

## Research on Topology Control Algorithm of Mobile Sensor Networks Based on Cluster Head Selection\*

ZHAGN Yun<sup>1,3</sup>, SONG Ruyun<sup>1</sup>, CHEN Zhi<sup>1,2,3,4\*</sup>, HU LuoQuan<sup>5</sup>, YUE Wenjing<sup>4</sup>

- 1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;
- 2. State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China;
- 3. Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China;
- 4. Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology, Ministry of Education, Nanjing 210003, China;
- 5. Suzhou Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Suzhou Jiangsu 215104, China

**Abstract:** With the mobility, limited energy, dynamic change characteristics of mobile sensor network nodes, a clustering topology control algorithm NACA is proposed for mobile sensor networks. The algorithm of NACA absorbs the simpleness of the lowest ID algorithm, improve it, propose a new concept of Corresponding rate, at the same time consider the factors of limit energy, mobile speed and neighbors node number. Through the case analysis, NACA algorithm is compared with WCA algorithm and HD algorithm. Case analysis shows that the proposed algorithm has fast initial convergence, mobile sensor networks have stable topology and longer lifetime.

**Key words:** mobile sensor networks; cluster head; topology algorithm

EEACC: 6150P

doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2011.11.018

## 基于簇头选择的移动传感网拓扑控制算法研究\*

章 韵<sup>1,3</sup>, 宋汝芸<sup>1</sup>, 陈 志<sup>1,2,3,4\*</sup>, 扈罗全<sup>5</sup>, 岳文静<sup>4</sup>

- 1. 南京邮电大学计算机学院, 南京 210003;
- 2. 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室, 南京 210093;
- 3. 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 南京 210003;
- 4. 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 南京 210003;
- 5. 苏州出入境检验检疫局, 江苏 苏州 215104

**摘 要:** 针对移动传感网节点的移动性、能量有限性、动态变化性特点, 提出了一种移动传感网分簇拓扑控制算法 NACA。NACA 算法吸收最小 ID 算法简便的优点, 将其改进, 提出新概念响应率, 同时考虑了能量有限、移动速度和邻居节点数目等因素。通过实例分析, 将 NACA 算法和 WCA 算法、HD 算法进行比较, 分析表明该算法初次收敛快, 能够使得移动传感网具有更稳定的拓扑结构和更长的生命周期。

**关键词:** 移动传感网; 簇头; 拓扑算法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2011)11-1602-05

无线传感器网络<sup>[1]</sup>是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络, 可应用于军事、环境监测和预报、健康护理、智能家居等领域, 已成为计算机与通信领域的一个研究热点。针对无线传感器网络能量受限的特点, 要想设计能量高效的 MAC 协议、路由协议等, 必须要设计优化的网络拓扑控制机制<sup>[2]</sup>,

以提高 MAC 和路由协议的效率, 减少干扰和系统吞吐量, 为数据融合、目标定位等奠定基础。

移动传感网<sup>[3]</sup>是一类节点可以移动的无线传感器网络, 可应用于监测野生动物的生活、追踪病人的心跳情况等。现阶段移动传感网研究集中于拓扑控制技术、路由技术、定位技术等, 研究较多的是一个节点或几个节点移动的情况。由于在某些情况

**项目来源:** 国家自然科学基金项目(60905040); 江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK2011756); 江苏高校优势学科建设工程项目(yx002001); 江苏省博士后科研计划项目(1101006B); 江苏省高校自然科学基金研究计划(08KJB520007, 11KJB510018); 南京邮电大学科研基金项目(NY207020, NY210011, NY211009)

收稿日期: 2011-04-22 修改日期: 2011-08-10

下,如检测大楼某些地方可能有大量有毒物质,需较多节点不断移动感应信息,本文研究的是较多节点移动情况下,移动传感网分簇拓扑控制算法。

## 1 现有分簇算法分析

分簇算法产生的层次型拓扑具有很多优点,可以减少通信负载和节点能耗、平衡负载、延长网络寿命和增强网络的可扩展性等,因此分簇算法非常适合大规模的无线传感网。

HD(Highest Degree)算法<sup>[4]</sup>选取具有最高度数(即具有最多邻居节点)的节点作为簇头。该算法的优点在于网络中簇的数目较少,从而减少了分组投递的时延。但是,当节点移动性较强时,簇头更新的频率会急剧上升,簇结构变化较快,会引起大量维护开销。最小 ID 分簇算法是一种简单的分簇算法<sup>[5]</sup>,该算法给每个节点分配一个全网唯一的 ID,每个节点和相邻一跳的节点比较 ID,选出相邻节点中具有最小 ID 的节点作为簇头节点。最小 ID 算法优点是计算简单,实现方便,算法收敛较快。但是,没有考虑节点移动性、能量消耗等因素。现阶段较多将最小 ID 算法进行各方面的改进,但是多数只是强调某一个方面,局限性较大。分簇算法中,簇的大小也是一个很重要的考虑因素。WCA(Weighted Clustering Algorithm)<sup>[6]</sup>算法,预先指定一个簇所拥有的理想的成员个数  $Q$ ,让每个簇个数接近于  $Q$ 。在选举簇头的时候综合考虑簇内节点个数、节点的移动性、节点距其一跳邻居的距离和以及节点担当簇头的时间等四个因素,算法选举具有最小权重的节点担当簇头。缺点是分簇过程开始前必须事先知道所有的权值,信息转发开销较大。

在综合考虑能量、速度、簇内限制等因素下,本文在最小 ID 算法和权值算法的基础上,提出了一种新的分簇算法 NACA(New Adaptive Clustering Algorithm)。该算法首先运用改进的最小 ID 算法选择簇头节点,在簇的维护过程中,使用的是类似权值算法在簇内部进行簇头选择及更换。

## 2 NACA 算法

最小 ID 算法引言中已经介绍,针对最小 ID 分簇算法的不足,一种最小 ID 改进算法<sup>[7]</sup>被提出。该算法考虑了节点的移动性和能量消耗,使节点能量消耗更均衡,但是该算法没有控制簇成员的数量,NACA 算法改进文献<sup>[7]</sup>的算法,在簇头选择中综合考虑能量、速度和簇的大小。

基本假设和前提 ①移动节点都在区域内随机的移动,都为普通传感器节点。②一定范围内有一

个 Sink 即汇聚节点,此范围内的移动节点都可以接收到 Sink 节点的信号。Sink 专门收集簇头节点或者网关节点的信息,然后将信息融合,最后将信息经过网络传输到控制中心,Sink 节点保持固定状态。③所有节点都具有相同的初始能量供应  $e$ ,每个普通传感器节点的发射功率相同。

NACA 算法将整个分簇过程分为初次簇头选择和簇的维护过程,在簇的维护过程中的簇头的选择采用新的算法。

### 2.1 初次簇头选择算法

利用最小 ID 分簇算法成簇快速、简单、高效的优点,NACA 算法将最小 ID 算法改进,添加了簇头对成员的限制,快捷又有效的完成了初次簇头的选择。

下面提出一新概念,响应率。响应率即所有传感器节点传送自己的 ID,之后节点都收到邻居节点的 ID 号,在所有包括自己节点在内的 ID 号中选择最小的,作为预簇头节点(如果本身最小就不用传),传送给那个预簇头节点告诉之。下面给出两个公式:

$$L_i = N_{i_j} / N_{in} \quad (1)$$

$L_i$  是节点  $v_i$  的响应率, $N_{i_j}$  是节点  $v_i$  收到的自己为预设簇头节点的数量, $N_{in}$  是节点  $v_i$  的邻居节点总数。

$$K = N_o / N \quad (2)$$

$K$  是加入原簇的成功率, $N_o$  是预设簇头与最终簇头相同的节点数, $N$  是总节点数。

网络初始化时,为每个节点分配标识符 ID,保证其 ID 是全网唯一的。在传感器节点传递信号然后算出自己的响应率后,将自己的响应率传送给预簇头节点,预簇头节点比较下自己的响应率,如果最大,将邻居节点的响应率从小到大排列将前  $g(g \leq m)$ <sup>[8]</sup>,存储为自己的簇内成员,然后给这几个发送信号,告诉它们已经加入本簇。

网络开始时记下时间  $t_1$ ,每个节点计算完响应率,亮下黄色的灯,最后一个亮黄灯的时间记下时间  $t_2, t = t_2 - t_1, T_i = 1.5t$ 。节点如果不是在邻居节点中响应率最大,第二位或者是第三位的话,过了  $T_i$  时间还是没有收到预簇头的信号,这时发送自己为簇头节点信号,并将本来预设本节点为簇头的那些节点设为成员,给这些节点发送信息。

节点在  $T_i$  时间内收到预簇头的信号,则将预簇头标志改为簇头。如果  $T_i$  时间还没有收到预簇头的信息,但是收到了邻居的某个节点的簇头信息,申请加入此簇,那个簇头如果收到了这个信号,再检查下簇内数量,如果在  $m$  内的话,可以加入,将此节点加入表中,发送确认信息。过  $T_m(T_m = 2T_i)$  时间都没有收到任何簇头信息,则将本节点设为簇头,将

信息发送出去。

传感器节点每隔一定时间发送信号给 Sink 节点, Sink 节点将接到信号的节点和信号的大小存储在表中, 然后将这个表传递给标识是簇头的节点, 簇头节点收到这个表, 可以查出自己是不是可以直接将信息传递给 Sink 节点, 如果自己不能直接传递信息给簇头, 检查表中是否有本簇成员的节点, 有并选信号最大的, 将之设为网关节点。如果没有本簇的成员, 则选某个相邻的可以连接的簇头节点做为本簇的网关节点。

## 2.2 网络维护过程

### 2.2.1 网络维护过程

在每个 Hello Period (HP)<sup>[9]</sup> 后每个簇内部重新选择新的簇头。在每个 HP 时间内, 每个节点连续发送 2 个 speed 信号(包含节点 ID 和 CID, 有一个特殊值表明特殊信号)给周围其他节点, 每个节点可以根据连续接收的两个 speed 信号强度判断某个节点是离自己越近或者越远, 将越近的标示出来, 计算出数量是  $N$ 。

在每个 HP 时间内, 每个移动节点  $v_i$  计算下面的函数值:

$$W_{v_i} = \omega_1 E_{v_i} + \omega_2 M_{v_i} + \omega_3 G, \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1 \quad (3)$$

$E_{v_i} = 1 - E_{\text{curr}_{v_i}} / E_{\text{ini}}$ ,  $E_{\text{curr}_{v_i}}$  指节点  $v_i$  当前剩余电池电量,  $E_{\text{ini}}$  为初始能量<sup>[10]</sup>。  $M_{v_i}$  代表 HP 时间内  $v_i$  节点相对于其相邻节点的平均相对移动速度,  $G = 1/N$ 。

假设接收节点能够检测出接收信号的功率, 通过度量从同一个发送者接收两个连续信号强度<sup>[8]</sup>, 就可以知道相对稳定性了, 其相对移动性度量定义为<sup>[11]</sup>:

$$M_Y^{\text{rel}}(x) = 10 \lg \frac{R_x P_{rx \rightarrow y}^{\text{new}}}{R_x P_{rx \rightarrow y}^{\text{old}}} \quad (4)$$

如果这个度量的值是一个较大的负数, 那么节点离开的速度就很快。反之, 节点之间的距离则相对稳定。

对于任意节点  $v_i$ , 如果其有  $m$  个相邻节点, 相邻节点是选择接收到的信号强度相比较大的  $m$  个节点, 他就要计算  $m$  个  $M_{v_i}^{\text{rel}}$  值, 通过计算  $m$  个  $M_{v_i}^{\text{rel}}(x_i)$  相对 0 的二阶矩从而得到节点  $v_i$  相对  $m$  个邻节点的平均相对移动速率:

$$M_{v_i} = \text{var}_0 \{ M_{v_i}^{\text{rel}}(x_j) \}_{j=1}^m = E \{ (M_{v_i}^{\text{rel}})^2 \} \quad (5)$$

$M_{v_i}$  越小说明  $v_i$  相对于其邻节点的移动性越低, 相反,  $M_{v_i}$  越大表示其相对邻节点的移动性越高。相对于其他的计算, 平均相对移动速率的计算是简单的。

每个移动节点  $v_i$  把  $W_{v_i}$  值和自己的 ID 号和 CID 传给自己的簇头, 簇头节点发现此 CID 与自己相同, 把信息记录下。在 HP 时间后, 簇头把收集来的

$W_{v_i}$ , 选择  $W_{v_i}$  最小的作为簇头, 如果  $W_{v_i}$  值相同, 随机选择其中一个作为簇头节点。

### 2.2.2 簇的维护过程

在每相隔  $T_1$  (相对时间比较短), 簇头节点发送 hello 信号。普通节点可能会收到其他簇头节点的 hello 信号, 先存储下来, 过  $T_2$  时间, 把这几个信号大小(包括原簇头)比较, 试探选收到的最大信号的簇头为本 CID (若还是原簇头信号最大, 则不用修改), 暂时不修改 CID, 发送 request(my\_ID, my\_CID, 还包含一个标识 request 的值) 信号, 当某个簇头发现一个节点的 CID 为自己, 此节点检查本簇成员, 原本不在自己的簇内部成员表中, 若不大于上限, 则将此节点加入表中, 给那个节点发送确认信号, 否则发送拒绝信号<sup>[12]</sup>。当那个节点收到了确认信号, 则将此节点 CID 改成那个簇节点; 否则选收到的信号量小一点, 试试能不能加入。

每隔  $T_3$ , 簇头节点检查自己簇成员, 如果某个簇成员最后一次的 hello 信号(或者是发送信息给簇头)已经离现在有  $T_4$ , 则将此节点从簇成员表中删除。

## 3 实例分析

将 20 个传感器节点随机的布置在宽度为 10 m × 10 m 的正方形广场上, 传感器的传输距离是 3 m, 采用随机移动方式。节点初始分布如图 1, 节点很随机的散布在区域中。第一次用最小 ID 改进的算法之后的拓扑图形如图 2。表 1 是初次分簇的簇头选择相关信息。

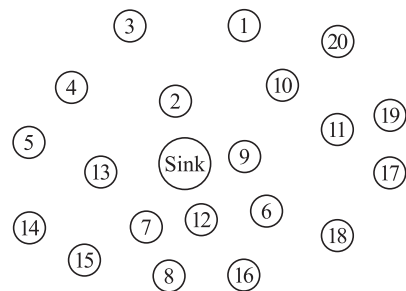


图 1 节点初始分布

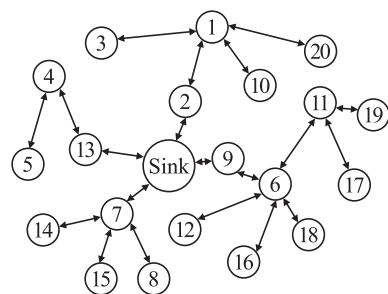


图 2 初次簇头选择

表 1 初次分簇选择相关信息

节点号	相邻节点	预簇头	响应率	最终加入簇头	K
1	3、2、10、20	1	1	1	85%
2	1、9	1	33.30%	1	
3	1、4	1	33.30%	1	
4	5、3、13	3	50%	4	
5	4、13、14	4	25%	4	
6	9、12、16、18、11、10	6	71.40%	6	
7	15、8、12、14	7	80%	7	
8	7、15、12	7	0%	7	
9	6、2、12	2	0%	6	
10	1、11、6、20	1	0%	1	
11	6、17、19、20、10	6	33.30%	11	
12	6、9、7、8、16	6	0%	6	
13	5、4、14	4	0%	4	
14	5、13、15、7	7	0%	7	
15	7、8、14	7	0%	7	
16	6、18、12	6	0%	6	
17	11、19	11	0%	11	
18	6、16	6	0%	6	
19	11、17	11	0%	11	
20	1、11、10	1	0%	1	

表 2 第一、二次分簇相关信息表

	第一次分簇簇头节点	第二次分簇簇头节点	簇头的更改率	总的剩余能量/原总能量百分比	二次分簇后节点死亡率
HD 算法	1、5、6、12	2、5、7、12	50%	75%	10%
WCA 算法	1、4、7、11、12	2、4、7、10、12	40%	87%	6%
NACA 算法	1、4、6、7、11	1、4、6、7、12	20%	90.5%	0

图 3 是在不同移动速度下的网络生命周期对比图。在静止的状态下(速度为 0m/s), 三种算法的生命期相差不大。HD 算法选择簇头条件简单, 所以与 NACA 初次算法计算量相似。随着速度的增加, WCA 算法随着速度越来越大, 交换的信息越来越多, 导致改变较大。HD 算法在节点移动时为了找到簇头, 需要发送大量信息, 导致生命周期下降明显, 但是随着速度增加, HD 算法的选择条件还是一样, 所以之后改变不大。NACA 算法进行一次快速的簇头选择后, 在簇维护过程中, 由于簇头节点的选择只在簇的内部, 兼顾节点的移动、能量等因素, 选择的簇头可以保持相对较长的时间, 网络的拓扑结

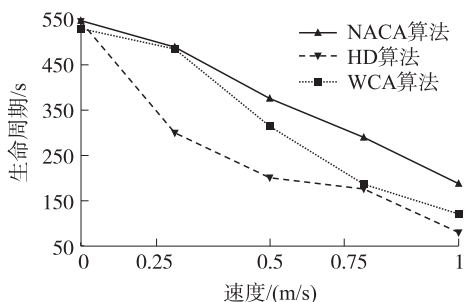


图 3 网络生命周期图

图 1 是网络初始分布, 在用 NACA 算法的初次分簇算法后, 节点的分布图 2 中可以看出网络的簇头分布比较均匀, 簇内成员数合理。表 1 是用 NACA 算法的式(1)、式(2)计算出来的, K 是加入原簇的成功率, 从表中可以看出, 在簇内成员限制下, 节点加入预设簇头的概率比较高, 从而减少了算法时间, 使得网络有较快较好的收敛性。

在相同的条件下, 将 NACA 算法和 HD 算法、WCA 算法进行比较, 网络的生命周期是以节点死亡数目在 80% 时网络的持续时间。

表 2 是三种算法在第一、二次分簇后的相关信息的比较。从表中数据可以看出 HD 算法没有考虑速度因素, 所以在节点移动中的簇头选择则要消耗相对较多能量, 某个节点可能一直担当簇头节点, 节点死亡率相对比较高。WCA 算法中的簇头选择的计算较多, 能量消耗较大。NACA 算法考虑的是相对邻节点的速度, 兼顾能量, 在第二次分簇后没有一个节点死亡。

构改变不会太大, 随着速度的增加, 生命周期只是呈现缓慢的下降。

### 4 结束语

分簇拓扑控制是簇内传感器节点将信息传输给簇头, 簇头节点将信息融合, 然后传送给 Sink 节点。NACA 算法首先采用了最小 ID 改进的算法进行簇头的选择, 快捷有效的进行了第一次簇头选择。之后的过程中簇头更改只在簇内进行, 减少了信息的交换数量。每个簇头节点都有个信息表进行节点之间的维护, 节点可以进行随时的扩充。更换簇头兼顾了能量、速度等因素, 簇头能保持较长时间, 网络拓扑结构改变较少, 网络具有较长的生命周期。

### 参考文献:

- [1] 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, 2005. 120-250.
- [2] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [C]//IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [3] Howard A, Mataric M J, Sukhatme G S. Mobile Sensor Network Deployment Using Potential Fields: A Distributed Scalable Solution to

- the Area Coverage Problem, Proc. Int. Conf. Distributed Autonomous Robotic Systems, pp. 299-308, 2002.
- [4] Zhao L, Lloyd E L. The Impact of Clustering in Distributed Topology Control [C]//Proc. of CIC'06 (WORLDCOMP) June 2006, pp. 21-27.
- [5] 贺鹏, 李建东, 陈彦辉. Ad Hoc 网络中基于方向性天线的分布式拓扑控制算法[J]. Journal of Software, 2007, 18(6): 1308-1318.
- [6] 胡刚, 谢东梅, 吴元忠. 无线传感器网络路由协议 LEACH 的研究和改进[J]. 传感技术学报, 2007, 20(6): 1391-1396.
- [7] Chatterjee M, Das S, Turgut D. WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad hoc Network [J]. Journal of Cluster Computing, 2005, 5: 193-204.
- [8] Xu Kai-xin, Hong Xiao-yan, Gerla M. An Ad Hoc Network with Mobile Backbones [C]//IEEE International Conference on Communications, 2002-05.
- [9] 姜华, 郑春雷, 刘海涛. 无线传感网中链路级能量有效策略的研究[J]. 传感技术学报, 2006, 19(6): 2738-2742.
- [10] Zhao L, Lloyd E L. Distributed Topology Control for Stationary and Mobile Ad Hoc Networks [C]//Proc. IEEE MASS' 06, October 2006.
- [11] 杜向党, 李亦洋, 石秀华. 无线传感器网络基于类的簇头选择算法改进[J]. 传感技术学报, 2008, 21(7): 1202-1206.
- [12] 程伟明, 周新运. 一个用于 Ad Hoc 网络的分簇方法[J]. 计算机学报, 2005(5): 864-869.



章 韵(1963-), 男, 安徽芜湖人, 教授, 博士, 南京邮电大学硕士生导师, 主要研究方向为计算机在通信中的应用、计算机网络等, zhy@njupt.edu.cn;



宋汝芸(1987-), 女, 安徽合肥人, 南京邮电大学硕士研究生, 主要研究方向为计算机应用技术、物联网与传感网等, xiaoyun8786@126.com;



陈 志(1978-), 男, 江苏淮安人, 副教授, 南京大学博士后, 南京邮电大学硕士生导师, 主要从事传感网、Agent 与多 Agent 系统、软件工程与服务科学等方面的研究, chenz@njupt.edu.cn;



扈罗全(1972-)男, 江苏宜兴人, 博士。江苏检验检疫系统学科带头人, 苏州大学工程硕士研究生指导老师, 已在国内外各类学术刊物和学术会议上发表论文 100 余篇, SCL/EL/ISTP 收录 30 余篇, 主要研究方向为无线通信与电磁兼容、随机模型等, hulq@jsciq.gov.cn。