

## An Improved Localization Algorithm Based on RSSI in WSN

ZHAO Zhao, CHEN Xiao-hui \*

(College of Automation Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** In wireless sensor networks, the node self-localization is vital and promising to a wide scope of both military and civilian applications. In this respect there are two types of algorithms, i. e. range-based and range-irrelevant, either has its own advantages and disadvantages. Taking account of those of the two algorithms, a low-cost and practical algorithm is proposed, using collation of RSSI (received signal strength indicator) for range measurement between nodes and optimization of beacon node in sensor network, then localizing nodes by weight centroid algorithm. Simulation results show that this algorithm has a better performance than classical RSSI algorithm.

**Key words:** wireless sensor networks; localization; distance measurement based on RSSI; weight centroid algorithm

EEACC: 7230; 6210C; 6150P

## 无线传感器网络中基于 RSSI 的改进定位算法

赵 昭, 陈小惠 \*

(南京邮电大学自动化学院, 南京 210003)

**摘 要:** 无线传感器网络节点自身定位至关重要, 在军事和民用领域中有着广泛的应用前景。目前的定位算法主要分为两种类型, 即基于距离的定位算法和距离无关的定位算法。这两种类型的算法各有优势和不足。考虑了两种算法的优缺点, 提出了一种廉价实用的定位算法, 该方法通过校正 RSSI 测距技术测量的节点间点到点的距离, 并优选信标节点, 最后用加权质心方法进行定位。仿真结果表明: 本算法比传统的 RSSI 定位算法拥有更好的定位性能。

**关键词:** 无线传感器网络; 节点定位; RSSI 测距; 加权质心算法

中图分类号: TN915.01

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2009)03-0391-04

无线传感器网络<sup>[1-2]</sup> 节点自身定位是其他应用的基础, 因为只有在传感器节点自身正确定位后, 才能确定监测到的事件发生的具体位置, 实现对外部目标的定位和追踪。如今, 无线传感器网络定位已经成为了一个很重要的研究方向和热点问题<sup>[3]</sup>。

距离无关的定位算法主要有质心法, DV-HOP, 凸规划和 MDS-MAP 等, 这类算法通过节点之间的通信连接关系来粗略估算节点的位置, 对节点硬件要求较低, 但定位精度不高。基于距离的定位算法由于实际测量节点间的距离或角度, 通常定位精度较高。常用的测距方式有 GPS<sup>[4]</sup>, 红外线<sup>[5]</sup>, 超声波<sup>[6]</sup> 和 RSSI<sup>[7]</sup> 等, GPS, 红外线和超声波测距都需要额外的硬件, 增加了节点的硬件成本和尺寸, 基于 RSSI 的定位无须额外硬件, 利用对接收无线电信号的强弱判断, 推导收发节点间的距离, 计算接收无线信号强度是商用无线收发芯片具备的功能, 所以基于 RSSI 的测距

是无线传感器网络定位较常采用的方法。

实验验证 RSSI 的定位测距可重复性, 在适度的动态环境中 RSSI 变化有规律性, 采用加权和均值法可消除环境因素对 RSSI 测量的影响<sup>[8]</sup>。本文根据这些特点, 提出了一种低成本, 能耗小, 定位精确且实用的方法。该方法把固定信标节点之间的距离和信号强度两种信息同时作为参考来校正 RSSI 测距值, 并优选信标节点, 然后采用加权质心法计算待测节点位置, 于是有效地减少了测距误差并提高了运算效率。

### 1 算法模型

#### 1.1 无线信号传播模型

现今主要存在 3 种信号传播模型: Free-Space 模型, Two-Ray Ground Reflection 模型和 Shadowing 模型。前两个模型都认为接收信号的能量是

距离的一个确定函数,即信号传输模型都是一个理想圆。实际环境中由于多路径反射,障碍物阻隔等原因信号传输往往是各向异性的。因此具有综合性的 Shadowing 模型在无线传感器网络中使用更加广泛。

Shadowing 模型由两部分组成,第一个部分是 Pass Loss 模型。 $\beta$  为路径损耗系数,范围在 2 至 6 之间,障碍物越多相对的  $\beta$  值越大。它能够预测出当距离为  $d$  时接收到的平均能量,表示为  $P_r(d)$ 。使用了一个接近中心的距离  $d_0$  作为参考,  $P_r(d)$  相对于  $P_r(d_0)$  的计算如下:

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^{\beta} \tag{1}$$

Shadowing 模型的第二部分反映了当距离一定时,接收到能量的变化。它是一个对数正态随机变量,也就是说,如果以 dB 作为计量单位它满足高斯分布。完整的 Shadowing 模型如下:

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)}\right]_{\text{dB}} = -10\beta\lg\left[\frac{d}{d_0}\right] + X_{\sigma} \tag{2}$$

$X_{\sigma}$  是一个平均值为 0 的高斯分布变量,  $P_r(d_0)$  和  $d_0$  分别是参考能量和参考距离。Shadowing 模型对理想环境模型进行了扩展,将一个零均值高斯分布的随机噪声引入了无线电传播模型,其特征可以用对数正态分布的随机变量来刻画。

1.2 数学模型

三边测量法如图 1 所示,已知  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三个节点的坐标分别为  $(x_A, y_A)$ 、 $(x_B, y_B)$ 、 $(x_C, y_C)$ ,以及它们到未知节点  $M$  的距离分别为  $d_A$ 、 $d_B$ 、 $d_C$ ,假设节点  $M$  的坐标为  $(x, y)$ 。

那么,存在下列公式为

$$\sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} = d_A \tag{3}$$

$$\sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} = d_B \tag{4}$$

$$\sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} = d_C \tag{5}$$

在实际环境中,由于测量误差三个圆不会交于一点<sup>[9]</sup>,实际情况如图 2 所示,将式(3),式(4),式(5)平

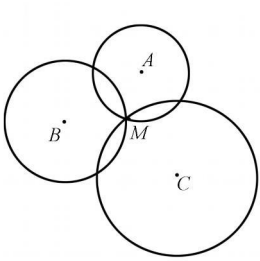


图 1 三边测量法图示

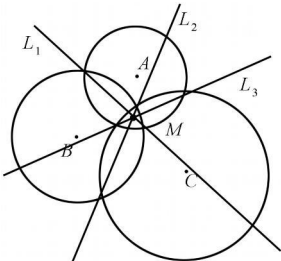


图 2 三边测量实际情形

方后再两两相减,即可得图 2 中直线  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ :

$$L_1: 2(x_B - x_A)x + 2(y_B - y_A)y = d_A^2 - d_B^2 - x_B^2 + x_A^2 - y_B^2 + y_A^2 \tag{6}$$

$$L_2: 2(x_C - x_B)x + 2(y_C - y_B)y = d_B^2 - d_C^2 - x_B^2 + x_C^2 - y_B^2 + y_C^2 \tag{7}$$

$$L_3: 2(x_C - x_A)x + 2(y_C - y_A)y = d_A^2 - d_C^2 - x_A^2 + x_C^2 - y_A^2 + y_C^2 \tag{8}$$

三条直线的交点即式(6),式(7),式(8)组成的方程组的解,可以作为未知节点  $M$  的估计坐标。若方程组无解,则说明三条直线无交点。如图 3 所示。

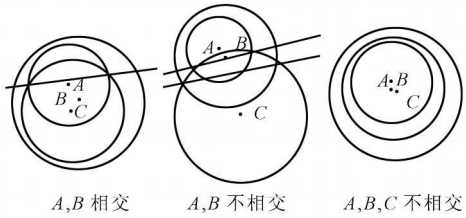


图 3 三条直线无交点情形

1.3 优选信标节点模型

在 RSSI 值测距过程中,距离越近测距精度越高,所以本文采取优选信标节点的方法提高未知节点的精度。如图 4 所示,具体做法是:未知节点将测得的  $d$  值从小到大排序,取前四个信标节点进行定位,每次取 3 个信标节点即 3 个圆便可对未知节点进行一次坐标估计,共有 4 组组合可产生待测节点  $M(x, y)$  的 4 次估计坐标  $M_1(x_1, y_1)$ ,  $M_2(x_2, y_2)$ ,  $M_3(x_3, y_3)$ ,  $M_4(x_4, y_4)$  再对其求质心,可得节点  $M$  的坐标为:

$$\begin{cases} x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \\ y = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} \end{cases} \tag{9}$$

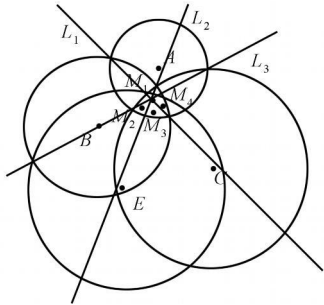


图 4 优选信标节点图示

在上述过程中,每组参与定位的 3 个圆若出现三条直线无交点即对应的方程组无解,则用后面的节点替换前一个节点,直到满足定位要求为止。

为了进一步提高定位精度,采用加权的思想<sup>[10]</sup>,即在每组定位坐标中引入加权因子。加权因子为参与每次定位 3 个圆的半径和的倒数,若参与定位的信标节点为  $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ 、 $C(x_C, y_C)$ 、 $E(x_E, y_E)$ ,待测节点  $M(x, y)$  到各信标节点的距离分别为  $d_A$ 、 $d_B$ 、 $d_C$ 、 $d_E$ ,通过  $A$ 、 $B$ 、 $C$  点得到  $M$  点的坐标估计  $M_1(x_1, y_1)$ ,通过  $A$ 、 $B$ 、 $E$  点得到  $M$  点的坐标估计  $M_2(x_2, y_2)$ ,通过  $A$ 、 $C$ 、 $E$  点得到  $M$  点的坐

标估计  $M_3(x_3, y_3)$ , 通过  $B, C, E$  点得到  $M$  点的坐标估计  $M_4(x_4, y_4)$ , 则通过加权质心算法可得到  $M$  的坐标为:

$$\begin{cases} x = \frac{\frac{x_1}{d_A + d_B + d_C} + \frac{x_2}{d_A + d_B + d_E} + \frac{x_3}{d_A + d_C + d_E} + \frac{x_4}{d_B + d_C + d_E}}{\frac{1}{d_A + d_B + d_C} + \frac{1}{d_A + d_B + d_E} + \frac{1}{d_A + d_C + d_E} + \frac{1}{d_B + d_C + d_E}} \\ y = \frac{\frac{y_1}{d_A + d_B + d_C} + \frac{y_2}{d_A + d_B + d_E} + \frac{y_3}{d_A + d_C + d_E} + \frac{y_4}{d_B + d_C + d_E}}{\frac{1}{d_A + d_B + d_C} + \frac{1}{d_A + d_B + d_E} + \frac{1}{d_A + d_C + d_E} + \frac{1}{d_B + d_C + d_E}} \end{cases} \quad (10)$$

#### 1.4 校正 RSSI 测距值模型

实际环境中同一个 RSSI 值, 在同一网络拓扑分布中的不同节点对之间代表的距离是不同的。如果未知节点的位置计算仅仅考虑未知节点到某个信标节点的 RSSI 值而没加入其它修正方法, 算法就存在一定的定位误差。所以, 我们考虑在上述方法的基础上把固定信标节点之间的距离和信号强度两种信息同时作为参考来校正 RSSI 的测距值。

RSSI<sub>i</sub> 表示未知节点接收到信标节点  $B_i$  信号的 RSSI 平均值(单位: dBm),  $P_i$  表示未知节点接收到信标节点  $B_i$  的信号强度平均值(单位: mW), 那么两者的转换关系:

$$P_i = 10^{\text{RSSI}_i/10} \quad (11)$$

RSSI<sub>ij</sub> 表示信标节点  $B_i$  接收到信标节点  $B_j$  信号 RSSI 平均值(单位: dBm),  $P_{ij}$  表示信标节点  $B_i$  接收到信标节点  $B_j$  的信号强度平均值(单位: mW), 则同理有:

$$P_{ij} = 10^{\text{RSSI}_{ij}/10} \quad (12)$$

$Bd_{ij}$  表示信标节点  $B_i$  和  $B_j$  之间的距离。 $d_i^j$  表示以信标节点对  $B_i$  和  $B_j$  为参考时代入式(1)计算得到的从未知节点到信标节点  $B_i$  的距离:

$$\frac{P_{ij}}{P_i} = \left( \frac{d_i^j}{Bd_{ij}} \right)^\beta \quad (13)$$

从而得到:

$$d_i^j = \frac{P_{ij}^{\frac{1}{\beta}} \times Bd_{ij}}{P_i^{\frac{1}{\beta}}} \quad (14)$$

因此, 未知节点到信标节点  $B_i$  的距离  $d_i$  可以表示为所有的  $d_i^j$  对于所有  $j$  的可能值的平均值:

$$d_i = \frac{\sum_j d_i^j}{N} \quad (15)$$

$N$  为信标节点  $B_i$  的通信半径内的其他信标节点总数, 根据计算得到的校正距离  $d_i$  可以利用式(10)计算未知节点的位置

## 2 算法流程

① 信标节点以相同功率周期性发送自身信息: 节点 ID, 自身位置信息, 同时信标节点  $B_i$  将收到的信标节点  $B_j$  的 RSSI<sub>ij</sub> 值求均值, 由式(12)计算出  $P_{ij}$  和  $Bd_{ij}$ , 并将结果广播出去。② 待测未知节点在收到各个信标信息后, 记录同一个信标节点 RSSI 均值, 由式

(11), (14), (15) 求出  $d_i$ 。③ 未知节点对计算出来的  $d_i$  值从小到大排序, 把最小的  $d_i$  值赋给  $D_1$ , 其次以此类推, 建立 3 个对应集合。(  $B_1$  就是离未知节点最近的信标节点, 距离为  $D_1$ , 坐标为  $(X_1, Y_1)$  ),  $Q$  为未知节点通信半径内的信标节点个数。

未知节点到信标节点距离集合: Distance\_set =  $\{D_1, D_2, D_3 \dots D_Q\}$

信标节点集合: Beacon\_set =  $\{B_1, B_2, B_3 \dots B_Q\}$

信标节点位置信息: Position\_set =  $\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3) \dots (X_Q, Y_Q)\}$

④ 优选信标节点: 取排在前 4 个信标节点(距离未知节点最近的)进行自身定位计算。

(a) 建立三角形集合: Triangle\_set =  $\{(B_1, B_2, B_3), (B_1, B_2, B_4), (B_1, B_3, B_4), (B_2, B_3, B_4)\}$

(b) 对上述三角形集合中的每个三角形用式(6), 式(7), 式(8)组成的方程组进行求解检验, 若 4 个三角形或 4 个方程组同时有解, 则进行 4(d); 否则进入 4(c)。

(c) 用  $B_5$  代替  $B_4$ , 用  $B_6$  代替  $B_5$ , 以此类推, 进入 4(b)。

(d) 求未知节点 4 个坐标估计  $M_1(x_1, y_1)$ ,  $M_2(x_2, y_2)$ ,  $M_3(x_3, y_3)$ ,  $M_4(x_4, y_4)$

⑤ 对 4(d) 所得结果通过“校正 RSSI 值的普通质心算法”, 利用式(9)求得待测节点坐标  $M(x, y)$ 。

⑥ 对 4(d) 所得结果通过“校正 RSSI 值的加权质心算法”, 利用式(10)求得待测节点坐标  $M(x, y)$ 。

## 3 仿真分析

用 MATLAB 进行算法仿真, 基本初始条件为无线传感器网络位于  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  区域内, 该区域左下角坐标为  $(-50, -50)$ , 右上角坐标为  $(50, 50)$ 。未知节点位于  $(0, 0)$  点, 信标节点随机分布在区域内, 无线信号载频为  $2.4 \text{ GHz}$ 。每个仿真实验运行 500 次, 所有仿真结果取 500 次的平均值。比较对象为: 传统基于 RSSI 值的定位算法。仿真结果如图 5, 图 6, 图 7 所示。

仿真首先研究了信标节点数, 即传感器网络中信标节点密度对定位精度的影响。路径损耗系数设为 3.5, 节点通信半径为 45 m, 信标节点从 10 逐个递增至 25。如图 5 所示, 随着信标数目增加, 它们的

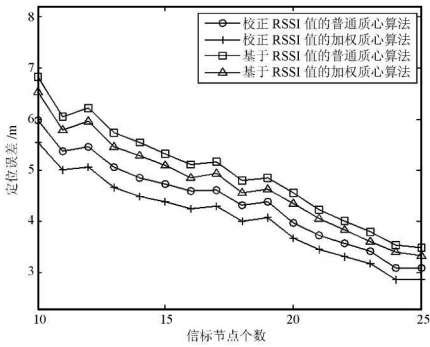


图 5 信标节点数对定位误差影响

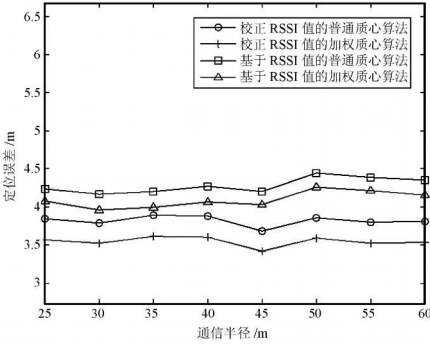


图 6 节点通信半径对定位误差影响

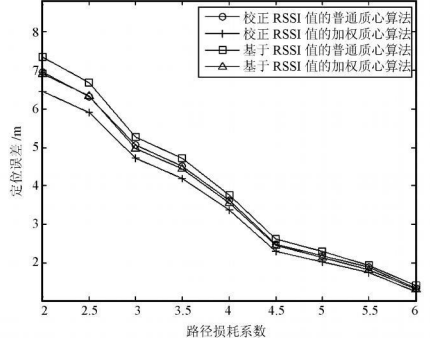


图 7 路径损耗系数对定位误差影响

定位误差均随之下降。本文优选信标节点的校正 RSSI 测距值的加权质心算法定位误差较小,性能优于传统基于 RSSI 值的定位算法。

路径损耗系数设为 3.5,信标节点数设定为 25,通信半径从 25 m 按步长 5 增加到 60 m。如图 6 所示,随着节点通信半径增加,它们的定位误差曲线均没有明显的增加。本文算法性能优于传统算法。设

定节点通信半径为 45 m,信标节点数目为 25,路径损耗系数从 2 按步长 0.5 逐渐变化到 6。图 7 所示,随着路径损耗系数增加,节点定为误差减小。而且,本文算法性能较好。当路径损耗系数增加时,两者间的差距逐渐减小,其原因还有待于进一步研究。

4 结 论

本文提出了优选信标节点的校正 RSSI 测距值的加权质心算法,仿真结果表明,本文算法比传统的 RSSI 定位算法拥有更好的定位性能。此外,整个算法完全采用几何运算,不需要迭代,具有非常好的快速性;同时,本定位算法对硬件要求不高,能较好地适应 WSN 低成本与低功耗的要求,是一种可选的定位方案。在今后的应用中,还可以通过 Kalman 滤波器来进一步优化算法性能,从而得到更好的定位性能。

参考文献:

[ 1 ] Akyildiz I F, Su W, Sankasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[ J ]. Computer Network, 2002, 38: 93-422.

[ 2 ] Callaway E H. Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols[ M ]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004: 1-10.

[ 3 ] 廖先林, 耿娜, 石凯, 等. 无线传感器网络节点自身定位算法[ J ]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(6): 801-804.

[ 4 ] Azuma R. Tracking Requirements for Augmented Reality[ J ]. Communication of the ACM, 1993, 36(7): 50-51.

[ 5 ] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices[ J ]. IEEE Personal Communication Magazine, 2000, 7(5): 28-34.

[ 6 ] Girod L, Estrin D. Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal sensing[ C ]//proc. of the IEEE/ RSJ Int conf on Intelligent Robots and Systems Maui; IEEE Robotics and Automation Society, 2001, 3: 1312-1320.

[ 7 ] Girod L, Bychovskiy V, Elson J, Estrin D. Locating Tiny Sensors in Time and Space : A Case Study[ C ]// Werner B. ed. Proc. of the 2002IEEE Int' I Conf . on Computer Design : 2002, 214-219.

[ 8 ] 方震, 赵湛, 郭鹏, 等. 基于 RSSI 测距分析[ J ]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526-2530.

[ 9 ] 孙立民, 李健中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[ 10 ] 文举, 金建勋, 袁海. 一种无线传感器网络四边测距定位算法[ J ]. 传感器与微系统, 2008, 27(5): 108-110.



赵 昭(1983-),男,陕西眉县人,硕士研究生,本科毕业于西安邮电学院通信工程系,现就读于南京邮电大学自动化学院,研究方向为无线传感器网络, yu-hu233@163.com



陈小惠(1961-),男,江苏无锡人,教授,硕士生导师,哈尔滨工程大学自动化系控制理论与控制工程专业硕士毕业;东南大学仪器科学与工程系博士毕业;2005年—2006年英国 University of Bristol (Department of Electrical and Electronic Engineering) 高级访问学者,长期从事教学和科研工作,承担国家自然科学基金项目、国防预研基金项目、大型横向项目等各类科研项目 20 余项,获省部级奖项 3 项,开发产品 10 余项;核心期刊发表论文 50 余篇, EI 检索 9 篇,出版教材 1 部。研究方向为智能仪器与测控技术,传感器网络。