

# 无线传感器网络功率控制的质心定位算法

闫 斌, 周小佳, 王厚军, 王蜀黎

(电子科技大学自动化工程学院 成都 610054)

**【摘要】**在无线传感器网络的诸多应用中, 迫切需要对事件发生区域或者数据来源进行定位, 特别是在无锚节点的情况下。为此该文提出一种基于功率控制的质心定位算法(CLAPC), 采用离散功率控制的方式对目标区域进行虚拟网格划分, 从而确定包含未知节点的最小区域, 在提升系统能效的同时, 提高了节点的定位精度。算法无需部署锚节点, 具有较高的实用性, 仿真实验也进一步验证了算法的有效性。

**关键词** 质心定位; 网格; 功率控制; 无线传感器网络

**中图分类号** TP393.03

**文献标识码** A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.03.020

## Centroid Localization Algorithm Based on Power Control in Wireless Sensor Networks

YAN Bin, ZHOU Xiao-jia, WANG Hou-jun, and WANG Shu-li

(School of Automation Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** A centroid localization algorithm (CLA) for wireless sensor networks is presented based on power control (CLAPC). In this algorithm, the target area is divided into a series of grid cells by using discrete power control method, thus each intersection formed by these cells would be a minimal zone including the unknown nodes. As a result, CLAPC can enhance the energy efficiency of the network system and improve the precision of localization. The algorithm proposed in this paper is anchor-free localization and flexible in practice. The validity of CLAPC is evaluated and confirmed through extensive simulations.

**Key words** centroid localization; grid; power control; wireless sensor networks

在无线传感器网络的很多应用中都需要知道采集的数据或者事件发生点的位置, 没有位置信息的数据通常是没有意义的。而且, 在很多时候人们只关心诸如: “5号区域现在温度多少?”<sup>[1]</sup>等非精确位置信息, 因此, 不必通过复杂的算法或GPS等高成本、高能耗的设备获取节点的精确位置。目前的定位算法从定位手段上可分为基于测距的定位算法(range-based)<sup>[2]</sup>和无需测距的定位算法(range-free)<sup>[3]</sup>两大类。本文的定位方法基于质心定位技术, 属于无需测距的定位算法。

质心定位技术在文献[4]中首先被采用, 但是由于未知节点可能多边形区域内的任何位置, 因此该算法只能实现粗粒度的定位。为了提高定位精度, 很多算法都采用进一步缩小包含未知节点的多边形区域的方式来实现。如在文献[3]提出的APIT算法<sup>[5]</sup>中, 采用多个包含未知节点的三角形区域彼此交叠的方式, 缩小节点所属的交叉区域。但算法对锚节

点的密度要求较高, 存在固有的无法定位的节点; 为解决APIT中无法确定的节点问题, 改进后的ROCRSSI用圆环来代替三角形<sup>[6]</sup>, 同样, 多个环构成的交叉区域的质心为节点的位置坐标。在SeRLoc<sup>[7]</sup>算法中每个锚节点配置多个定向天线, 并连续向不同方向广播包含天线发射角度的信标报文, 节点根据接收到的报文确定自身所在区域, 多个锚节点所形成的区域相互交叉构成包含未知节点的最小交叉区域。而在HiRLoc协议<sup>[8]</sup>中, 信标节点通过在其连续发送的信标报文中不断变换天线方向和传输范围, 实现在不增加信标节点或定向天线的情况下减小最小交叉区域、提高定位精度。此外, 文献[9]也提出了一种基于锚节点的同心交叉圆环的定位算法CAB。但是, 上述算法都只有在锚节点密度较高的情况下才能获取较好的位置估计, 而且锚节点需配置GPS等设备来确定自身位置, 不仅增加了成本, 也使系统能耗增加。除此之外, SeRLoc等

收稿日期: 2008-11-06; 修回日期: 2009-03-20

基金项目: 四川省科技攻关计划(05G007-011-02)

作者简介: 闫斌(1974-), 男, 博士生, 主要从事无线传感器网络定位、路由及其鲁棒性等方面的研究。

算法更需要配备定向天线才能有效工作, 大大限制了算法的应用。

本文提出一种基于功率控制的质心定位算法(centroid localization algorithm based on power control, CLAPC), 该算法针对野外大面积区域、不需知道节点精确位置信息的应用场合而设计, 其目的是将节点的位置估计在一个很小的区域之中, 并以区域的质心作为该节点的位置。算法无需部署锚节点, 节点之间也不需交换信息, 不仅降低了能耗, 也降低了成本, 具有更大的可操作性。

## 1 算法描述

### 1.1 系统模型

本文算法中系统模型的相关属性描述如下:

(1) 设监测目标为1 000 m×1 000 m方形区域, 在方形区域同侧的两端分别部署两个高性能的基站(base station, BS), 其坐标分别为 $BS_1(x_{bs1}, y_{bs1})$ 、 $BS_2(x_{bs2}, y_{bs2})$ , 如图1所示。

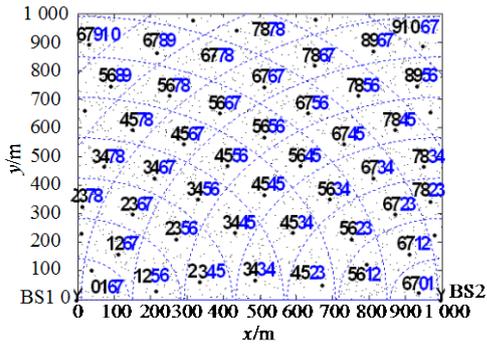


图1 虚拟网格的形成

(2) 基站本身不受能量限制, 且能够通过功率控制方法以不同功率等级向整个目标区域发送数据, 并设基站能估计覆盖全部目标区域的最大功率(以 $P_{max}$ 表示), 且已探测到不同功率下的覆盖半径。

(3) 假定基站拥有理想的球形无线信号传播模型, 其能量衰减采用自由空间模型<sup>[10]</sup>  $E = \varepsilon \cdot d^p$ , 算法中取  $p = 2$ 。

### 1.2 相关定义

**定义 1** 定义符号  $R_{r, \mu_{k,i}}^k$  表示第  $k$  个基站在第  $r$  轮、以第  $\mu_{k,i}$  级功率广播下的覆盖半径, 其中,  $\mu_{k,i}$  表示第  $k$  个基站的第  $i$  级功率。

**命题 1** 在自由空间模型  $E = \varepsilon \cdot d^2$  假设下, 基站广播的功率等级划分为  $1 \sim \tau$  级, 其中,  $\tau$  为划分的最大功率等级数, 为得到均匀分布的覆盖半径, 基站第  $\mu$  级广播功率为第一级广播功率的  $\mu^2$  倍, 其中  $\mu = 1, 2, \dots, \tau$ 。

**证明** 设基站以功率等级  $1, 2, \dots, \mu, \mu+1, \dots, \tau$  广播信息, 对应的覆盖半径分别为  $R, 2R, \dots, \mu R, (\mu+1)R, \tau R$  的均匀分布区域, 采用自由空间模型, 并用  $P_{snd}$  表示基站的广播功率, 用  $P_{rcv}$  表示节点成功收到数据包的门限功率, 有  $P_{snd} = P_{rcv} \cdot \varepsilon \cdot d^2 = cd^2$ ,  $c = P_{rcv} \cdot \varepsilon$  为常数, 则基站各等级对应的广播功率分别为  $P_{snd}^1 = cR^2$ 、 $P_{snd}^2 = c(2R)^2$ , 当以  $\mu$  级能量广播时,  $P_{snd}^\mu = c(\mu R)^2 = \mu^2 P_{snd}^1$ , 其中  $\mu = 1, 2, \dots, \tau$ , 即基站第  $\mu$  级广播功率为第一级广播功率的  $\mu^2$  倍。

### 1.3 算法设计

算法首先进行目标区域网格单元的划分并形成交叉区域, 然后以质心算法求取节点坐标。

#### 1.3.1 网格单元的划分

通过两个基站的分级能量广播, 将目标区域划分为一系列虚拟网格单元, 并为每个网格单元分配一个唯一的区域ID, 具体如下:

(1) 基站设定功率等级数、每个等级对应的功率, 并获取相应功率等级对应的覆盖半径。根据命题1, 调节基站功率使其逐级递增, 并设定第  $\mu$  级功率为第1级功率的  $\mu^2$  倍 ( $\mu = 1, 2, \dots, \tau$ ), 得到均匀分布的虚拟网格单元。

(2) 两个基站分别以能覆盖全部目标区域的最大功率广播配置信息( $Msg_{set}$ ), 配置信息主要包括〈当前轮数编号( $r$ )、基站编号( $k$ )、基站坐标( $Pos$ )、此轮广播共划分的最大功率等级数 $\tau$ 、每个功率等级  $\mu_{k,i}$  所对应覆盖半径  $R_{r, \mu_{k,i}}^k$ 〉等, 收到该信息的节点解析并保存该信息。

(3) 两个基站( $BS1$ 、 $BS2$ )分别以从小到大的离散发射功率等级广播初始化消息( $Msg_{init}$ ), 功率等级较低的无线广播覆盖近基站区域, 随着功率等级的递增, 覆盖面相应逐步增加, 初始化消息包含〈当前基站编号( $k$ )、基站的功率等级编号( $\mu_{k,i}$ )〉等。目标区域内的节点根据收到的来自不同基站的初始化消息, 确定自己分别处于基站1和基站2的哪两个相邻功率等级形成的网格单元内。定义节点所属网格单元的区域ID为两个基站相邻功率等级编号的组合, 且基于 $BS1$ 的两位等级编号在前, 基于 $BS2$ 的两位等级编号在后。如某节点分别收到来自 $BS1$ 以功率等级5(其相邻功率等级为4)和来自 $BS2$ 以功率等级8(其相邻功率等级为7)广播的初始化消息, 则该节点所属虚拟网格单元的区域ID即为4 578, 如图1所示。为避免节点在收到新的初始化消息后区域ID被

重新分配,则设定了自己所属区域的节点不再接收基站广播的其余初始化消息,除非基站发出新一轮初始化指令。

### 1.3.2 交叉区域的形成

基站经过一轮初始化广播后,每个节点确定一个自己所属的区域及其区域ID,并根据该区域ID查询该轮的配置信息  $\text{Msg}_{\text{set}}$ , 获取相应的功率等级编号对应的覆盖半径  $R_{r, \mu_{k,j}}^k$ , 从而得到网格边界到BS1及BS2的距离等信息。此后,基站调节划分的功率等级总数  $\tau$ , 并发射新的配置信息  $\text{Msg}_{\text{set}}$  及初始化消息  $\text{Msg}_{\text{init}}$ , 开始新一轮的虚拟网格划分过程。

经过  $r$  轮的初始化广播后,每个节点明确了自己所属的  $r$  个网格单元,各单元相互交叉形成如图2所示的包含未知节点的更小交叉区域。图中阴影部分为包含未知节点A的交叉区域。

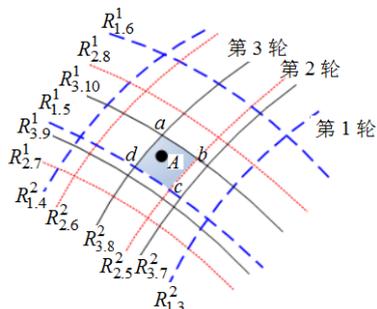


图2 经过3轮初始化所形成的交叉区域

### 1.3.3 节点位置估算

经过前面步骤,每个节点记录了如表1所示的相关信息。

表1 经过3轮初始化后节点A记录的信息

轮数	配置信息		初始化消息	
	最大功率等级数	节点所属的网格单元ID	网格单元到BS1的距离	网格单元到BS2的距离
1	10	5 634	$R_{1,5}^1, R_{1,6}^1$	$R_{1,3}^2, R_{1,4}^2$
2	14	7 856	$R_{1,7}^1, R_{1,8}^1$	$R_{2,5}^2, R_{2,6}^2$
3	18	91 078	$R_{3,9}^1, R_{3,10}^1$	$R_{3,7}^2, R_{3,8}^2$

表1说明经过3轮初始化广播后,节点分别被第1轮的5 634、第2轮的7 856、第3轮的91 078等3个网格单元所包围,它们相互交叠,共同确定了一个更小的交叉区域,如图2所示。为了求取该交叉区域的质心,采用如下算法:

针对每个未知节点,将由BS1形成的  $r$  个圆环的各个内、外分别排序,并取内半径最大者、外半径最小者分别为交叉区域基于BS1的内、外半径。同理,获得交叉区域基于BS2的内、外半径。以图2为例,得到包含节点A的最小交叉区域半径分别为

$R_{1,5}^1, R_{3,10}^1, R_{2,5}^2, R_{3,8}^2$ , 表达出了最小交叉区域的4个交点(a、b、c、d)分别到两个基站的距离。由于两基站坐标已知为  $\text{BS}_1(x_{\text{bs1}}, y_{\text{bs1}})$ 、 $\text{BS}_2(x_{\text{bs2}}, y_{\text{bs2}})$ , 因此,针对每个交点可以得到一组线性方程组:

$$\begin{cases} (x_i - x_{\text{bs1}})^2 + (y_i - y_{\text{bs1}})^2 = \text{toBS}_1^2 \\ (x_i - x_{\text{bs2}})^2 + (y_i - y_{\text{bs2}})^2 = \text{toBS}_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中  $i=1,2,3,4$ , 分别表示形成交叉区域的4个交点 a、b、c、d,  $\text{toBS}_1$ 、 $\text{toBS}_2$  为交点到BS1、BS2的距离。以上述方法分别求得交点坐标  $a(x_1, y_1)$ 、 $b(x_2, y_2)$ 、 $c(x_3, y_3)$ 、 $d(x_4, y_4)$ , 根据质心算法即可得未知节点的位置为:

$$(x_A, y_A) = \left( \frac{\sum_{i=1}^4 x_i}{4}, \frac{\sum_{i=1}^4 y_i}{4} \right) \quad (2)$$

## 2 仿真实验

为了定量分析该算法的优劣,采用如下指标:

(1) 绝对定位误差,即节点实际位置与计算位置的差值<sup>[11]</sup>。在本文实验中,采用全网绝对定位误差的平均值衡量定位精度。

(2) 可定位节点的覆盖度,指可定位的节点占有节点的比例。可从整体上衡量算法的有效性。

表2 功率等级划分模式

序号	功率等级		
	样本1	样本2	样本3
1	13、14、15	9、11、13	13、16、19
2	16、17、18	13、15、17	15、18、22
3	19、20、21	15、17、19	19、22、25
4	22、23、24	21、23、25	20、23、26
5	25、26、27	24、26、28	24、27、30
6	28、29、30	27、29、31	25、28、33

设每个基站进行3轮初始化广播,划分的功率等级数分别相隔1级、2级、3级及以上,见表2的样本1、样本2、样本3。共采集6个点,并考虑虚拟网格均匀分布(uniform)和非均匀分布(uneven)两种情况:

(1) 依据命题1,当基站第  $\mu$  级功率设定为第1级功率的  $\mu^2$  倍时,可实现各覆盖半径均匀分布;(2) 而非均匀分布时,基站不同功率等级划分的环状区域宽度不同,其第  $\mu$  级功率设定为第1级功率的  $\mu$  倍。

图3给出了均匀和非均匀模式下,算法的定位精度随划分的功率等级数变化的情况。当划分目标区域的功率等级数较少时,划分的网格较大,因而形成的包含未知节点的交叉区域相对较大,定位精度并不高。随着划分的功率等级数的逐步提高,每轮广播功率覆盖的半径相差更小,形成的交叉区域相

应较小, 定位精度更高。由图3可知, 在方圆1 000 m 的范围内, 绝对定位精度可达到10 m 以内。

可定位节点覆盖度如图4所示。可能存在一些节点无法确定其所属区域的4个交点(基站的通信覆盖半径可能不相交, 比如图1中两个基站连线附近的某些节点), 此外, 还有一些节点没有正确接收到基站的初始化消息, 这些节点在CLAPC算法中属于不良

节点。由图4可知, 随着划分的功率数的提高, 功率划分越来越细, 可定位节点覆盖度在不断提高, 甚至可以达到90%以上。同时, 仿真结果还表明: 均匀划分模式下的可定位节点覆盖度较非均匀划分模式高, 这主要是因为非均匀划分模式下, 两个基站连线附近区域分布了更多的不可定位节点。

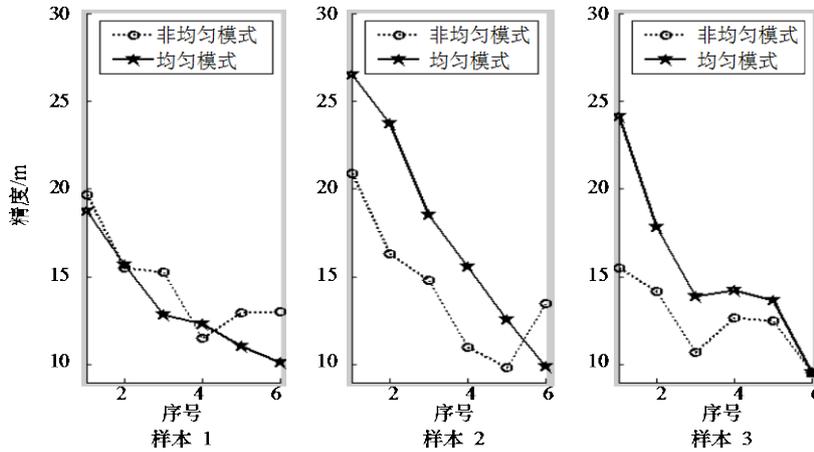


图3 功率划分模式对定位精度的影响

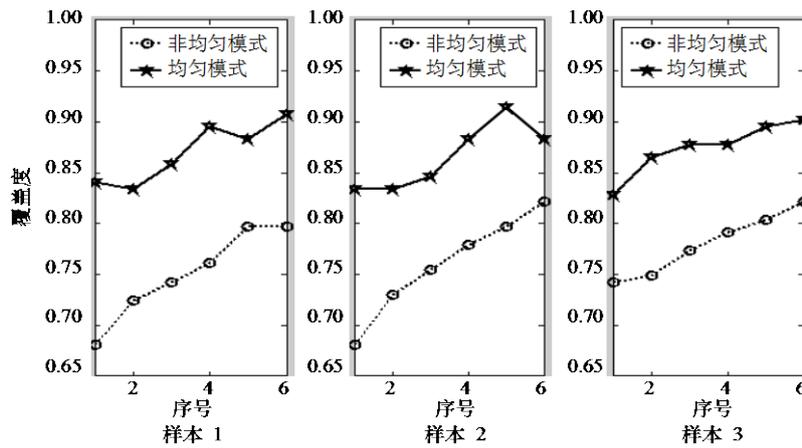


图4 节点覆盖度

### 3 结 论

CLAPC算法是一种无需锚节点的分布式定位算法, 通过基站离散功率广播初始化信息的方式, 可进一步缩小包含未知节点的交叉区域, 在提高定位精度的同时, 减少了能量开支, 是对质心定位技术的有益探索。

#### 参 考 文 献

[1] SHAH R C, RABAEY J M. Energy aware routing for low energy Ad Hoc sensor networks[C]//Conference on IEEE Wireless Communication and Network. [S.l.]: IEEE, 2002: 350-355.

[2] CAO Y. Target localization based on angle of arrivals[J].

Journal of Electronic Science and Technology of China, 2007, 5(2): 172-174.

[3] QIU Meng, XU Hui-min. A distributed range-free localization algorithm based on clustering for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. [S.l.]: IEEE, 2007: 2633-2636.

[4] BULUSU N, HEIDEMANN J, ESTRIN D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000,7(5): 28-34.

[5] HE T, HUANG C, BLUM B M, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks[C]//9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networks. California: ACM Press, 2003: 81-95.

(下转第434页)

- 北京: 机械工业出版社, 2006.
- HORSTMANN C S, CORNELL G. Core of Java 2 (Volume 2): Advanced features[M]. 7th ed. Translated by CHEN Hao-peng, WANG Hao, YAO Jian-ping, et al. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [4] ALLEN H. Taming Java threads[M]. New York: [s.n.], 2000.
- [5] DARBY C, GRIFFIN J, PASCAL de HAAN, 等. Java网络编程指南[M]. 邱仲潘译. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- DARBY C, GRIFFIN J, PASCAL de HAAN, et al. Guide of Java networking[M]. Translated by QIU Zhong-pan. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2002.
- [6] 柴平渲, 龚向阳, 程时端. 分布式入侵检测技术的研究[J]. 北京邮电大学学报, 2002, 25(2): 58-62.
- CHAI Ping-xuan, GONG Xiang-yang, CHENG Shi-duan. Research on distributed intrusion detection[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2002, 25(2): 58-62.
- [7] 喻志虎, 邹 华, 杨放春. Parlay应用服务器的软件容错研究与设计[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(增刊): 12-15
- YU Zhi-hu, ZOU Hua, YANG Fang-chun. The study and design on software fault-tolerance for parlay applica ti on server[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2004, 27(An Extra Edition): 12-15.
- [8] VENNERS B. Inside the Java virtual machine[M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2003.
- [9] GAY S H, CORNELL G. Core Java 2 volume II advanced features[M]. 6th ed. New York: Prentice Hall PTR, 2006.
- [10] ECKEL B. Thinking in Java[M]. 3rd ed. New York: Prentice Hall PTR, 2005.

编辑 黄 莘

-----

(上接第406页)

- [10] 才 辉, 张光新, 张 浩, 等. 一种新的基于多信息测度融合的边缘检测方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2008, 42(10): 1671- 1675.
- CAI Hui, ZHANG Guang-xin, ZHANG Hao, et al. Novel edge detection method based on multiple information measures fusion[J]. 2008, 42(10): 1671-1675.
- [11] 傅茂沼. 基于形态灰度边缘检测算法的一种改进[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(2): 206-209.
- FU Mao-ming. Enhancement in detection operator extended from traditional image edge to morphology edge[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2005, 34(2): 206-209.
- [12] 林 卉, 赵长胜, 舒 宁. 一种新的基于连通成分的边缘评价方法[J]. 现代测绘, 2003, 26(2): 8-11.
- LIN Hui, ZHAO Chang-sheng, SHU Ning. A new edge evaluation method based on connection component[J]. Modern Surveying and Mapping, 2003, 26(2): 8-11.
- [13] WANG Xun, JIN Jian-qi. A edge detection algorithm based on improved canny operator[C]//Seventh International Conference on Intelligent Systems Designs and Applications. [S.l.]: [s.n.], 2007: 623-628.

编辑 蒋 晓

-----

(上接第419页)

- [6] CHONG L, KUI W. Sensor localization with ring overlapping based on comparison of received signal strength indicator[C]//Proceedings of The 1st IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS04). Florida, USA: IEEE, 2004.
- [7] LAZOS L, POOVENDRAN R. Serloc: Robust localization for wireless sensor networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2005, 1(1): 73-100.
- [8] LAZOS L, POOVENDRAN R. HiRLoc: High-resolution robust localization for wireless sensor networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(2): 233-246.
- [9] VIVEKANANDAN V, WONG V. Concentric anchor beacon localization algorithm for wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56: 2733-2744.
- [10] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proceeding of Hawaii International Conference on System Sciences. [S.l.]: IEEE, 2000: 10-19.
- [11] 汪 扬. 无线传感器网络定位技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
- WANG Yang. A research on the localization technology of wireless sensor networks[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007.

编辑 漆 蓉