

# 基于簇半径差异化和节点能量区间的分簇算法<sup>①</sup>

许晓天, 李德敏, 周凡, 紫罗

<sup>1</sup>(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

<sup>2</sup>(数字化纺织服装技术教育部 工程研究中心, 上海 201620)

**摘要:** 提出一种基于簇半径差异化和节点能量区间的分簇算法——CRDNE 算法. 该算法用于解决电子导游系统能量均衡问题, 从而尽可能的延长网络寿命. 算法首先利用路由跳数将整个网络划分热点和非热点区域, 并根据不同区域的通信开销不同的特点, 定义了不同的区域簇半径. 然后, 根据区域簇半径和节点剩余能量所处的能量区间, 分布式地选取簇首. 最后, 将 CRDNE 算法与 LDCR、Leach-V 算法在 Matlab 平台进行多个方面仿真比较, 进一步证明了本文算法的优越性.

**关键词:** 分簇; 簇半径差异化; 能量区间

## Clustering Algorithm Based on the Cluster Radius Differentiation and Node Energy Interval

XU Xiao-Tian, LI De-Min, ZHOU Fan, Zolomaya

<sup>1</sup>(Department of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

<sup>2</sup>(Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology, Ministry of Education, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** In this paper, we propose an optimized Cluster Radius Differentiation and Node Energy interval algorithm, the CRDNE algorithm. This algorithm is aimed to prolong the network lifetime of electronic guide systems by balancing nodes' energy. In our CRDNE algorithm, we divide the tour guide area into hot spots and non-hot spots by routing hops firstly. Then, according to the characteristics of different spots, we give different definition of cluster radius. At last, we select the cluster head based on interval energy. At the end of our paper, we also give simulation results by comparing CRDNE algorithm, LDCR algorithm and Leach-V algorithm to show the superiority of our algorithm based on Matlab.

**Key words:** clustering; cluster radius; differerntiation; energy interval

随着国内外电子导游系统的发展, 研究者对语音导游系统的研究正如火如荼地进行中. 目前, 电子导游系统的设计已经逐步完善, 但是如何实现能量均衡、延长网络寿命是值得关注的问题<sup>[1]</sup>.

关于无线传感器网络的路由协议有很多<sup>[2]</sup>, 从网络拓扑结构角度大概可以分为两类: 平面路由协议和层次路由协议. 平面路由协议比较简单, 但是建立和维护路由的开销比较大, 一般适合于小规模的网络. 层次路由协议主要运用分簇思想, 可以降低节点复杂性, 减少数据传输冗余度, 在很大程度上节省网络能量, 非常适合较大规模的网络.

电子导游系统节点相对较多, 应用于无线传感网络的分簇算法是解决电子导游系统节能问题的有效途径. 而在层次分簇路由算法中 LEACH 算法<sup>[3]</sup>是最为经典算法, 受到很多研究者的关注.

经典的 LEACH 算法有一定的局限性: 簇首选择具有随机性, 使得每一簇的成员个数不确定, 如果簇成员较多、簇首负担较大, 则会导致几轮后个别节点能耗过大; 在簇首选举时, 算法没有考虑节点剩余能量, 会导致剩余能量低的节点仍有可能当选为簇首. 因此, 本文在 LEACH 算法的基础上提出了 Cluster Radius Differentiation and Node Energy(CRDNE)算法.

① 基金项目:国家自然科学基金(71171045);上海市科委保密专项项目(11JG0500300)

收稿时间:2014-05-24;收到修改稿时间:2014-07-24

## 1 相关工作

2000 年 Heinzelman 等人提出的 LEACH 算法是最早的分簇算法, 算法通过自主式选举方式选举簇首. 2002 年 Heinzelman 等人提出了一种集中式的簇首选择机制 LEACH.C<sup>[4]</sup>, 当能量高于网络平均剩余能量时, 节点才有可能成为簇首. 但是每个节点需要和基站直接通信来汇报自身的位置和能量信息, 因此算法需要消耗较多的通信能量. 2004 年 YOUNIS 等人提出了分簇算法 HEED<sup>[5]</sup>, 在选择簇首时需要节点与邻居节点不断地进行通信, 因此算法的实现需要额外能量消耗. 2011 年 Chen 等人提出了一种基于 Voronoi 图单元的 LEACH-V 算法<sup>[6]</sup>, 可使簇分布均匀, 并且引入剩余能量与网络平均能量, 候选簇首的当前剩余能量要高于网络平均能量. 但是簇首选取的每一轮都要计算整个网络的剩余能量, 计算量较大. 2013 年 Zhao 等人研究出基于 LEACH 的差异化分簇路由算法 LDCR<sup>[7]</sup>. 根据热点、非热点执行不同的路由算法, 并考虑节点剩余能量来实现改进方案. 但是关于热点、非热点并没有给出具体的划分; 候选簇首节点成为正式簇首时, 需要通过向大范围广播来竞争当选, 这样会增加网络开销.

本文的贡献: 1、利用路由跳数划分热点和非热点区域, 更加清楚地划分区域可以保障算法的精确度, 详见 2.3 节. 2、根据不同区域的特点, 定义不同区域簇半径, 处于不同区域的簇首拥有不同的簇半径可以合理利用能量, 避免距离导游节点较近的节点能量过早流失. 3、提出一种基于节点能量区间的分布式簇首选取机制, 将热点区域的簇首能量分为不同区间, 使簇首选取中减少广播开销, 既避免剩余能量较小的节点成为簇首, 又可以均衡整个网络的能量, 详见本文 2.4 节.

## 2 假设条件与主要工作

### 2.1 假设条件

假设携带电子导游设备的游客节点随机分布在一个正方形的环境内, 节点可以定位自己所处地理位置, 整个网络由导游节点进行协调控制. 本算法首先对热点区域采用更加细致的分簇方式, 以利于提高能量利用率.

### 2.2 构造 Voronoi 图单元<sup>[6]</sup>

首先, 将整个区域划分为若干小区域, 考虑簇首在整个区域较均匀的分布, 利用 LEACH-V 算法将区域进行如图 1 的划分.

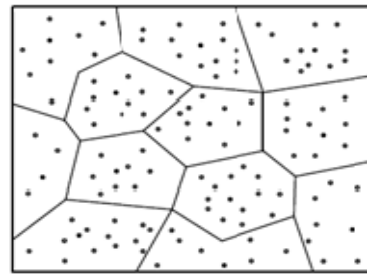


图 1 Voronoi 图单元

### 2.3 划分热点与非热点方法

考虑到目前无线导游系统中的语音通信质量, 网络中的路由跳数应该控制在 5 跳以内<sup>[8]</sup>, 并经实验得以验证超过五跳之后, 网络通信效果较差, 丢包率比较严重. 本文算法以导游机为中心, 将距离导游机 3 跳以内的游客机定为热点区域, 将大于 3 跳的游客机定为非热点区域. 其中热点和非热点区域的边界线为不规则多边形(如图 2), 边界线极有可能跨越两个根据 Voronoi 划分的区域. 规定若某区域以 Voronoi 图划分的区域比以热点划分方法划分出的区域的面积大, 则该区域属于热点区域, 反之属于非热点区域, 如图 3 为划分好的某一随机时刻网络分布. 由于热点区域中传感器节点需要进行信息交互的数据较多, 节点承载的传输压力较重, 容易造成网络寿命不长的后果. 为了节省网络能量损耗, 热点区域应采用较小的簇规模, 而非热点区域采用较大的簇规模.

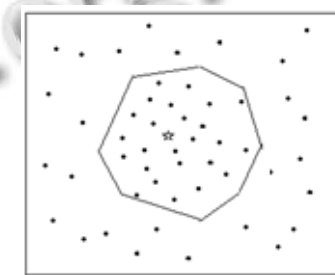


图 2 区域的划分

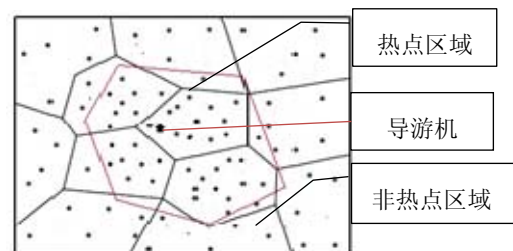


图 3 某一随机时刻网络分布

## 2.4 合理选择簇首方案

本算法考虑了不同区域采用不同大小的簇半径, 从而延长整体簇的使用寿命. 同时, 为了实现簇首在整个区域中较均匀地分布, 本算法根据节点的剩余能量, 分析下一轮选择时该节点能否担任簇首; 根据节点的剩余能量值所处的区间, 选择剩余能量相对多的节点作为簇首.

### 2.4.1 调整簇半径

假设网络中的节点被平均分成  $N$  个正方形的簇, 网络所在区域的总面积为  $S$ ,  $N$  个簇首均匀的分布在簇的中心, 则理想状态下满足覆盖条件的簇半径可以表示为

$$r = \sqrt{(S / 2n)}$$

由于热点区域节点数量和交互较多, 考虑缩小热点区域簇半径, 可以减轻热点区域簇首的能量负担. 通过实验分析, 定义热点区域的簇半径为  $r/4$ , 非热点区域的簇半径为  $r$ .

对于不同的区域来说, 簇的大小应该有所不同, 并且由簇半径来决定. 当簇首节点与导游机节点通信时, 根据其所处区域调整自己的簇半径. 热点区域的簇首缩小半径以节省能量, 非热点区域的簇首节点通过扩大簇半径以均衡能量, 从而达到能量均衡的目的.

### 2.4.2 改变能量公式

为避免能量较低的节点被选为簇首, 进一步均衡网络能量分布, 延长网络寿命, 本文引入能量区间辅助簇首选取. 首先将簇首的能量分为三个区间  $a(0, E_{live})$ 、 $b(E_{live}, E_{min})$ 、 $c(E_{min}, E_{max})$ . 其中  $E_{live}$  是节点能够保持正常通信所需要的正常能量,  $E_{min}$  是节点担任簇首节点需要的最小能量,  $E_{max}$  是节点的最大能量即初始能量. 在节点与簇首进行通信时加入剩余能量感知, 当簇首的剩余能量处于区间  $b$  时, 需要重新选取簇首; 当簇首的能量处于区间  $a$  时, 则要考虑此时的簇首节点将不会被再次选为簇首.

本文采用典型能量模型<sup>[9]</sup>, 传输  $k$  bit 能量到达距离为  $d$  的位置, 发送端所需要损耗的能量  $E(k,d)$  为

$$E(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ kE_{elec} + k\epsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases}$$

接收端能量消耗  $E_R(k)$  为

$$E_R(k) = kE_{elec}$$

$E_{elec}$  表示发射电路消耗的能量,  $\epsilon_{fs}$  表示当传输距

离小于  $d_0$  时, 功率放大所需要的能量,  $\epsilon_{mp}$  表示当传输距离大于等于  $d_0$  时功率放大所需要的能量.

当普通节点接收到当前簇首节点的信息时, 根据传输能量可以计算出剩余能量所处区间, 当前能量  $E_T = E_{max} - \sum_{i=0}^n E_{elec(i)}$  其中  $i$  为轮换次数.

更换簇首时, 当导游机只收到一个节点竞选簇首时, 那么导游节点就向该节点发送同意信息. 当有多个节点竞选簇首时, 则需加入权重系数, 选择权重最大(能量最大)的节点为簇首, 权重函数  $A(m,n)$  的定义为

$$A(m, n) = \alpha \frac{E_T(n)}{E(E_T(P_m))} + (1 - \alpha) \frac{R_n}{E(R_n)}$$

$m$  表示协调器节点,  $n$  表示候选簇首节点集合  $P_m$  中的某个值,  $E_T(n)$  表示候选节点的剩余能量,  $E(E_T(P_m))$  表示所有候选节点剩余能量的数学期望,  $R_n$  为候选节点的路由跳数,  $E(R_n)$  为所有候选节点路由跳数的数学期望,  $\alpha$  为加权系数且  $\alpha$  小于 1. 候选簇首节点的剩余能量越大, 则比值越大, 那么该候选节点成为下一轮簇首的可能性越大.

## 3 算法描述

根据前面的理论基础, 基于簇半径差异化和节点能量区间的分簇算法——CRDNE 算法的描述如下:

Step1 网络部署完毕, 所有节点进入工作状态.

Step2 若是网络首轮启动, 导游节点向所有节点广播网络初始化消息; 若是非首轮启动, 导游节点向全局发送消息唤醒所有节点, 节点进入准备状态.

Step3 根据 Leach-V 算法形成 Voronoi 图达到簇首较均匀分布.

Step4 根据路由跳数划分热点、非热点区域.

Step5 不同区域的簇首节点动态调整簇半径以均衡能量.

Step6 当节点与簇首节点通信时根据当前节点能量区间, 执行簇首选择机制.

Step7 网络运行进入相对稳定阶段. 当节点分布变化之后, 转到步骤 2, 网络循环进行.

## 4 仿真与分析

### 4.1 仿真场景

在 Matlab 平台上对本文的 CRDNE 算法与 LDCR、Leach-V 算法多个方面进行模拟仿真. 采用与文献[7]相

同的仿真场景,假设使用小规模随机部署的传感器网络,传感器节点是地理位置感知的.假设节点随机分布在 $(x=0, y=0)$ 和 $(x=100, y=100)$ 的正方形区域内,信源节点位于 $(x=50, y=50)$ 的位置.信道的带宽为 1 Mbps,数据包大小为 500 bit,能量模型如表 1.

表 1 能量模型参数

参数名	参数值
节点初始能量	2J
传输能量 $E_{elec}$	50 nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	10pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013pJ/bit/m <sup>4</sup>
数据融合消耗能量EPA	5 nJ/bit/signal

#### 4.2 实验结果及分析

由图 4 可以看出热点区域能量要比非热点区域的能量消耗快一些,但是相差不大,这也实现了能量均衡的目的;图 5 可以看出,随着轮换次数的递增,相对其他两种算法,CRDNE 算法作用下的网络平均剩余能量要高;图 6 所示的是三种算法在不同节点密度下的节点消亡轮数对比,例如 200 个节点时,CRDNE 算法最后一个节点消亡轮数比另外两种算法的轮数都高,可见本文算法延长了网络寿命.

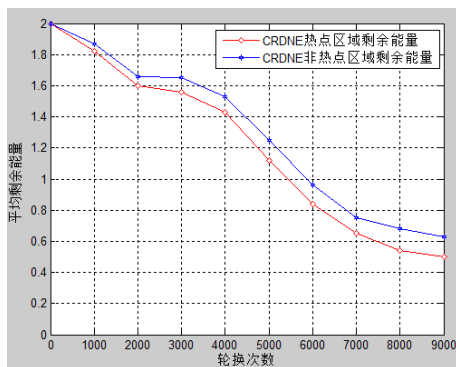


图 4 热点与非热点区域平均剩余能量对比

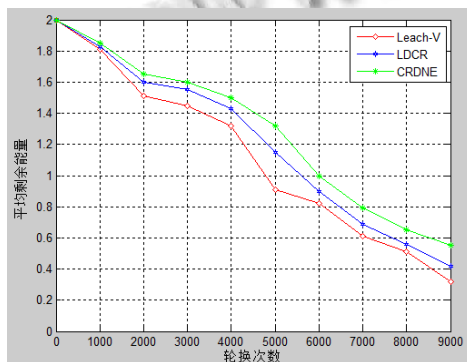


图 5 网络平均剩余能量对比

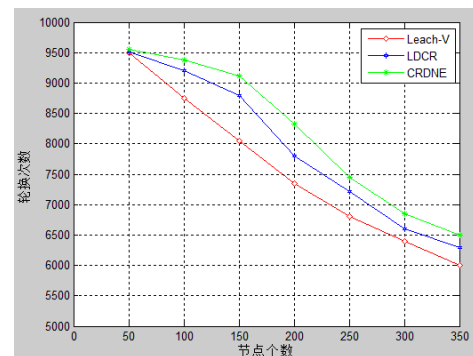


图 6 不同密度下节点消亡轮数

#### 5 结论

本文提出了一种基于簇半径差异化和节点能量区间的分簇算法——CRDNE. 该算法在选择簇首时通过利用路由跳数划分热点和非热点区域;根据不同区域的特点,定义不同区域簇半径;并提出基于节点能量区间的分布式簇首选取机制实现了改进方案.通过对 CRDNE 算法与 LDCR、Leach-V 算法运用 Matlab 进行多个方面模拟仿真,可以证明改进的路由算法能够实现能量均衡的目的.下一步的工作计划是将本文算法在 NS2 平台进行仿真并改进.

#### 参考文献

- Zou J, Li DM, Zhang M. An energy-balanced routing algorithm for ZigBee audio guide system in Ad Hoc social network. *Advanced Engineering Forum*, 2012, 6-7: 1177-1187.
- 王晓东. 无线传感器网络节能算法研究[学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks. *Proc. of the Hawaii International Conference on System Sciences*. Piscataway, USA. IEEE. 2000. 175-187.
- Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Trans. on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 660-670.
- Younis O, Fahmy S. Heed: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for Ad hoc sensor networks. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2004, 3(4): 366-379.
- 陈彬兵, 施叶玲. 基于区域簇头选择的 WSN 路由协议. *计算机工程*, 2011, 37(19): 96-98.
- 赵秀兰. 基于 LEACH 协议的差异化分簇路由算法. *计算机应用研究*, 2013, 30(3): 866-868.
- 邹剑. 基于 ZigBee 技术的语音导游系统研究与实现[硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2013.
- 刘志新, 郑庆超, 薛亮, 关新平. 一种综合能量和节点度的传感器网络分簇算法. *软件学报*, 2009, 20(zk): 250-256.