗费的平均能量大于整个网络耗费的平均能量阈值 2 倍的坏簇,簇是否需要重组,取决于每个簇与 blacklist 中坏簇的相似度,如果相似度大于某个阈值,基站采用集中式算法重新选择簇头进行分簇,否则,簇结构无须改变,基站只需重新为该簇选择簇头。HYENAS 避免了簇的每次重组,节省了每轮成簇的开销。在 HYENAS 基础上,文献[15]提出 H-CEACHS 算法,选择簇头时考虑了节点的剩余能量、簇内通信代价、节点覆盖度代价,由基站集中成簇后获得了更好的节能效果和网络覆盖度。

#### 5 成簇后的路由算法

传感器网络中簇结构形成之后,进入数据采集和转发阶段。节点间的数据传输分为单跳路由和多跳路由算法,单跳直接由源节点将数据传输给目的节点,多跳则要经过中间节点的转发。分簇网络中数据的转发包括:簇内成员和簇头间的通信;簇头和基站间的通信。数据传输时,采用什么样的路由算法,即要考虑节点间的距离,它决定了发送数据能量消耗的大小。又需考虑簇的结构,成簇算法生成的簇结构在一定程度上决定了簇的数据传输模式。

成簇后的稳定运行阶段,成员节点将采集的数据后传输给簇头节点,由簇头节点再进行转发。多数簇内路由算法都采用成员节点直接和簇头节点通信的单跳方式,如 LEACH、EECS 等。也有算法如文献[16]ECMR(energy conscious message routing)簇内采用多跳路由。ECMR 假设簇头预先部署,能量不受限,能与成员节点直接通信,而成员节点需多跳路由才能到簇头。所以,协议考虑如何建立从多个成员节点到簇头的路由机制。节点之间链路的权值定义既考虑了它们之间的通信耗费,也考虑了节点能量、数据延迟和链路负载等因素。算法节能性好,具有较高的吞吐量和较低的通信延迟。但对簇头依赖性大,需要部署新的簇头来扩展网络,协议扩展性较差。

簇头将数据传输给基站,可以采用单跳、多跳、混合等路由方式。LEACH 算法中簇头单跳将数据传输给基站,距离基站较远的簇头能量消耗快。许多算法通过簇间多跳来保证节点间的负载平衡。ADBUC 考虑簇头的剩余能量和地理位置,选取最小代价中继簇头来建立簇间多跳网络路由。ULRA 选择距离源簇头最近的,剩余能量最大的作为下一跳中继簇头。为均衡网络负载,还有一些协议采用混合簇间路由算法。

EEUC 算法中簇结构形成后,在簇头间采用单跳多跳混合路由,在簇头间多跳路由构建过程中,簇头的路由候选节点集合由式(5)确定:

$$s_i R_{CH} = \{s_j \mid d(s_j, DS) < d(s_i, DS) \text{ 且 } d(s_i, s_j) \leq k s_i R_c\} \quad (5)$$

其中  $k$  是使得  $s_i R_{CH}$  非空的最小整数。根据式(6)选择网络能量开销指标  $E_{relay}$  最小,且剩余能量最高的路由候选节点作为簇头的下一跳,如候选节点集合为空则簇间单跳。

$$E_{relay} = d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, DS) \quad (6)$$

有效避免有些节点因为能量消耗过多而较早死亡。

文献[17]提出的 MRUC 算法为了减少簇头节点向基站传输数据时消耗的能量,同时兼顾作为中继节点的簇头转发数据时消耗的能量,在设计簇头到基站的路由选择路径时,综合考虑了源簇头节点的剩余能量、单跳距离和候选中继簇头节点的剩余能量等因素。簇头和基站间距离在阈值  $d_0$  内单跳,距离大于  $d_0$  多跳。多跳时,在源簇头和目的簇头连线为直径的圆内寻找中继节点。引入距离因子、源簇头能量惩罚因子、候选中继节点能量惩罚因子,计算出候选中继簇头的转发权值,如式(7),选择权值最小的为下一跳中继簇头。

$$\omega_i = cD_{i-j} + (1-c)(p_t + p_d) \quad (7)$$

其中  $D_{i-j}$  为簇头节点  $CH_i$  到候选中继簇头节点  $CH_j$  的距离因子;  $p_t$  为发送簇头的能量惩罚因子;  $p_d$  为候选中继簇头的能量惩罚因子;  $c$  为权衡因子,取值为 (0,1) 间的常数。这样使得能量较充裕的簇头节点传输的距离稍微远一点,而能量较少的簇头节点传输的距离稍微近一点,以节省数据传输消耗的能量。有效均衡了网络的通信能耗开销,从而延长整个网络的工作寿命。

文献[18]提出权值优化的两级簇头路由由协议 TL-WCA(Two Levels-Weighted Clustering Algorithm),该算法首先采用 LEACH 算法将网络分成若干个簇,再加权优化选择簇头。将选好的簇头以路径最短为原则采用贪婪算法形成一条链,考虑链中节点能量不小于链中平均能量及离基站的距离最近,选出一簇头作为高级簇头,融合其它簇头的数据后转发给基站。算法在考虑簇内节点能量均衡同时也兼顾了簇头之间的能量均衡,有效延长了网络的稳定期。

## 6 分析总结

以上各种路由协议分别着眼于不同的侧重点,有的协议研究了从簇头选择、簇形成到稳定数据通信三个完整的阶段,有的重点研究了其中的一个阶段,所得的算法各有所利弊,存在以下问题:

- 1) 多数协议通常都假设传感器节点和 BS 节点均是静止的,没有考虑实际网络中网络节点的移动性;
- 2) 为了节约成簇过程中控制信息的开销,使协议的扩展性更好,多数协议都采用分布式成簇方法,而负载均衡是分布式成簇算法的一大挑战。基于局部信息的分布式算法更容易导致网络负载整体不均匀,造成局部

网络负载过重。如文献[9]EEUC 算法,在选择簇头时,候选簇头节点要维护自己的邻簇头集合,需要通过每个候选簇头节点发送广播消息来实现,簇头选择的能量开销较大。构建路由时只为每个节点找到了 1 个下一跳节点,因此在每轮稳定传输阶段,所有不与基站直接通信的簇头节点都一直同 1 个下一跳节点进行数据转发,那么转发路径上的簇头节点会因过多转发数据而能耗过大造成网络负载不均衡。文献[3]的算法较好的均衡了网络能耗,但对网络节点的均匀分布要求较高。

3) 多跳路由协议中,靠近簇头的节点因为承担了更多的转发任务,能量耗费较多,引发“热区”问题,会缩短网络的生命期。如文献[10]采用非均匀分簇的思想缓解“热区”问题,算法以基站为圆心将网络分成宽度递增的区域,越靠近基站的区域内的节点成簇半径越小,实现了网络不均匀分簇。文献[4-5]基于双簇头思想,在每个簇中选出两个节点,分别承担簇内数据处理和簇外数据通信,解决负载均衡问题。

4) 多数协议没有充分考虑传感器节点易失效,和簇头的高负载使网络瘫痪的可能性,协议容错性不高。

为了解决上述问题,今后传感器网络的路由协议需要研究在簇头选择中,考虑更有效的簇头负载均衡,簇头分布更均匀的算法;在簇的形成过程中,考虑减少拓扑生成过程中的控制报文开销以及降低拓扑结构变动的频率,减少网络通信开销;与具体应用需求和网络结构相关的容错路由、可靠路由和服务质量路由等问题的研究。

总而言之,虽然国内外的学者们在 WSN 的分簇路由协议研究上做了大量工作,但能很好的解决无线传感网的负载均衡,能量高效,有效延长网络寿命的路由协议还需要进一步深入研究。

## 参考文献

- 1 Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- 2 王毅,张德运,梁涛涛.无线传感器网络分区能耗均衡的非均匀分簇算法.西安交通大学学报,2008,42(4):389-394.
- 3 董杨,郭拯危,王青正.一种基于非均匀分簇的 WSN 路由协议.郑州轻工业学院学报(自然科学版),2009,24(6):70-74.

- 4 Yang M, Wang JP, Gao ZG, et al. Coordinated robust routing by dual cluster heads in layered wireless sensor networks. Proc. of the 8th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks. IEEE Computer Society, 2005: 454-461.
- 5 徐小良,裘君娜.异构传感器网络中一种能量有效的簇头选择算法.传感技术学报,2009,22(3):395-400.
- 6 Handy MJ, Haase M, Timmermann D. Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection. Proc. of the 4th IEEE Conf. on Mobile and Wireless Communications Networks. Stockholm: IEEE Communications Society. 2002: 368-372.
- 7 陈雪娇,李向阳.WSN中LEACH协议的研究及改进.计算机应用,2009,29(12):3241-3243.
- 8 张磊,陈曙.一个新的基于能量和距离的传感网络协议.计算机应用,2008,28(5):1117-1119.
- 9 李成法,陈贵海,等.一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议.计算机学报,2007,30(1):27-36.
- 10 刘昊霖,朱敏,张志宏.一种基于非均匀分层的WSN分簇路由算法.四川大学学报,2010,48(7):803-807.
- 11 卢建刚,乐红兵.基于区域划分的WSN非均匀分簇算法.计算机工程与设计,2011,32(8):2639-2642.
- 12 陈贵海,李成法.EECS:一种无线传感器网络中节能的聚类方案.计算机科学与探索,2007,1(2):170-179.
- 13 Fang Q, Zhao F, Guibas LJ. Lightweight sensing and communication protocols for target enumeration and aggregation. Proc. of the 4th ACM Int'l Symp. on Mobile Ad Hoc Networking & Computing. ACM Press, 2003: 165-176.
- 14 Tillapart P, Thumthawatwom T, Pakdeepinit P, Yeophantong T, Charoenkrom S, Daengdej J. Method for cluster heads selection in wireless sensor networks. Proc. of the 2004 IEEE Aerospace Conf. Chiang Mai: IEEE Press, 2004: 3615-3623.
- 15 Nghiem TP, Kim JH, Lee SH, Cho TH. A coverage and energy aware cluster-head selection algorithm in wireless sensor networks. ICIC 2009. LNCS 5754, 2009: 696-705.
- 16 Younis M, Youssef M, Arisha K. Energy-Aware routing in cluster-based sensor networks. Proc. of the 10th IEEE Int'l Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems. Fort Worth: IEEE Computer Society, 2002: 129-136.
- 17 周钰川,施荣华,周媛媛.WSN中基于非均匀簇的混合多跳路由协议.计算机应用研究,2011,28(2):642-644.
- 18 张品,姜亚光,陈磊.基于加权优化选择两级簇头的WSN路由协议.传感技术学报,2011,24(3):447-451.

(上接第185页)

## 5 结论

在碎屑岩沉积地层中,自然伽马曲线能敏感的反应泥质含量的变化,用它做高分辨率层序地层划分最有效,将本文方法实际应用于大庆油田的测井曲线去噪处理,能有效的滤除一些与地层信息无关的统计起伏和毛刺干扰,使测井曲线更加平滑的同时保留了曲线中的细节信息,为测井曲线形态识别以及做进一步的数据分析带来便利,由于测井曲线的噪声情况复杂多变,可以根据实际需要调节可变因子,从而使测井曲线的滤波处理更加灵活,所以本文提出的改进小波阈值消噪法为测井曲线的平滑处理提供了一个有效的方法.

## 参考文献

- 1 钟雷文.基于MATLAB的煤田核测井信号小波滤波方法研究.科学技术与工程,2009,9(2):398-401.
- 2 房文静.测井多尺度分析方法及应用研究.山东:中国石油大学,2007.
- 3 邹长春,杨欣德.一种基于小波变换的测井曲线去噪新方法.物探与化探,1999,23(6):462-466.
- 4 郭锐.测井数据的小波分析方法.长春:吉林大学,2011.
- 5 赵龙军,谭成仔,等.小波域阈值滤波在测井信号去噪中的应用.西安电子科技大学学报,2007,27,(2):263-267.
- 6 孙延奎.小波分析及其应用.北京:机械工业出版社,2005.
- 7 毛海杰,陈晓辉,等.基于自适应阈值的小波消噪算法研究及应用.甘肃科学学报,2008,20(2):116-119.
- 8 潘泉,孟晋丽等.小波滤波方法及应用.电子与信息学报,2007,29(1):236-242.
- 9 张维强,宋国乡.基于一种新的阈值函数的小波域信号去噪.西安电子科技大学学报,2004,31(2):296-303.
- 10 叶重元,黄永东.小波阈值去噪算法的新改进.计算机工程与应用,2011,47(12):141-145.