

# 一种基于地理位置的 无线传感器网络分簇路由算法

摘要：针对大规模无线传感器网络，提出了一种基于地理位置的双基站分簇路由算法。该算法在网络覆盖区域边缘设置两个基站，按照地理位置将区域划分为若干均匀分布网格。每个网格根据节点剩余能量和到网格内其它节点平均距离远近选择簇头。通过仿真分析，证明该算法能减少网络能耗，延长网络生存时间。

关键词：无线传感网络；基于地理位置的双基站分簇路由算法；分簇；地理位置；能耗

中图分类号：TN919.2 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2010)02-0031-04

汪艳红 张洪军

## 一、引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种基于无线通信技术、低功耗和自组织的网络系统。一般由一个或多个基站(Sink 节点)和大量部署在监测区域,配有各类传感器的无线网络节点构成。各节点通过路由协议联系在一起,共同完成特定的任务。

在基于区域划分的路由协议中,主要有以下几种:GAF(Geographical Adaptive Fidelity)协议、TTDD 协议、GRID 协议和 GROUP 协议等<sup>[1]</sup>。GAF 协议是将网络覆盖区域划分为多个四边形网格,网格内节点组成一个簇,定期选举出簇头节点,其它节点处于休眠状态以节约能量。GAF 协议提出的是一种节能策略,并没有解决路由转发的问题。TTDD 协议是以源节点自身为格状网交叉点构造格状网,路由请求是以洪泛的方式在交叉点间传递,该算法的缺点是信息重叠,能耗较大。GRID 协议是将网络覆盖区域划分为正方形网格,每个网格选取一个节点作为网关,负责信息转发和路由维护。当网关能量耗尽或移动出该网格时,自动选出新的网关。该算法缺点是没有采取休眠机制,路由开销较大。GROUP 协议中,由 Sink 节点选出网格基准点,进而建立一定宽度的虚拟网格。每个网格中选出一个节点作为簇头节点。该协议也没有考虑降低能耗的方法。

针对上述几种协议的问题,着眼于提高效率、降低能耗,以区域划分的思想解决 WSN 路由问题,提出了一种新的基于地理位置的双基站分簇路由算法(Double Base Stations Clustering Algorithm, DBSCA)。通过比较,证明它比现有的协议有更高的能量效率,生存周期更长。

## 二、算法描述

### 1、网络模型及网格划分

网络模型具有以下特征:

网络内节点处于平面区域,相互之间没有通信障碍,且节点位置是固定的。

本网络设立两个基站(Base Station,BS),分别位于网络覆盖区域边界两端,且两个基站之间距离已知,如图 1 所示,BS 能量不受限制。

网络中节点具有同等功能,能够进行数据融合。采用接收信号强度(Received Signal Strength, RSS)<sup>[2]</sup>

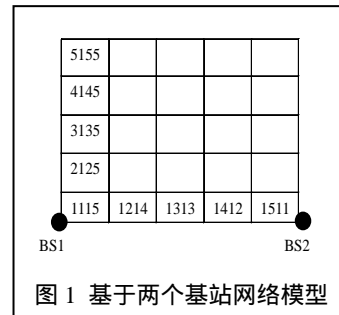


图 1 基于两个基站网络模型

法估计节点之间的距离。通信能耗符合自由空间通信模型：

$$E = \varepsilon_{amp} d^p \quad (1)$$

其中， $\varepsilon_{amp}$ —电路放大系数；

$d$ —两个通信节点的距离。

网格划分可以考虑包括三角形、矩形、菱形、正六边形、圆形等多种形式。由于矩形划分不存在重叠区域，实现过程比较简单，在实际应用中较多采用。本文算法采用与 GAF 协议、GRID 协议等类似的方形网格。如图 2 所示，为保证中心网格与相邻八个网格均能自由通信，必须满足关系式：

$$a \leq \frac{r}{2\sqrt{2}} \quad (2)$$

其中， $r$ —节点的通信半径；

$a$ —网格边长。

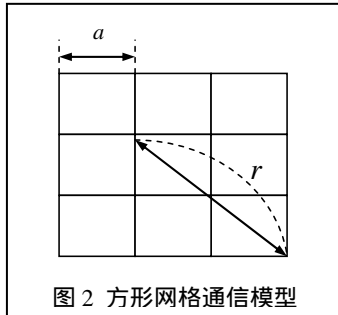


图 2 方形网格通信模型

## 2、能量模型

节点能耗主要由信号发射、接收和数据融合三部分组成，数据融合在簇头节点处完成。根据文献[3]提供的自由空间模型，当传输  $a$  bit 数据时，各部分能耗满足下列关系：

$$E_{Tx}(a, d) = E_{elec}(a) + E_{amp}(a, d) = aE_{elec} + \varepsilon_{amp} ad^2 \quad (3)$$

$$E_{Rx}(a) = E_{elec}(a) = aE_{elec} \quad (4)$$

$$E_{Dx}(a) = aE_{DA} \quad (5)$$

其中， $E_{Tx}(a, d)$ —将  $a$  bit 数据发送到距离为  $d$  节点消耗的能量；

$E_{elec}$ —发送或接收数据的单位能耗；

$\varepsilon_{amp}$ —电路放大系数；

$E_{Rx}(a)$ —接收  $a$  bit 数据的能耗；

$E_{Dx}(a)$ — $a$  bit 数据融合的能耗；

则在一个包含  $n$  个节点的簇内，簇头节点能耗公式为：

$$E_C = nE_{Rx}(a) + nE_{Dx}(a) + E_{Tx}(a, d_{c-c}) \quad (6)$$

其中， $E_C$ —簇头节点的能耗；

$E_{Tx}(a, d_{c-c})$ —簇头节点之间的发射能耗。

## 3、簇规划过程

基站根据节点通信半径以及两基站之间的距离划分网格后，基站 BS1、BS2 开始向网络覆盖区域广播初始化消息“initial”，该初始化消息包括：基站编号(ID)、位置信息(Location)、网格边长(Radius)等等。每个节点根据自身地理

位置计算各自的区域 ID 号(Region ID)，所有区域 ID 号相同的节点构成一个簇，如图 1 所示。例如，区域 ID 号 1412 表示以 BS1 为基准第 1 行第 4 列的网格，同时也是以 BS2 为基准第 1 行第 2 列的网格。

在选择簇头时，LEACH 协议<sup>[4]</sup>的办法是：每个节点选择  $[0,1]$  之间的一个随机数，如果选定的值小于某个阈值  $T(n)$ ，则该节点成为簇头。 $T(n)$  表达式为：

$$T(n) = \begin{cases} \frac{k}{N - k[r \bmod (n/k)]} & n \in G \\ 0 & n \notin G \end{cases} \quad (7)$$

其中， $N$ —网络节点总数；

$k$ —簇头节点数；

$r$ —已循环次数；

$G$ —总循环次数。

该算法选取随机数，没有考虑能耗，可能使同一节点多次被选为簇头，导致该节点过早死亡；此外，远离基站的节点被选为簇头，也会导致能耗过大。

鉴于 LEACH 协议选择簇头节点的诸多缺点，本文通过以下竞选机制选出簇头，既考虑节点的剩余能量，也把节点地理位置作为重要的参数。

$$\eta_i = \lambda \frac{E_i - \bar{E}}{E} + (1 - \lambda) \left( \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} \sigma_{i,j} \right)^{-1} \quad (8)$$

其中， $\eta_i$ —节点竞争能力值；

$\lambda$ —能量与距离加权值；

$E_i$ —节点剩余能量；

$\bar{E}$ —簇内平均剩余能量；

$\sigma_{i,j}$ —节点  $i$  到节点  $j$  的距离；

$n$ —簇内节点数。

每个节点比较自身与同簇其他节点的  $\eta_i$  值， $\eta_i$  值最大的

即为该簇的簇头节点。簇头节点选定后，向本簇广播消息，宣布自己成为簇头，收到消息的本簇节点发出回复，宣布加入该簇。

## 4、节点休眠与簇头轮换机制

当簇头节点收到了来自成员节点的加入消息后，基于成员节点的数目，产生一个 TDMA 时隙表，簇头节点给每个成员节点分配一个特定的通信时隙，成员节点只能在该时隙内与簇首节点进行通信。即在通信时隙到来时，成员节点自动苏醒，采集信息并向簇头节点发送数据。簇头节点回复信息，该节点再次进入休眠状态。若簇头节点以外失效，成员节点未收到簇头节点回复，该成员节点自动成为新的簇头。在非通信时隙内，成员节点处于休眠状态，以节约能量。在此过

程中,簇头节点一直保持侦听状态,因此能量消耗较大。

簇头节点选取需要花费较多时间和能量,因此要避免频繁更换簇头。当簇头剩余能量不低于簇内平均能量的某个百分比时(通常设为 70%)<sup>[5]</sup>,保持簇头身份不变。当簇头节点剩余能量低于该比例参数时,发起新一轮的竞选。簇头节点向簇内成员发出 Hello 报文唤醒簇内所有节点,通过计算节点竞争能力值  $\eta_i$  选出新一轮的簇头节点。网络运行之初,节点能量相当,因此  $\lambda$  值较小,即倾向于距离最优化;运行一段时间后,部分节点能量消耗较大,此时剩余能量成为主要参考,因此  $\lambda$  值较大。

### 5、路由建立及数据传输过程

本算法中簇头节点通过区域 ID 号判断向还是传送信息。具体过程为:比较区域 ID 号前两位和后两位的大小,选择较小数值所对应的基站。如 ID 号为 3436 时,前两位 34 比后两位 36 小,说明该簇头节点距 BS1 较近,能耗较小,则选择 BS1 作为汇聚节点传送信息。

在选择下一跳网格时,依旧利用区域 ID 号辅助选择。区域 ID 号一般表达式为  $[(y, x_1); (y, x_2)]$ , 当目标区域的簇头节点选择向 BS1 传送数据时,下一跳簇头节点的区域 ID 号为  $[(y-1, x_1-1); (y-1, x_2+1)]$ 。当目标区域的簇头节点选择向 BS2 传送数据时,下一跳簇头节点的区域 ID 号为  $[(y-1, x_1+1); (y-1, x_2-1)]$ 。依此类推,直到转发至基站 BS1 或 BS2。

同时,为防止下一跳网格区域出现路由空洞,当向 BS1 传数据时,可把邻居网格  $[(y, x_1-1); (y, x_2+1)]$  和  $[(y-1, x_1); (y-1, x_2)]$  作为备用路由。

表 1 数据包格式

Message	CheckID	BaseID	Time	Data
---------	---------	--------	------	------

当前簇头节点传送的数据包(Message)格式如表 1 所示。CheckID 表示下一跳节点区域 ID 号, BaseID 代表发送节点区域 ID 号, Time 代表发送时间, Data 代表需要传输的数据。收到数据包的簇头节点解析 CheckID, 若与自身区域 ID 号相符则储存 Data, 并回复确认信息表示本次通信成功。该簇头节点随即转发新的 Message, 直到到达 BS1, 路由就此建立。

### 三、仿真分析

本实验采用 Matlab 进行系统仿真。仿真环境设为 500m×500m 的平面网络区域, 随机地分布 5000 个节点, 节点最大通信半径设为 100m 距离, BS1 和 BS2 的坐标分别为 (0,0), (500,0), 各节点的能量初值在 0.4~0.5J 随机取值, 当节点剩余能量不足 0.2J 时视为死亡节点。数据包 Message 为 500bit, 发送或接收数据的单位能耗  $E_{elec}$  为 50nJ/bit, 电路放

大系数  $\varepsilon_{amp}$  为 20pJ/bit·m<sup>2</sup>, 数据融合的单位能耗  $E_{DA}$  为 50nJ/bit。传输路径上非簇头节点在每轮传输内均向簇头发送报文, 能耗为 50pJ。

#### 1、运行时间与加权值的关系

将网格边长设为 25m, 随机抽取 1 个网格作为目标区域, 按照 DBSCA 算法路由选择方法向 BS1 或 BS2 传输 500bit 数据, 发送过程循环进行。当加权值  $\lambda$  从 0.1 到 1.0 逐渐变化时, 网络中第一个死亡节点出现的时间用循环次数表示。目标区域随机抽取 50 次, 将不同  $\lambda$  下的第一个死亡节点出现的时间取均值, 得到如图 3 所示, 当  $\lambda$  值较小时, 簇头节点的选择依据主要在地理位置上, 而较少考虑节点剩余能量, 因此, 节点死亡较快; 当  $\lambda$  值增大时, 剩余能量权重不断增大, 节点死亡时间也在增大; 平衡点在 0.7~0.8 之间, 此时节点正常工作时间最长。可见, 要使网络稳定时间最长, 加权值应选择 在 0.7~0.8 之间。

#### 2、网格边长对网络性能的影响

网格边长对网络平均传输时延以及网络平均能耗影响比较大。在本文中, 平均传输时延用源节点到基站的平均跳数来表示; 平均能耗取一个循环内数据传输过程中簇头节点能耗总和。如图 4 所示, 传输时延随着网格边长的增大而减小。由此可见, 在满足通信覆盖的条件下, 网格划分不应太小。平均能耗随网格边长增加也呈下降趋势, 说明适当减少网格数能节约网络能源。

#### 3、网络生命周期

LEACH 协议是 WSN 的一种经典的分簇路由协议。在同样的仿真环境下, 对两种算法下的网络生命周期进行了比较。有关文献定义网络生命周期为网络运行开始到出现第一个死亡节点的时间跨度。当一个节点剩余能量为初始能量的 10%

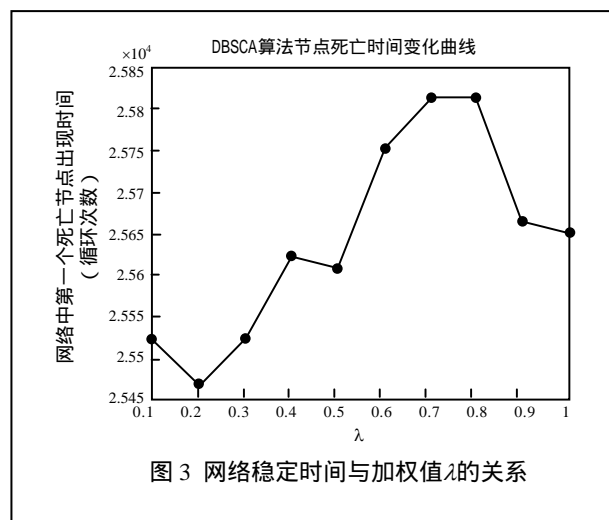


图 3 网络稳定时间与加权值  $\lambda$  的关系

时即认定为死亡节点。图 5 所示 LEACH 协议第一个死亡节点出现在  $3.8 \times 10^4$  轮, DBSCA 算法第一个死亡节点出现在  $4.15 \times 10^4$  轮。这表明 DBSCA 算法比 LEACH 协议生命周期延长了 9.2%。主要原因是 LEACH 协议各节点均可与基站通信, 没有进行路径优化; 而且 LEACH 协议没有采用节点休眠机制, 使能耗加大。

#### 四、结束语

对于无线传感器网络, 分簇路由能提高数据传输效率, 降低节点能耗, 延长网络使用寿命。把网络划分为网格区域, 以网格间的通信代替节点通信, 能使路由过程更加优化。此外, 对簇头选择进行合理的设计, 如综合考虑节点剩余能量和到网格内其他节点的平均距离, 也能有效的提高网络性能。本文提出的 DBSCA 算法就是基于以上考虑, 通过仿真分析, 验证了该算法的优越性。当然, 在设置节点剩余能量和到网格内其他节点的平均距离加权值方面, 还有进一步改进的空间。

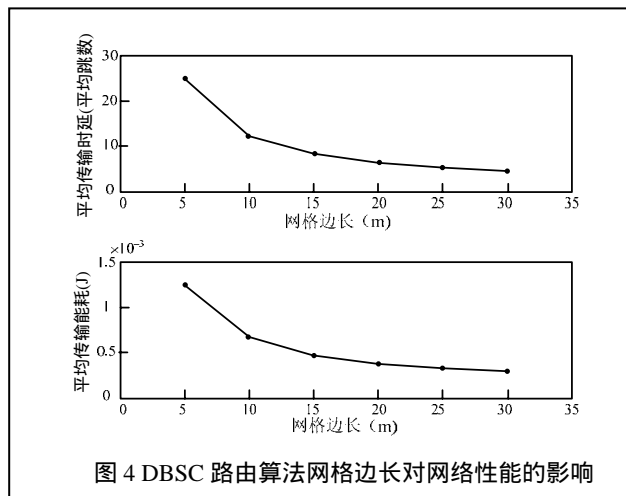


图 4 DBSC 路由算法网格边长对网络性能的影响

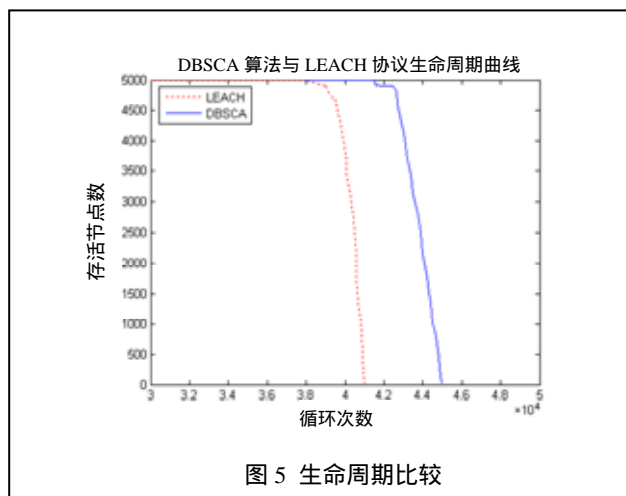


图 5 生命周期比较

#### 参考文献

[1] 李晓维, 徐勇军, 任丰原. 无线传感器网络技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007, 8: 47-60

[2] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 37-45

[3] Heinzelman W H, Chandrakasan A, Halakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless micro sensor networks[A]. Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Annual Hawaii International Conference on System Sciences[C]. Hawaii, USA: 2000: 10-19

[4] 刘文杰, 滕扬, 王鄂. 无线传感器网络分层路由协议研究进展[J]. 现代计算机. 2008, (5): 111-113

[5] Hightower J, Boriello G. Location systems for ubiquitous computing. Computer, 2001, 34(8): 57-66

#### A novel clustering algorithm for wireless sensor networks based on location information

WANG Yan-hong ZHANG Hong-jun

(Department of Information Engineering, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Focusing on large scale and high density wireless sensor networks(WSN), a new algorithm --double base stations clustering algorithm(DBSCA) based on location information is presented. This algorithm sets two base stations at the edge of WSN region. Then the region is divided into some grids of the same size by their location information. Each grid chooses its cluster base on the rest energy of node and the average distances between itself and other nodes. By simulating and analyzing, it can be justified that the algorithm could reduce the energy consumption and extend the network lifetimes

**Keywords:** wireless sensor networks(WSN); double base stations clustering algorithm(DBSCA); clustering; location; energy-consuming

#### 作者简介:

汪艳红, 解放军炮兵学院硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络定位算法、路由协议。

联系地址: 安徽省合肥市解放军炮兵学院五系 41 队

邮编: 230031

E-mail: wangyh0128@yeah.net

张洪军: 炮兵学院信息工程教研室, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络路由、定位算法。

读者服务卡编号 07