

# 基于同心圆定位算法的改进算法研究

夏心江 胡 钢 王烨华

(河海大学计算机与信息学院 常州 213022) (常州市传感网与环境感知重点实验室 常州 213022)

**摘 要** 在分析了常用几种无线传感器节点定位算法的基础上,依据同心圆定位算法原理,提出环形定位算法。该算法的原理是利用锚节点通过一定规则做圆环,不断缩小未知节点的估算区域,直到得到包含未知节点的最小区域,取最小区域质心位置作为未知节点的估算坐标。对同心圆定位算法、环形定位算法及改进方案进行了对比仿真实验,结果表明,在锚节点比例达到 5%,在  $20 \times 20\text{m}^2$  的仿真场景内部署 1000 个传感器节点、锚节点密度为 5% 时,同心圆定位算法误差为 34.86%,环形定位算法定位误差为 26.64%。在改进方案中,运用了多次划分圆环方法来提高定位精度。实验结果表明,改进后的算法在锚节点密度为 5% 时,定位误差降低到 15.76%。

**关键词** 无线传感器网络,节点定位,环形定位算法,定位精度,仿真

**中图分类号** TN92 **文献标识码** A

## Study on Improved Algorithm Based on Concentric Circles Localization

XIA Xin-jiang HU Gang WANG Ye-hua

(College of Computer and Information, Hohai University, Changzhou 213022, China)

(Changzhou Key Laboratory of Sensor Networks and Environment Perception, Changzhou 213022, China)

**Abstract** This paper presented a kind of circular algorithm, according to principles of concentric circles localization algorithm, based on analyzing several common wireless sensor nodes localization algorithm. The circular localization algorithm focuses on the use of certain rules made by the anchor nodes to drawings in order to continuously reduce the unknown node estimation area is taken until the end to get the smallest region containing the unknown nodes. Then, the centroid position in the smallest area is taken as the estimate coordinates of the unknown nodes. The compared simulation experiments between the concentric circles localization algorithm and circular localization algorithm and the improved schemes show that when the anchor nodes proportion increase to 5%, and in the  $20 \times 20$  square meter simulation scenarios 1000 sensor nodes are deployed and the anchor node density is 5%, the error of concentric circles localization algorithm is 34.86%, and the circular localization algorithm is 26.64%. The improved scheme uses multiple methods of partitioning rings to improve positioning accuracy. The experimental results show that when the anchor node density is 5%, the localization error of the improved algorithm is reduced to 15.76%.

**Keywords** Wireless sensor network, Node localization, Circular Localization algorithm, Positioning accuracy, Simulation

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳的、自组织的网络系统,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息,并发送给观察者。

位置信息对传感器网络的监测活动至关重要。事件发生的位置或获取信息的节点位置是传感器节点监测消息中所包含的重要信息,如环境监测区域定位、森林火灾现场定位、战场上敌方车辆运动区域定位、天然气管道泄漏的具体地点定位等位置信息十分重要,它们是提供系统决策的重要依据<sup>[1]</sup>。

在 WSN 中,节点定位主要分成两大类:第一类为基于测距(range based)算法<sup>[2,3]</sup>,如 Amorphous 算法、HCRL 算法、DHL 算法等;第二类为距离无关(range free)算法<sup>[4,5]</sup>,如质

心算法、APIT 算法、Bounding Box 算法等。

质心算法利用锚节点的信息,通过在传感器节点间建立一定的空间几何关系,来求出未知节点坐标<sup>[6]</sup>。目前可见到多篇关于质心定位算法的文献,如密度自适应 HEAP 算法研究在锚节点密度低的区域增加锚节点来提高定位精度<sup>[7]</sup>;近似三角形内点测试法(APIT)确定多个包含未知节点的三角形区域,其交集是一个多边形,并不断地缩小包含未知节点的区域,通过计算多边形区域的质心未确定未知节点<sup>[8]</sup>;基于弧心的节点定位算法确定出包括未知节点的扇形区域,以该扇形区域的质心作为未知节点的估计位置<sup>[9]</sup>。

无线传感器网络的定位系统和算法的性能直接影响其可用性,对它们的评价主要有以下几个标准<sup>[10]</sup>:

①定位误差:根据算法估计出的位置与真实位置之间的

到稿日期:2011-07-08 返修日期:2011-09-29 本文受中国水利水电科学研究院开放研究基金项目(水科科计便函[2008]010号),常州市科技攻关项目(CE20090036)资助。

夏心江(1986-),男,硕士,主要研究方向为无线传感器网络定位,E-mail:jianghehail@163.com;胡 钢(1958-),男,教授,硕士生导师,主要研究方向为无线传感器网络。

偏差。②锚节点密度:在网络中已知自身位置的节点占总节点数的比例。③功耗:定位所需的计算量、通信开销、存储开销等。④定位代价:包括时间、空间、成本等多种代价,主要是由定位算法来决定的节点的硬件设施。

同心圆定位算法<sup>[1]</sup>是一种精度较高的区域估计定位方法,未知节点根据锚节点连续的不同功率的广播信息确定自己在以锚节点为圆心的哪个圆环内。当未知节点确定了两个或两个以上这样的圆环后,就以这些圆环的交集作为包含自己的区域。

同心圆的算法需要节点重复发送信号,这浪费了大量的能量,而且能量与精度之间很难协调。如果要提高精度,则需要频繁地广播信号,从而浪费大量能量;如果想要节能,则圆环太大,将会严重影响定位精度。

基于以上问题,提出一种环形定位算法,以锚节点为圆心,分别以它到附近其他锚节点之间的距离为半径画圆,得到一系列圆环。从这些圆环找出最小圆环,取这些圆环的交集质心作为未知节点的估算未知。在此基础上,提出进一步的改进算法,将最小圆环再次划分为更小的圆环,以得到更加精确的最小区域。

## 1 环形定位算法及其改进算法原理

### 1.1 环形定位算法

算法的基本思想:锚节点先向周围节点广播自己的位置信息,确定自己通信半径内的未知节点及其他节点编号;然后以该锚节点为圆心,分别以它到附近其他节点间的距离为半径画圆。这样,把整个定位空间划分为多个大大小小的同心圆,未知节点通过判断自己是否在某个同心圆环内,最终找到包含自己的最小圆环。以不同节点作圆心,可以找到一系列这样的圆环。最后,取这些最小圆环的交集作为未知节点所在的小区域,取这些小区域的质心作为未知节点的位置估计坐标,如图1所示。

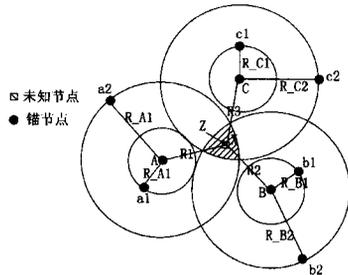


图1 环形定位算法示意图

算法分为以下几个步骤:

步骤1 信息提取。这一步中,各个锚节点向周围节点广播自己的位置信息,其他节点收到信息后,记录下该信息到达的时间。

步骤2 求最小圆环。即以一个锚节点为圆心的同心圆中,包含未知节点的最小圆环。

步骤3 求出所有最小圆环的交集区域。

步骤4 取交集区域的质心坐标作为未知节点的预测坐标。

### 1.2 算法实现

本文求环形区域是通过计算正方形个数得到的。把二维

平面划分成无数个小正方形,设置方块号对应的扫描次数初始值为0。在实际计算中,将小正方形所处位置的中心坐标作为小正方形的近似位置,相交区域置于空间中,通过扫描小正方形中心坐标,可得到交集的近似大小,如图2所示。

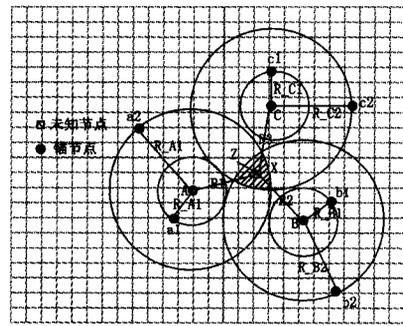


图2 交集区域确定示意图

步骤1中,根据未知节点通信半径,求出未知节点定位所需的锚节点编号,填入表1中。例如未知节点X1定位所需的已知节点编号为51,68,88,...,490。同时,其他锚节点监听锚节点的广播信息,得到各锚节点的信号传播到自己位置时所用的时间,并填入表2中。例如将1号锚节点的信号到达待定位节点处的时间填入表2(1,1)表项中,1号锚节点的信号到达2号锚节点处的时间填入表2(1,2)表项中,依次填充。同时,有可能I号锚节点与J号锚节点相隔距离太远,这2个锚节点虽然都能被待定位的普通节点监听,但互相之间不能监听到,则普通节点接收到的信息仍然不能填充(I,J)和(J,D)项,这样填入一个特殊的数-1代表监听到,这些信息将不会被再次利用。

步骤2中,求最小圆环过程中,依次扫描表2中各行,即比较某个锚节点位置信息到达未知节点、其他锚节点的时间大小,根据时间大小确定定位圆环大小。例如在表2中扫描第1行,获得51号锚节点与该区域内其他节点之间的通信距离,得知与该节点到达68号锚节点的时间为(51,68)=11.854,而该节点到达88号锚节点的时间为(51,88)=22.476,该节点到达待定位节点处的时间为(51,51)=12.174。由此,得出未知节点的位置介于以51号锚节点为圆心,分别以(51,68)、(51,88)之间距离为半径的环形内部。如此,通过比较一行数据的大小关系,可以找到最小的一个圆环。这时,计算这个最小的圆环扫过的那些小正方形,将扫过的方块所对应的表3中的表项的值增加。依次扫描表2中的各行,可以得到以不同锚节点为圆心的最小的圆环。

步骤3中,求所有环形交集,也就是求出空间中被扫过次数最多的小正方形的位置。扫描表3找到值最高的那些表项,其对应的空间区域就是所有环形的交集区域。

步骤4中,求出这个交集区域的近似质心位置,将其作为未知节点的近似定位坐标。

表1 各未知节点保存定位所需已知节点位置信息

未知节点编号	未知节点通信半径内已知节点编号					
X1	51	68	88	.....	490	-1
X2	45	83	95	.....	393	409
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Xn	120	133	152	.....	426	483

表 2 某未知节点保存已知节点时间信息(单位:ns)

节点编号	51	68	88	490
51	12.174	11.854	22.476	..... 29.715
68	11.854	23.704	18.331	..... 33.066
108	22.476	18.331	28.469	..... 19.583
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
490	12.174	11.854	22.476	..... -1

表 3 某未知节点保存小正方形被扫面次数

正方形编号	1	2	3	4	5	...	n1
扫描次数	14	5	9	8	14	...	14

## 2 算法仿真及算法分析

### 2.1 环形定位算法仿真

本文采用 NS2<sup>[12]</sup> 作为环形定位算法的仿真平台。NS2 是由美国国防部高级研究计划局资助、伯克利大学 1989 年开始开发的一种源代码开放的共享软件,它是一种可扩展、可重用、基于离散事件驱动、面向对象的仿真软件,主要针对有线局域网、无线局域网、Ad\_hoc 网络、卫星通信网、路由选择协议、组播路由协议等进行网络模拟仿真。

算法仿真环境:在 20 \* 20 的方形区域内随机分布 1000 个节点,节点之间通信无阻。在仿真环境中随机选取 20 个节点作为未知节点进行仿真,连续进行 50 次实验。锚节点比例由 3%变化到 10%,每次增加 0.5%,即锚节点个数由 30 变化到 100,每次增加 5 个锚节点。定位误差为:

$$[error] = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i^{calculate} - x_i^{real})^2 + (y_i^{calculate} - y_i^{real})^2}}{N} * 100\%$$

式中,  $x_i^{calculate}$ ,  $x_i^{real}$ ,  $y_i^{calculate}$ ,  $y_i^{real}$  分别表示横坐标的理论计算值及真实值、纵坐标的理论计算值与真实值,  $N$  表示仿真的节点总数。

对环形定位算法、同心圆定位算法进行仿真分析,得到的结果如图 3 所示(图中横坐标表示锚节点占节点总数的百分比,纵坐标表示定位误差,Concentric Anchor Beacon、Circular Localization Algorithm 所示箭头分别表示同心圆定位算法、环形定位算法)。

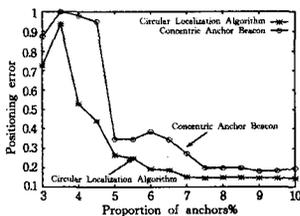


图 3 同心圆定位与环形定位算法仿真结果示意图

图 3 表明,在锚节点密度为 3%时,环形定位算法定位误差为 72.56%,同心圆定位算法定位误差为 87.50%;在锚节点密度为 3.5%时,环形定位误差上升为 93.96%,同心圆定位算法定位误差上升为 100.0%;随后,定位误差开始急速下降,当锚节点密度为 5%时,环形定位算法误差下降为 26.64%,同心圆定位算法误差下降为 34.86%;当锚节点密度达到 7.5%时,环形定位算法误差稳定在 15.0%,而同心圆定位算法误差稳定在 20.0%。上述数据表明,与同心圆定位算法相比,环形定位算法的节点位置估计精确度明显提高了。

### 2.2 通信开销

算法的通信开销用在定位过程中平均每个节点所传输的消息包数目来表示。图 4 所示为同心圆定位算法与环形定位算法在不同锚节点密度下的通信开销。

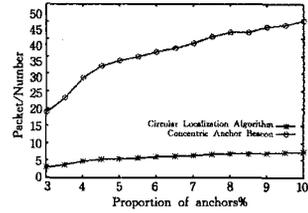


图 4 两种算法通信开销

图 4 表明,同心圆定位算法和环形定位算法的通信开销与锚节点密度接近线性关系;随着锚节点密度增加,通信开销线性增加。环形定位算法比同心圆定位算法通信开销小,因为同心圆定位算法要求每个锚节点以连续不同的功率广播信标信号,这样每个锚节点将有较大的消息包发送量;而环形定位算法要求每个锚节点只进行一次泛洪传播自己的位置信息。

### 2.3 方案改进

如果节点分布比较稀疏,上述算法求出的最小圆环区域可能会很大,如图 5 所示。图中 Z 区域为未知节点的估算区域,显然这样的区域太大,影响估算精度。

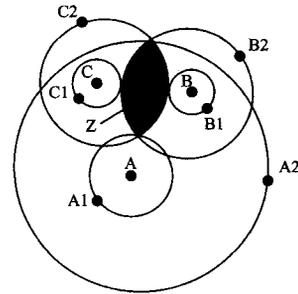


图 5 原算法误差图示

基于上述问题,本算法提出了改进方案。其基本思想:在环形定位算法步骤 2 中,一次定位确定了估算区域 Z 后,将圆环再次进行划分,划分为宽度更小的圆环。如图 6 所示,虚线所示为二次划分的中界线,中界线可根据信号到达外环及内环的时间得到。例如,信号到达外环及内环的时间分别为 10ns( $T_{外}$ ),5ns( $T_{内}$ ),则中界线的位置在 7.5ns 处,我们认为中界线即位于外环与内环的中间位置处。这样,可得到更加精确的圆环交集,如图 7 所示。根据不同环境下的精度需求,可对圆环多次划分,直至最终得到高精度的最小区域。

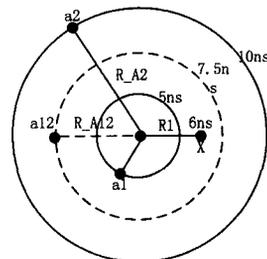


图 6 圆环模型

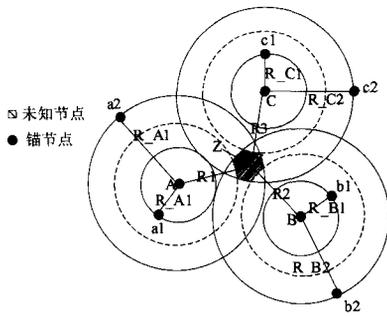


图7 改进方案示意图

改进方案具体实施过程:

(1)为每个未知节点设定精度标识  $Flag$ , 初始值设为 1。这个标识符用来标识未知节点是否需要继续进行精确化, 初始化为 1。如果需要进行精确化, 则  $Flag=1$ , 否则  $Flag=0$ 。为每个未知节点设置一个精确化次数  $n$ , 设初始值  $S_n$  为 0。

(2)如果未知节点的  $Flag=1$ , 并且  $S_n \leq n$ , 则进行如下操作:

1)计算信号到达中界线处的时间:  $T_{\#} = \frac{T_{外} + T_{内}}{2}$ 。

2)判断未知节点  $X$  到圆环圆心的距离  $R1$  是否大于  $T_{\#}$ , 如果  $R1 \leq T_{\#}$ , 则去掉外环信息; 否则去掉内环信息。

(3)将  $S_n$  加 1, 判断  $S_n$  的值。如果  $S_n > n$ , 则完成精确化过程, 结束该未知节点区域估算; 如果  $S_n \leq n$ , 则继续步骤 2。

(4)其他节点重复以上步骤, 直至找到最小估算区域, 将最小估算区域的质心坐标作为未知节点的估算坐标。

在同等条件下, 节点的精确次数设为固定值 2 时, 对环形定位算法及其改进方案进行仿真分析, 得到的结果如图 8 所示(图中横坐标表示锚节点占节点总数的百分比, 纵坐标表示定位误差, Circular Localization Algorithm、Improved Circular Localization Algorithm 所示箭头分别表示环形定位算法、环形定位算法改进方案)。

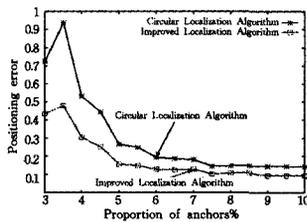


图8 算法改进前后定位误差仿真结果对比

图 8 表明, 在锚节点密度为 3% 时, 改进方案定位误差降低到 43.42%; 当锚节点密度达到 6.5% 时, 改进方案定位误差稳定在 10.0%。上述数据表明, 环形定位算法的改进方案

比原算法精度明显提高, 且具有较高的稳定性。因为在环形定位算法的改进方案中, 采用多次划分圆环的方法, 不断减小定位区域范围, 从而达到提高定位精度的目的。

**结束语** 本文提出一种环形定位算法, 利用已知节点不断做圆环, 最终得到包含未知节点的最小区域。基于质心定位算法, 得到未知节点的估算位置坐标。用 NS2 仿真结果表明, 与无线传感器网络节点定位的同心圆算法及其改进算法相比, 本算法明显降低了能耗, 且具有更高的定位精度。

## 参考文献

- [1] 黄晓, 程宏兵, 杨庚. 基于身份的无线传感器网络定位认证方案[J]. 通信学报, 2010, 31(3): 115-122
- [2] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: an In Building RF-based User Location and Tracking System [C] // Proc. IEEE Joint Conf. IEEE Computer Communications Societies (INFOCOM). Telaviv, Israel, Mar. 2000: 775-784
- [3] Bergamo P, Mazzini G. Localization in Sensor Networks with Fading and Mobility [C] // Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor Mobile Radio Communications (PIMRC). Lisbon, Portugal, Sep. 2002: 750-754
- [4] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices [J]. IEEE Personal Commun, 2000, 7(10): 28-34
- [5] Niculescu D, Nath B. DV-based Positioning in Ad Hoc Networks [J]. Kluwer J. Telecommun. Syst., 2003, 22(1): 267-280
- [6] 刘影, 钱志鸿, 王雪, 等. 基于到达时间差的无线传感器网络质心定位算法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2010, 40(1): 245-249
- [7] Bulusu B, Heidemann J, Estrin D. Density adaptive algorithms for beacon placement in wireless sensor networks [C] // IEEE ICDCS'01. Phoenix, AZ, April 2001
- [8] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization scheme for large scale sensor networks [C] // Proc. 9th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. San Diego, CA, 2003: 81-95
- [9] 李娟, 王珂, 李莉, 等. 基于锚圆交点加权质心的无线传感器网络定位算法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39(6): 1649-1653
- [10] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. A survey on sensor networks [C] // IEEE Communications Magazine. 2002
- [11] Vivekanandan V, Wong V W S. Concentric anchor beacon localization algorithm for wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(5): 2733-2744
- [12] 柯志亨, 程荣祥, 邓德鸾, 等. NS2 仿真实验: 多媒体和无线网络通信[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009

(上接第 34 页)

- [15] Ferdean C, Makpangou M. A scalable replica selection strategy based on flexible contracts [C] // Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Internet Applications. 2003: 95-99
- [16] Al-Mistarihi H H E, Yong C H. On fairness, optimizing replica selection in data grids [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(8): 1102-1111
- [17] Venugopal S, Buyya R. A deadline and budget constrained scheduling algorithm for eScience application on data grids [C] //

- Proceedings of the 6th International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing. 2005: 60-72
- [18] Ranganathan K, Foster I. Decoupling computation and data scheduling in distributed data-intensive applications [C] // Proceedings of the 11th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing. 2002: 352-358
- [19] Cormen T H, Stein C, Rivest R L, et al. Introduction to algorithm [M]. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2001
- [20] 冯富宝. 集合覆盖问题研究 [D]. 济南: 山东大学, 2006