

# 基于 RSSI 测距的传感器节点质心定位修正算法

刘玉军<sup>1</sup>, 蔡 猛<sup>1</sup>, 高立恒<sup>2</sup>, 侯怀义<sup>3</sup>

(1. 装甲兵工程学院 信息工程系, 北京 10072; 2. 中国移动通信集团河北有限公司, 石家庄 50035; 3. 63926 部队, 北京 100192)

**摘要:** 针对传感器网络节点定位精度问题, 研究基于 RSSI 测距的定位算法, 提出多信标节点质心定位修正算法, 通过该算法计算得到多组未知节点估计坐标, 并在此基础上利用质心定位修正算法计算节点坐标修正值; 利用仿真实验, 证明基于 RSSI 测距的传感器节点质心定位算法定位精度比传统质心定位算法定位精度提高 13.8%, 比 RSSI 加权质心定位算法提高 6.3%。

**关键词:** 信号强度指示; 节点; 定位; 加权质心; 修正算法

## Algorithm of Multi-sensors Centroid Localization and Modification Based on RSSI

Liu Yujun<sup>1</sup>, Cai Meng<sup>1</sup>, Gao Liheng<sup>2</sup>, Hou Huaiyi<sup>1</sup>

(1. Department of Information Engineering Academy of Engineering Armored Forces, Beijing 100072, China; 2. China Mobile Group Hebei Co., Ltd., Shijiazhuang 050035, China; 3. PLA Unit 63926, Beijing 100192, China)

**Abstract:** In order to reduce the error due to the signal attenuation in complex electromagnetic environment, the multi sensor beacons localization algorithm based on RSSI was introduced. Firstly, the unknown sensor node's initial location can be done with the weighted centroid algorithm for triangle. Second, the final location information was modified by the modification algorithm. The simulation experiments show that the algorithm of multi-sensors centroid localization and modification based on RSSI has improved the positioning accuracy by 13.8% more than traditional centroid localization algorithm, by 6.3% more than RSSI-based weighting centroid localization algorithm.

**Keywords:** received signal strength Indicator; sensor; localization; weighted centroid; twice localization

## 0 引言

无线传感器网络由部署在监测区域内若干集物理信号采集、计算、无线通信能力于一身的小微型传感器节点组成<sup>[1-2]</sup>。传感器节点定位在传感器网络诸多应用中起关键性作用。一方面, 传感器网络中各种基于位置信息的服务如导航、跟踪、车辆和交通管理、火灾预警等, 都需要首先明确节点位置; 另一方面, 位置信息为基于地理位置的网络路由优化提供了支持, 了解节点位置信息是传感器网络实现定向查询、提高路由效率及均衡网络负载等功能的前提<sup>[2]</sup>。

常见节点定位算法一般分为: 距离无关定位和基于距离定位。前者仅依靠网络的连通等实现节点定位, 而基于距离的定位算法通过实际测量节点间的距离或方位实现定位, 定位精度相对较高。基于距离的定位算法中, 节点间距离或方位可通过到达时间 (TOA)、到达时间差 (TDOA)、到达角度 (AOA) 和接收信号强度指示 (RSSI) 等<sup>[2-3]</sup>。TOA、TDOA 都需要精确的时钟同步, AOA 对测向精度要求较高。RSSI 定位利用信号在传输过程中会有一定的强度损耗情况, 根据理论和经验模型将这个损耗情况估算成节点间距离。传感器本身可以满足 RSSI 值测量, 不需增添额外硬件支持, 易于实现<sup>[4]</sup>。

RSSI 定位算法研究内容主要有: 建立更加符合实际环境

传输损耗模型, 减少传输损耗对算法的影响; 改进定位算法, 提高定位精度。

文献 [5] 中的 RADAR 室内定位系统是最早使用基于 RSSI 值和三边测量法的定位技术。文献 [6] 利用少量的信标节点实现传感器定位, 定位算法易于实现, 但是对未知节点与信标节点的几何分布要求较高。由于测距产生的误差, 三边测量定位所使用的圆很难准确相交于一点<sup>[7-8]</sup>, 造成定位结果随意性大、估算误差大、累计误差严重。文献 [7] 提出距离加权的质心定位算法。文献 [9] 所提出信标节点几何分布在加权质心定位算法中的影响力, 信标节点到未知节点的距离越近, RSSI 传播损耗越小, 由 RSSI 值计算得出的节点间距离越可靠, 影响力也就越大, 从而对未知节点定位更具说服力。

针对 RSSI 测距质心定位算法未深入考虑信号在远距离传播比近距离传播可能受到更多反射、多径效应、天线增益等诸多因素影响而导致距离测量误差偏大的问题, 对三角形加权质心定位算法中加权因子做出修正, 提出双重定位修正算法, 对第一次定位结果取平均值作为最终坐标位置。

## 1 RSSI 测距质心定位修正算法

定位过程分 3 个阶段: ①测距, 未知节点首先通过测量 RSSI 值计算得到与四个信标节点之间的距离; ②定位, 利用三角形加权质心算法计算未知节点的坐标; ③修正, 增加一个信标节点, 与前 3 个信标节点组合成四组三角形, 分别按照步骤二求得各组质心, 取四组质心数据的均值作为最终定位结果。

收稿日期: 2014-04-11; 修回日期: 2014-05-12。

作者简介: 刘玉军(1966-), 男, 北京人, 工学硕士, 教授, 主要从事网络通信方向的研究。

### 1.1 基于 RSSI 的测距

信标节点周期性地向周围环境中发送自身节点 ID 信息; 未知节点收到信息后, 经过获取该 ID 节点的 RSSI 值, 并对多个值取平均作为接收到的某 ID 未知节点的 RSSI 值。

由于无线电传播过程中会有不同程度的损耗, 大致存在以下几种损耗模型: 自由空间传播模型、对数-常态分布模型、对数距离路径损耗模型、Hata 模型等。针对空旷的应用环境, 采用对数-常态分布模型<sup>[10]</sup>, 其信号传播的衰减模型<sup>[11]</sup>为:

$$RSSI(d) = RSSI_0 - 10a \cdot \lg(d) + \delta \quad (1)$$

$RSSI(d)$  表示距离发射节点  $d$  处接收到的 RSSI 值;  $a$  为距离信源处所接收到的值; 表示衰减因子, 与周围环境和障碍物密切相关, 取值 2~5;  $\delta$  为均值为零的高斯分布的随机噪声值, 标准差为 4~10。

根据 (1) 式, 可以算出节点到辐射信号的另一节点的距离  $d$ , 即信标与未知节点的距离。本文拟采用 3 个信标节点 A、B、C 对未知节点定位, 故测距阶段应得到至少 3 个距离值  $d_1, d_2, d_3$ , 如图 1 所示。

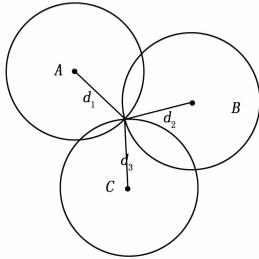


图 1 RSSI 定位的理想距离模型图

在理想无线传感器网络中, 根据信标节点和未知节点间的距离模型, 如图 1 所示, 可以通过三边测量计算出未知节点的坐标位置信息。但由于环境的干扰和电磁场信号的无规则衰减, 导致信标节点到未知节点的 RSSI 值换算出来的距离值大于从未知节点到信标节点的实际距离真实值, 因此由 RSSI 换算值得出的距离模型的实际情况如图 2 所示。未知节点应该在分别以信标 A、B、C 为圆心, 以  $d_1, d_2, d_3$  为半径的 3 个圆的相交区域范围内。

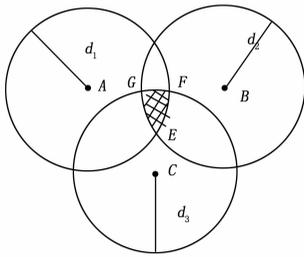


图 2 信标与未知节点的实际距离模型图

### 1.2 定位算法修正

定位计算是在测距阶段获得距离  $d$  的基础上, 通过三边定位算法获得未知节点三角区域、加权质心算法计算节点位置。

#### 1.2.1 三边定位算法

已知信标节点的位置信息, 选定适当坐标原点, 建立坐标系, 假设信标节点的位置坐标表示为  $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 、 $C(x_3, y_3)$ , 未知节点坐标表示为  $M(x, y)$ , 以信标节点为圆心、信标节点与未知节点间距离为半径的圆为:

$$\begin{cases} \text{圆 A} & (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = d_1^2 \\ \text{圆 B} & (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = d_2^2 \\ \text{圆 C} & (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

式 (2) 即为根据二维空间距离计算公式所获得的非线性方程组。如图 2 所示, 圆 A、B、C 两两相交, 交点坐标位置可以通过两圆的方程组求解得到, 依此可以得到每两个圆的交点坐标。具体方程如下:

$$\begin{cases} (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = d_2^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = d_1^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = d_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = d_2^2 \end{cases} \quad (5)$$

分别求解方程组得到 3 组坐标  $\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a_3 \\ a_4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a_5 \\ a_6 \end{pmatrix}$ 。

根据“三圆相交区域内任意点到圆心距离小于等于任一圆半径”, 继而判断出要求的三角区域顶点, 本文假设所求出的三角形顶点为  $E(a_1, b_1)$ 、 $F(a_3, b_3)$ 、 $G(a_5, b_5)$ , 如图 2 所示, 其中 E 点由圆 B、圆 C 相交, F 点由圆 A、圆 C 相交, G 点由圆 A、圆 B 相交。

#### 1.2.2 三角形加权质心算法

传统三角形质心定位算法计算三角形  $EFG$  质心  $M$  坐标为  $(\frac{a_1+a_3+a_5}{3}, \frac{b_1+b_3+b_5}{3})$ <sup>[11]</sup>。本研究在传统三角形质心定位算法的基础上, 引入加权思想, 修改三角形加权质心定位算法。加权定位算法中, 权值的选取是提高定位精度的关键。在定位算法中, 信标节点对未知节点位置都有影响力, RSSI 越大的信标节点, 影响力越大<sup>[9,11]</sup>, 对节点位置有更大的决定权, 因此信标节点对计算未知节点位置信息的影响力可以通过节点间距离的倒数反映出来。

由该算法可表示出未知节点  $M(x, y)$  为:

$$\begin{cases} x = \frac{a_1 \cdot (\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3}) + a_3 \cdot (\frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_1}) + a_5 \cdot (\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2})}{2 \cdot (\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3})} \\ y = \frac{b_1 \cdot (\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3}) + b_3 \cdot (\frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_1}) + b_5 \cdot (\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2})}{2 \cdot (\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3})} \end{cases} \quad (6)$$

加权因子来表示各信标对类三角形中目标位置的影响程度,  $a_1$  的系数为  $\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3}$  的原因是  $a_1$  是由信标 B 和信标 C 的 RSSI 值获得的距离  $d_2, d_3$  产生的圆相交得到的。

### 1.3 定位结果修正

为了得到更加精确的定位, 提出双重定位算法机制, 即

增加 1 个信标节点与既有信标组合。由此未知节点可获得 4 个 RSSI 参数信息, 从而推出未知节点分别与这 4 个信标节点的距离  $d_1, d_2, d_3, d_4$ , 将这 4 个参数随机组合成  $C_4^3$  个分组, 每个分组按照 2.2 中三角形加权质心算法获得 1 个质心坐标, 即通过 4 个随机分组可得到 4 个坐标参数  $M_1 (X_1, Y_1), M_2 (X_2, Y_2), M_3 (X_3, Y_3), M_4 (X_4, Y_4)$ , 对此 4 个坐标点求质心从而得到未知节点的最终坐标  $P (X, Y)$

$$\begin{cases} X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{4} \\ Y = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}{4} \end{cases} \quad (7)$$

依此类推, 当信标节点数量增加到  $n$  个时, 就可以得到  $C_n^3$  个坐标参数, 从而得到更加精确的节点坐标。<sup>[12]</sup>

## 2 仿真验证

利用 Matlab 仿真软件对上述算法性能进行仿真验证。假设仿真区域大小为  $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ , 仿真区域内所有节点处于静止状态且节点间通信正常, 节点的通信半径设为  $50 \text{ m}$ ; 路径衰减因子设为  $3.3$ ; 所有的仿真实验环境中都加入了均值为零, 标准差为  $5$  的满足高斯分布的随机噪声; 仿真实验都进行  $500$  次, 最后未知节点定位结果取平均值。

误差分析:

$$error = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (8)$$

$(x, y)$  表示未知节点实际坐标,  $(x', y')$  表示未知节点估计坐标。

本文所研究的基于 RSSI 测距的传感器节点质心定位修正算法受信标节点的密度影响很大, 仿真内容包括算法的有效性以及信标节点个数的多少对算法定位精度的影响。

由图 3 可知, 在仿真条件相同的情况下, 基于 RSSI 测距的传统质心定位算法经过加权修正以后, 未知节点的定位精度比普通质心定位算法定位精度提高  $13.8\%$ , 比 RSSI 加权质心算法提高  $6.3\%$ , 这说明了权值在定位算法中的重定位要价值。

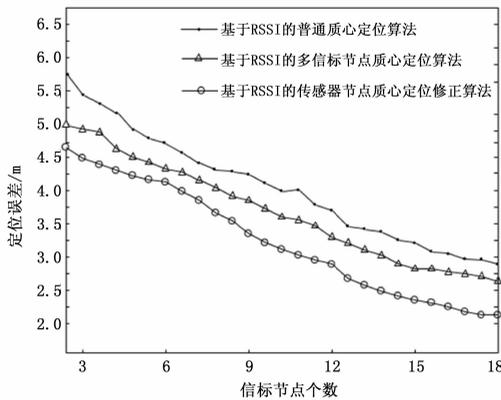


图 3 质心定位修正算法效果对比图

横向观察, 相同条件下, 信标节点从 3 个到 18 个变化时, 两种定位算法的定位误差都在逐渐减小, 这也充分说明了增加信标节点的个数后的质心定位修正算法对于提高的定位精度有着重要作用。

## 3 结束语

提出基于 RSSI 的多信标节点质心定位修正算法, 利用 RSSI 值测得未知节点到信标节点的距离  $d$ , 根据以信标为圆心、以距离  $d$  为半径的 3 个圆相交获得未知节点位置的三角区域, 并对三角形区域加权求质心算法得到未知节点的位置信息, 最后采用修正算法对定位结果再次求均, 得到更精确的位置信息。经过仿真验证, 多信标节点质心定位修正算法对提高节点定位精度起到明显的作用。

### 参考文献:

- [1] 崔学义. WSN 的由来以及在国外的研究和发展 [J]. 中国电子商情 (RFID 技术与应用), 2009, (5): 45-48.
- [2] 占宏. 基于移动信标的无线传感器网络节点定位算法研究 [D]. 广州: 华南理工大学学报, 2012.
- [2] 宋慧敏, 杨社堂, 赵栋栋. 基于人工神经网络的无线传感器定位算法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (2): 473-475.
- [3] Karthick N, Keshav Prashanth, K. Venkatraman, et al. Location Estimation Using RSSI and Application of Extended Kalman Filter in Wireless Sensor Networks [A]. In Proceedings of the International Conference on Advanced Computer Control [C]. 2009: 337-341.
- [4] 彭宇, 王丹. 无线传感器网络定位技术综述 [J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25 (5): 389-399.
- [5] Ison J, Grid L, Esrein D. Fine grained Network Time Synchronization Using Reference Broadcast [A]. In: Proc. 5th Symp. Operation Systems Design and Implementation (OSDI 2002) [C]. Boston, MA. 2002.
- [6] Patil M M, Shaha H, Desai U B, et al. Localization in wireless sensor network using three masters [A]. Personal Wireless Communications. ICPWC 2005 [C]. New Delh: IEEE, 2005: 384-388.
- [7] 陈维克, 李文锋, 首珩, 等. 基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法 [J]. 武汉理工大学学报, 2006, 30 (2): 255-268.
- [8] 刘运杰, 金明录, 崔承毅. 基于 RSSI 的无线传感器网络修正加权质心定位算法 [J]. 传感器技术学报, 2010, 23 (5): 717-721.
- [9] Jan Blumenthal, Ralf Grossmann, Frank Golatowski, et al. Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks [A]. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing [C]. 2007 (WISP 2007), 2007: 1-6.
- [10] 林玮, 陈传峰. 基于 RSSI 的无线传感器网络三角形质心定位算法 [J]. 现代电子技术, 2009, 2: 180-182.
- [11] Oka A, Lampe L. Distributed target tracking using signal strength measurements by a wireless sensor network [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28 (7): 1006-1015.