

# 基于RSSI的无线传感器网络圆环质心定位算法<sup>①</sup>

史洪华<sup>1</sup>, 钟俊<sup>1</sup>, 叶有名<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(四川大学 电气信息学院, 成都 610065)

<sup>2</sup>(国家电网 四川电力公司, 成都 610065)

**摘要:** 针对无线传感器网络质心算法受节点分布均匀程度的影响, 少数锚节点增大定位误差, 提出了一种圆环质心算法. 该算法以未知节点为圆心, 将未知节点通信区域划分成半径由大到小的圆环, 通过圆环剔除容易增大定位误差的锚节点, 筛选出合适的锚节点, 并在圆环上寻找近似等边三角形来进一步减小定位误差. 同时提出了利用RSSI值来形成圆环的方法. 仿真结果表明, 在100m×100m的区域中, 随机投放100个节点, 通信半径为20m, 锚节点数为20时, 圆环质心算法与质心算法相比, 定位精度提高了11%.

**关键词:** 无线传感器网络; 定位; 圆环质心算法; 等边三角形; RSSI

## Circle Centroid Localization Algorithm for Wireless Sensor Network Based on RSSI

SHI Hong-Hua<sup>1</sup>, ZHONG Jun<sup>1</sup>, YE You-Ming<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

<sup>2</sup>(Sichuan Electric Power corporation, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** In order to solve the shortcoming that centroid algorithm is affected by the node distribution uniformity and a few anchor nodes will lead to large localization error in wireless sensor network, a circle centroid algorithm is proposed. In this algorithm, the unknown node communication region is divided into different circles which center is the unknown node itself, using the circle to exclude the anchor nodes which easy to increase the localization error and select the appropriate anchor nodes, the localization error will be further reduced if the approximate equilateral triangle is be found on circle. At the same time the method of using RSSI form circles is put forward. The simulation shows that the circle centroid algorithm compares with the centroid algorithm, location precision is improved by 11%, in the condition that 100 sensor nodes which radius is 20m are deployed randomly confined to the area of 100m×100m and the anchor node number is 20.

**Key words:** wireless sensor network; localization; centroid algorithm; circle centroid algorithm; RSSI

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种全新的信息获取平台, 能够实时监测和采集网络分布区域内各种检测对象的信息, 并将这些信息发送到网关节点, 以实现复杂的指定范围内目标检测与跟踪, 具有快速展开, 抗毁性强等特点, 具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>. 但是, 只有当节点和被感知的物体的位置是可知时, 节点获得的信息才有意义, 因此, 节点定位在无线传感器网络中至关重要. 目前, 无线传感器网络自身定位系统和算法可以分为物理定位与符号

定位、绝对定位与相对定位、集中式计算与分布式计算、基于测距的定位和无需测距的定位等几大类<sup>[2]</sup>.

根据定位过程中是否需要测量实际节点之间的距离, 把定位算法分为基于测距(Range-Based)的定位算法和无需测距(Range-Free)的定位算法<sup>[3,4]</sup>. 前者需要测量相邻节点间的绝对距离或方位, 并利用节点间的实际距离来计算未知节点的位置; 后者无需测量节点间的绝对距离或方位, 而是利用节点间的估计距离计算节点位置. Range-Based定位常用的测距技术有TOA

① 基金项目:四川省科技支撑项目(2011GZ0004);四川省智能电网示范工程关键技术研究(2012GZ0009)

收稿时间:2014-12-15;收到修改稿时间:2015-01-26

(time of arrival), TDOA(time difference of arrival), AOA(angle of arrival)和 RSSI<sup>[5]</sup>(received signal strength indicator). TOA 定位精度高, 但需要节点间保持精确的时间同步, 对硬件和功耗提出了较高要求. TDOA 要发射不同的信号, 对硬件要求很高, 功耗也很大. AOA 是基于信号到达角度的定位机制, 测距技术易受外界环境影响, 在硬件尺寸和功耗上不适合用于大规模传感器网络. RSSI 虽然符合低功率、低成本的要求, 但受环境影响很大, 容易产生很大的误差.

Range-Free 定位算法主要有质心算法<sup>[6]</sup>、凸规划定位算法<sup>[7]</sup>、DV-Hop 算法<sup>[8]</sup>、Amorphous 算法<sup>[9]</sup>、APIT 算法<sup>[10]</sup>等. Range-free 定位算法对硬件要求较低, 功耗也不大, 虽然定位精度相对较低, 但是经过算法的改进, 将精度提高后也能满足了大多数应用的要求, 受到更多人的青睐.

本文正是基于 Range-Free 算法提出了一种改进的质心定位算法, 本算法中未知节点收集周围锚节点(即信标节点)广播来的信息, 其中包括坐标和 RSSI 值, 然后根据不同的 RSSI 值, 将未知节点通信范围划分为半径不同的圆环, 并对每个圆环上的锚节点进行近似等边三角形筛选, 求得每个圆环的圆环质心, 再通过整合各个圆环质心实现对未知节点的定位.

## 1 基于RSSI值的圆环质心算法

### 1.1 圆环质心算法

Bulusu 等人提出的质心算法是一种仅基于网络连通性的定位算法. 在质心算法中, 锚节点周期性的向邻近节点广播信标分组, 信标分组中包含锚节点的标识号和位置信息. 当未知节点接收到来自不同锚节点的信标分组数量超过某一门限  $k$  或接受一定时间后, 就确定自身位置为这些锚节点所组成的多边形的质心:

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left( \frac{X_{i1} + \dots + X_{ik}}{k}, \frac{Y_{i1} + \dots + Y_{ik}}{k} \right)$$

其中  $(X_{i1}, Y_{i1}) \dots (X_{ik}, Y_{ik})$  为未知节点能够接收到其他分组的信标节点坐标.

由于锚节点是随机分布的, 仅仅通过未知节点收到的锚节点坐标进行质心估计来确定位置会产生很大的误差. 在 Centroid 算法和 GPS 系统的 DOP(Dilution of Precision)启发下, 研究分析发现锚节点相对于未知节点的位置和锚节点形成的几何形状直接影响定位误

差的大小. 当节点呈等边三角形分布时, 相应的定位误差最小<sup>[11]</sup>. 影响质心算法精度的一个重要因素是节点分布均匀程度. 节点分布越均匀, 未知节点通信范围内的锚节点所形成的多边形就会越接近于正多边形. 在一个圆上, 任取几个点, 将这几个点连接成一个多边形, 如果此多边形近似于正多边形, 那么此多边形的质心与圆的圆心十分接近. 当此多边形近似于等边三角形时, 三角形质心也与圆心相差不大.

圆环质心算法就是寻找相对于需要定位的未知节点分布均匀的那些锚节点, 将这些锚节点的质心, 作为定位位置. 如图 1 所示, A 为未知节点, 通信半径为 R, n1 至 n7 为锚节点, 阴影部分为 A 通信半径内的一个圆环. 比较(a)和(b)可以看出, 通过圆环对锚节点进行筛选后, 可以把影响多边形形状、易产生误差的点剔除掉. 然后就要对圆环上的锚节点进行进一步的分析, 由图 1 中(c)发现 n3, n5, n7 这三个锚节点所形成的三角形三边长度基本相等, 这种三角形把它称为近似等边三角形, 由于 n3, n5, n7 三个锚节点是在以 A 为圆心的圆环上, 三点到 A 的距离相差不大, 所以此近似等边三角形的质心与圆点即 A 十分接近, 这样就可以把近似等边三角形的质心直接作为此圆环的圆环质心. 最终, 将各个所求得的圆环质心再求平均值作为此未知节点 A 的估计位置.

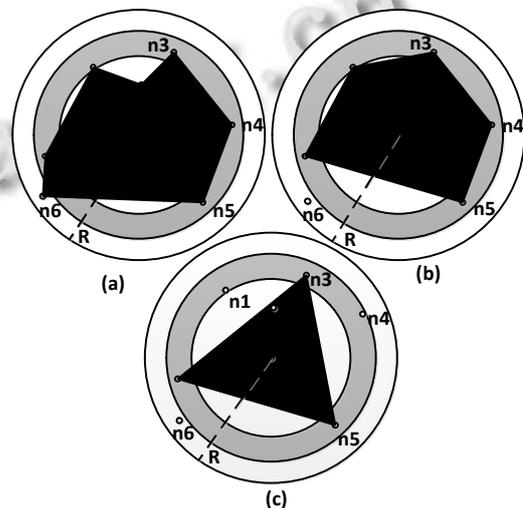


图 1 通过圆环选锚节点

### 1.2 利用 RSSI 值选取圆环

设  $P_{ij}$  为由节点 j 发送信号到节点 i 后节点 i 所测得的接收能量.  $P_{ij}$ <sup>[12]</sup> 可以表示为:

$$P_{ij} = P_0 - 10 \cdot N \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

其中,  $P_{ij}$  的单位为 dBm;  $P_0$  为相对于参考距离  $d_0$  的接收能量, 假设所有节点的发送信号强度相同;  $N$  表示路径长度和路径损耗之间的比例因子;  $d$  为  $i, j$  两点间的距离;  $d_0$  为参考距离.

由式(1)可以得出下面两个式子

$$P_m = P_0 - 10 \cdot N \cdot \log_{10}\left(\frac{d_m}{d_0}\right) \quad (2)$$

$$P_n = P_0 - 10 \cdot N \cdot \log_{10}\left(\frac{d_n}{d_0}\right) \quad (3)$$

联立式(2)(3), 得

$$P_m - P_n = 10 \cdot N \cdot \log_{10}\left(\frac{d_n}{d_0}\right) - 10 \cdot N \cdot \log_{10}\left(\frac{d_m}{d_0}\right)$$

于是可以得出  $i$  接收到两不同节点能量关系式(4)和距离关系式(6):

$$\Delta P = 10 \cdot N \cdot \log_{10}\left(\frac{d_n}{d_m}\right) \quad (4)$$

$$\frac{d_n}{d_m} = 10^{\frac{\Delta P}{10 \cdot N}} \quad (5)$$

$$\Delta d = |d_n - d_m| = |10^{\frac{\Delta P}{10 \cdot N}} - 1| \cdot d_m \quad (6)$$

在(6)式中,  $\Delta d$  为圆环宽度,  $\Delta P$  为  $i$  节点接收到  $m, n$  两节点的 RSSI 值之差. 在划分圆环时,  $d_m = R$ ,  $\Delta d$  取合适值, 得出  $\Delta P$ , 从而可以得到  $P_{c1} = P_{R0} - \Delta P$ , 其中,  $P_{c1}$  为第一个圆环内半径的接受能量,  $P_{R0}$  为相对于参考距离  $R$  的接受能量. 再取  $d_m = R - \Delta d$ , 得到第二个圆环, 以此类推, 直到划分圆环完毕. 每个圆环的内、外半径分别由计算出的 RSSI 值表示, 最小的圆环就为最内部的圆. 圆环宽度可以根据节点通信半径和锚节点比例选取合适的值. 图(2)为通信半径为 30m, 未知节点形成圆环示例.

### 1.3 算法步骤

- 1) 所有锚节点向网络广播, 广播信息中包含自己的坐标信息.
- 2) 未知节点收集锚节点的信息, 将收到的所有锚节点坐标信息及相应的 RSSI 值存入邻居表中. 在广播结束后, 未知节点根据选定好的 RSSI 值, 将通信范围划分为半径由大到小的圆环.
- 3) 在每个圆环中判断锚节点个数, 当时, 无法进行质心定位, 放弃此圆环上的锚节点; 当时, 对此圆环上的锚节点任选三个, 这三个锚节点组成一个三角形, 判断三角形是否为近似等边三角形, 如果是,

那么对三角形求质心, 作为圆环质心; 如果不是, 对圆环上所有锚节点求质心, 作为圆环质心. 重复以上过程, 算出所有圆环质心. 最终将所有圆环质心求平均值, 从而得出未知节点估计位置.

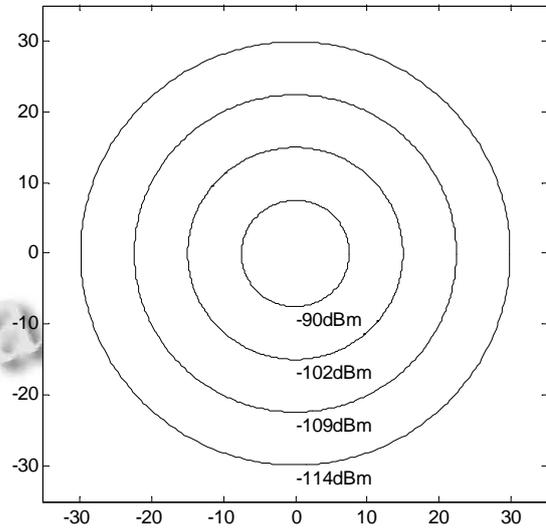


图 2 未知节点形成圆环示例

图 3 为圆环质心算法流程图.

## 2 仿真和分析

本文采用 matlab7.8.0 进行仿真. 仿真中在 100m×100m 的正方形区域内随机分布 100 个节点, 所有节点通信半径都为  $R$ , 考虑到无线传感器网络传播的不规则形, 在传输模型上选用 DOI Model 作为本次无线传感器网络定位算法仿真的传输模型.

在仿真中使用相对定位误差衡量定位误差:

$$E_i = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i0})^2 + (y_i - y_{i0})^2}}{R}$$

其中  $(x_i, y_i)$  是算法的估计位置,  $(x_{i0}, y_{i0})$  是节点的实际位置,  $R$  为节点通信半径. 所有节点的平均定位误差为:

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

如图 4 所示, 当锚节点数为 25%, 通信半径  $R=30m$  时, 基于 RSSI 的圆环质心算法得出的定位误差图. 星号代表锚节点, 圆圈代表未知节点的定位位置, 直线所指的点为未知节点的真实位置.

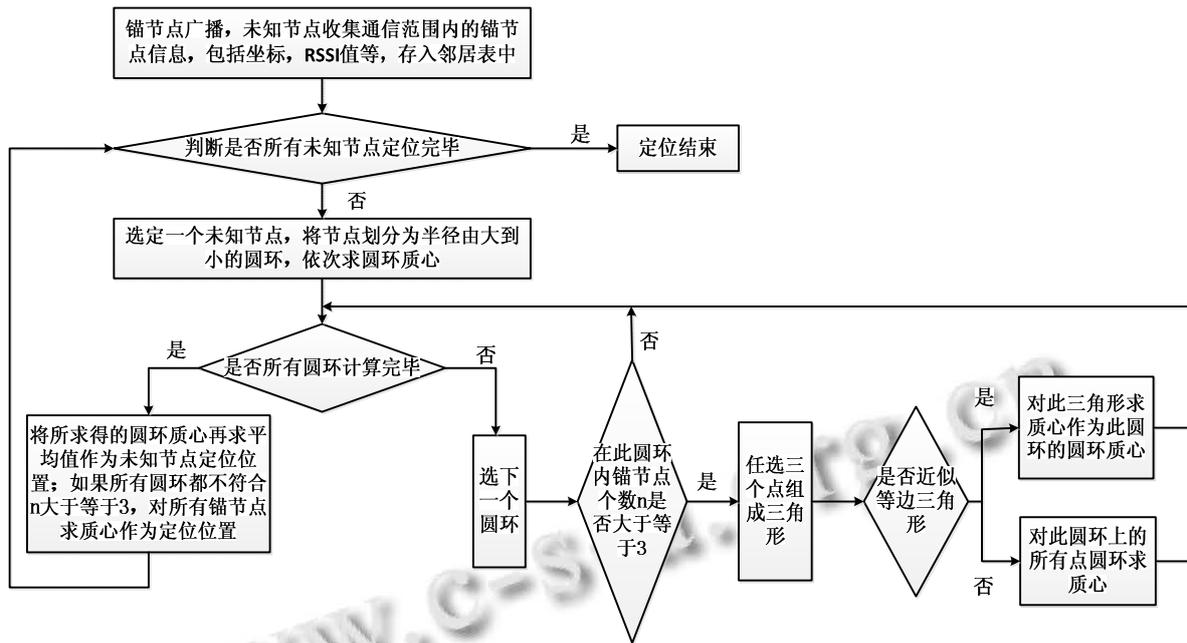


图 3 圆环质心算法流程图

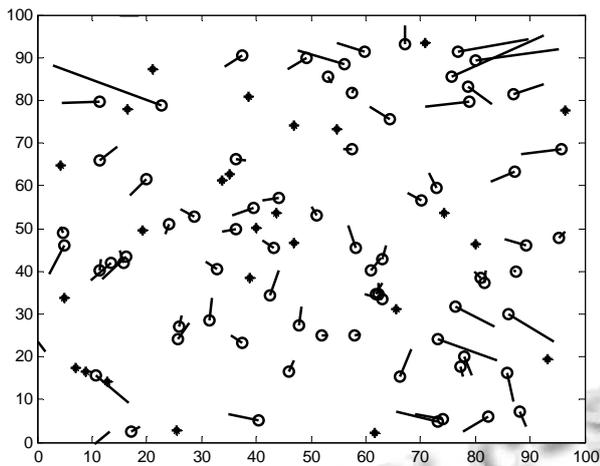


图 4 定位误差图

图 5 是圆环质心算法和质心算法的定位误差比较。在 100m×100m 的区域中随机分布 100 个节点，锚节点数为 20，所有节点通信半径分别取 20m,25m,,50m。由于圆环质心算法需要通过 RSSI 值选取圆环，在传输模型上选择 DOI Model, DOI=0.15。

由图 5 可以看出，在总节点数和锚节点数不变的情况下，随着节点通信半径的增大，圆环质心算法的平均定位误差明显下降。另外可以看出，圆环质心算法相比于质心算法，定位精度更加高，这是因为在求质心的过程中新算法对锚节点进行了筛选，将可能加

大定位误差的点滤除掉，并且通过寻找近似等边三角形来使得定位更加精确。

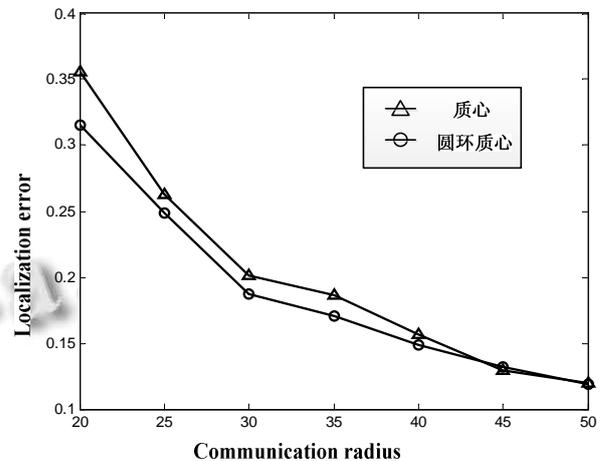


图 5 通信半径对定位误差影响

图 6 是在 100m×100m 的区域中随机分布 100 个节点，通信半径设为 20m，锚节点比例为 10%,15%,35% 下，圆环质心算法与质心算法的相对定位误差比较。可以看出，本文算法定位误差要小于质心算法，而且由于所有节点随机分布，节点分布均匀程度并不好，质心算法在 30% 和 35% 时相对定位误差变化并不大，而圆环质心算法的相对误差则在变小。

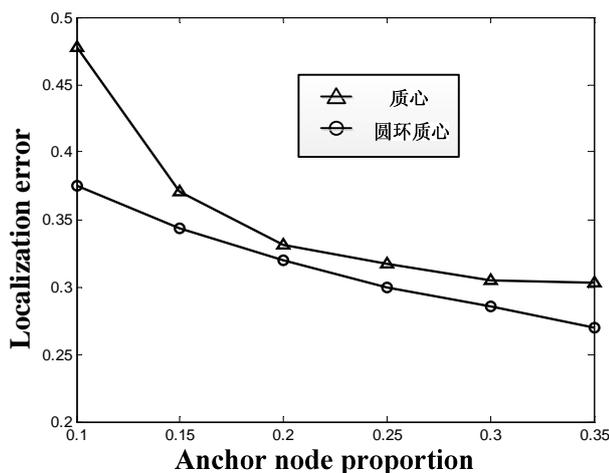


图6 锚节点比例对定位误差影响

### 3 结论

本文提出了一种基于RSSI值的圆环质心定位算法。该算法利用RSSI值将未知节点的通信区域划分为半径由大到小的圆环,对每个圆环求圆环质心,然后将所有圆环质心求平均值,实现未知节点定位。在本算法中,只有锚节点进行广播,未知节点间不需要通信,减少了通信量,使节点的能量得到了有效的节约。在仿真实验中,通过与质心算法比较,发现在相同的环境下,本文算法相对定位误差较小;并且该算法在100m×100m区域,锚节点比例25%的情况下,通信半径从20m到50m的过程中,相对定位误差由0.315减小到了0.119;通信半径为20m,锚节点比例由10%到35%的过程中,相对定位误差由0.375减小到了0.270。

#### 参考文献

1 王汝传,孙丽娟.无线传感器网络技术及其应用.北京:人民邮电出版社,2011:74-88.

- 2 王福豹,史龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法.软件学报,2005,16(5):857-858.
- 3 孙利民,李建中,陈瑜,等.无线传感器网络.北京:清华大学出版社,2005.
- 4 He T, Huang C, Blum BM. Range-free localization schemes for large scale sensor networks. Proc. of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking.
- 5 Patwari N, Ash JN, Kyperountas S. Locating the nodes cooperative localization in wireless sensor networks. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(4): 54-69.
- 6 Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost out door localization for very small devices. IEEE Personal Communication, 2000, 7(5): 28-34.
- 7 Doherty L, Pister KSJ. Convex position estimation in wireless sensor networks. Proc. of the IEEE INFOCOM 2001. 3, Anchorage. IEEE Computer and Communications Societies. 2001. 1655-1663.
- 8 Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad-hoc networks. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- 9 安文秀,赵菊敏,李灯熬.基于Amorphous的无线传感器网络定位算法研究.传感器与微系统,2013,32(2):33-35.
- 10 Ribeiro VJ, Riedi RH. Locating available band-width bottlenecks. IEEE Internet Computing, 2004, 8(5): 34-41.
- 11 蔡绍滨.无线传感器网络关键技术的研究与应用.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2011: 82-85.
- 12 王珊珊,殷建平,等.求解无线传感器网络定位问题的线性规划算法.计算机研究与发展,2009,46(5):705-712.