

# Geometrical Location Algorithm Based on Position Correction

Tengfei Gao, Xiaoping Chen

School of Electronic & Information Engineering, Soochow University, Suzhou Jiangsu  
Email: [funnygtf@163.com](mailto:funnygtf@163.com)

Received: Mar. 30<sup>th</sup>, 2015; accepted: Apr. 10<sup>th</sup>, 2015; published: Apr. 16<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

RSSI-based location method is increasingly used in indoor wireless positioning for its low power consumption, low cost and low hardware complexity. However, RSSI-based location also has many flaws, such as poor network stability, large environmental interference, leading to a large position error. For these, the paper puts forward an improved algorithm. First, we collect RSSI value 20 times using a Gaussian filter to filter out error sample and then get node coordinates by geometric algorithm. Finally, a new correction algorithm is proposed to correct coordinates. Test results show that this method can reduce the average error from 2.6 m to about 1.4 m; correction effect is obvious.

## Keywords

RSSI, Location Algorithm, Gaussian Filter

---

# 基于坐标修正的定位算法

高腾飞, 陈小平

苏州大学电子信息学院, 江苏 苏州  
Email: [funnygtf@163.com](mailto:funnygtf@163.com)

收稿日期: 2015年3月30日; 录用日期: 2015年4月10日; 发布日期: 2015年4月16日

---

## 摘 要

基于接收信号强度值(RSSI)的定位方法以其低功耗, 低成本和较低的硬件复杂度等特点被越来越多的应

用在室内无线定位中。但RSSI定位也有很多缺陷，如网络稳定性差，受到环境干扰大，从而导致较大的定位误差。对此，提出了一些改进算法。首先连续采集20次RSSI值，采用高斯滤波将干扰较大的样本滤除，然后通过几何算法得到节点坐标。最后提出一种新的修正算法对坐标进行修正。测试结果显示此方法可以将平均误差从2.6 m降低到约1.4 m，修正效果明显。

## 关键词

RSSI, 定位算法, 高斯滤波

## 1. 引言

随着移动设备，无线网络技术的不断发展，无线传感器网络(wireless sensor networks, WSNs)的应用也越来越广泛。而在无线传感器网络中，位置信息又是至关重要的，事件发生的位置或获取信息的节点位置往往是网络中的重要信息。因此，确定事件发生的位置或者获取信息的节点位置是无线传感器网络最基本的功能之一[1]。

在室外定位中，全球定位系统(GPS)已经很好的解决了定位问题。它通过 GPS 接收器接收来自 4~20 个卫星的信号，然后通过这些信号的到达时间差(TDOA)进行定位。而在室内环境下，GPS 系统由于卫星信号受到阻隔而无法完成定位[2]。因此，通过何种方法进行室内定位并得到较好的效果已经成为无线传感器网络领域的一大研究热门。

在室内定位中，通常的方法是通过测距来实现定位。而测距的主要方法有如下几种：AOA (Angle of Arrival), TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival)和 RSSI (Received Signal Strength Indication) [3]。其中 RSSI 是最常用的测距方法之一。它可以在每次数据传输中获得，不需要额外的带宽和能量，也不需要额外的硬件花费[4]。然而利用 RSSI 测距也有着不容忽视的缺点。因为传感器节点往往要部署在复杂的环境中，信号的接收强度会受到多径效应，非视距以及天线增益等影响，对信号的传播损耗产生明显的改变，从而在获取距离信息时产生较大的误差[5]。因此，要想通过 RSSI 方法得到较好的定位效果，就必须尽量的消除 RSSI 测距过程中的误差。

在 RSSI 定位过程中，较常用的方法主要有三角质心算法，加权三角质心算法，位置指纹定位算法等。而本文选择一种新的算法，即几何定位算法进行位置确定。几何定位算法就是通过围成正方形的四个锚节点，运用简单的几何知识对盲节点进行定位。然后再提出一种基于几何定位的坐标修正算法，对估计坐标向四个锚节点方向依次进行修正，得到最终结果。

## 2. 无线信号传播模型及误差分析

### 2.1. 无线信号传播模型

利用无线信号传输的理论模型，可以通过接收到的信号强度来进行定位。最常用于此方法的传播模型是 Shadowing 模型[6]。

Shadowing 模型分为两部分，第一部分是 pass loss 模型，它能够预测出当距离为  $d$  时的平均能量  $\overline{p_r(d)}$ 。它使用了一个接近中心点的距离  $d_0$  作为参考距离， $\overline{p_r(d)}$  相对于  $p_r(d_0)$  的计算如下：

$$\left[ \frac{\overline{p_r(d)}}{p_r(d_0)} \right]_{\text{dB}} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

其中， $\beta$  是 pass loss 指数，通常由具体场地测量得到，一般在 2~6 之间[7]。

Shadowing 模型的第二部分反映了当距离不变时，接收到的能量的变化。它是一个对数正态随机变量，当以 dB 为单位时，它满足高斯分布。完整的 Shadowing 模型公式如下：

$$\left[ \frac{p_r(d)}{p_r(d_0)} \right]_{\text{dB}} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{\text{dB}} \quad (2)$$

$X_{\text{dB}}$  为没有任何意义的高斯随机变量。

通常情况下，我们使用公式(2)的另外一种变换公式：

$$\text{RSSI} = A - 10n \log d + X_{\text{dB}} \quad (3)$$

其中，RSSI 为接收到的信号强度(dB·m)，A 为一米处的 RSSI 值，n 即前面提到的  $\beta$  值，d 为测量距离。

## 2.2. RSSI 误差分析

由于 RSSI 值易受到环境因素的影响，从而产生较大的误差，所以想要得到较稳定的 RSSI 值就必须先对其进行滤波处理。

图 1 是发送节点与接收节点间距 1 m 时，收发 300 次得到的 RSSI 值。从图中可以看出由于受到周围物体和人体移动的干扰，RSSI 值大体呈现出高斯分布特性。

下面通过两种滤波方法对收集到的 RSSI 值滤波并进行比较。

首先采用均值滤波方法。均值滤波是指先采集  $m$  个数据，然后求其平均值，公式如下

$$\overline{\text{RSSI}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{RSSI}_i \quad (4)$$

第二种方法是高斯滤波。高斯滤波器处理数据的原则是对数据进行  $m$  次采样，其中必然存在小概率事件。可以通过高斯滤波模型先将这些小概率的数据滤除掉，然后再求平均值。这样就避免了这些概率小，干扰大的数据的影响，从而提高精度[8]。

对于信号强度而言，假设  $m$  次采样符合均值为  $\mu$ ，方差为  $\sigma$  的高斯分布，则对于  $\text{RSSI}_i$ ，测量结果  $x$  的密度函数为式(5)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

其中  $\mu = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{RSSI}_i$ ， $\sigma = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\text{RSSI}_i - \mu)^2}$ 。

选取  $m = 20$ ，将采集到的 300 个数据分成 15 组，然后分别用均值滤波和高斯滤波进行处理。高斯滤波中选取在  $\mu - \sigma < x < \mu + \sigma$  范围的采样值，然后求平均值。两种滤波结果如图 2 所示。

从图中可以看到均值滤波虽然起到了一定的滤波作用，但由于其固有的特性，一些扰动大的错误数据并没有被去除掉，而是被平均到各个采样值中，因此最后得到的结果仍然有较大的误差。而高斯滤波采取的是先滤除概率小，干扰大的数据，然后再求平均值，所得到的效果比均值滤波好。因此，本文中 choice 高斯滤波来对接收到的 RSSI 值进行处理。

## 2.3. 参数确定及距离误差分析

要想通过 Shadowing 模型将测得的 RSSI 值转换为定位所需的距离值，就必须确定参数 A 和 n 的值。本次试验场地选取在一个 10 m × 10 m 的室内进行，且室内有很多物体，环境比较复杂。选用 TI 公司的无线收发芯片 CC2530 作为通信平台。通过一个节点发送数据，另一节点接收数据，在室内不同距

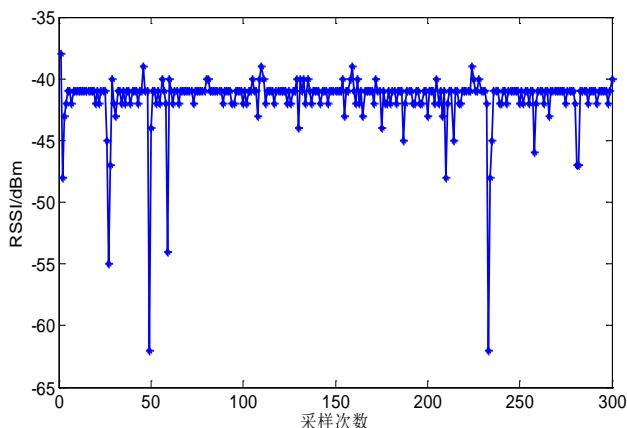


Figure 1. 300 times RSSI value received at 1 m  
图 1. 1 m 处收发 300 次的 RSSI 值

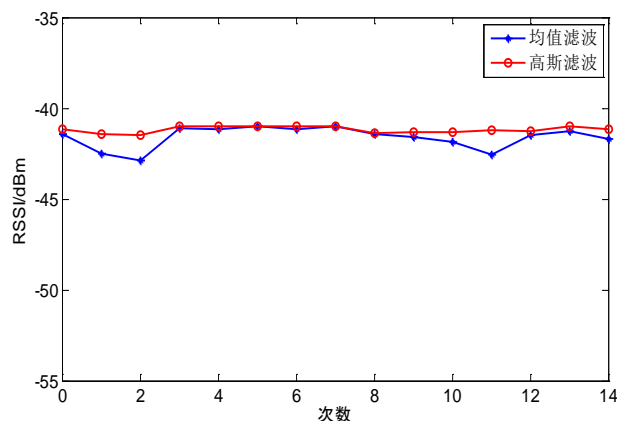


Figure 2. Comparison of mean filter with Gaussian filter  
图 2. 均值滤波与高斯滤波效果比较

离进行通信，获取对应距离的 RSSI 值。再利用(3)式确定最佳的  $A$  和  $n$ 。最终确定  $A = -41$ ， $n = 3$ 。测量结果和 Shadowing 模型曲线如图 3 所示。

由于室内环境等因素的干扰，所测得的 RSSI 值与距离的关系和模拟的曲线并不完全一致，甚至有些位置会产生较大的误差。距离与误差的关系如图 4 所示。其中测距误差  $Er$  等于实际距离与测量距离之差的绝对值。即

$$Er = |d_{\text{实}} - d_{\text{测}}| \tag{6}$$

从图 4 中可以看出当距离较小时，测距误差较小。但由于实验环境比较复杂，当距离增大时，测距误差明显增大。

### 3. RSSI 定位算法

#### 3.1. 三角质心定位算法

理论上，如果知道盲节点到三个信标节点的物理距离，以三个信标节点为圆心，以相应的与盲节点的距离为半径画圆，三个圆将交于一点，这一点就是盲节点的位置。

但实际情况下，由于环境因素，测量工具等因素带来的影响所产生的测距误差，三个圆不可能交于

一点，而是两两相交。因此，三角质心定位算法就是先将每两个圆的交点计算出来，然后将三个交点所组成的三角形的质心作为盲节点的最终坐标，如图 5 所示。

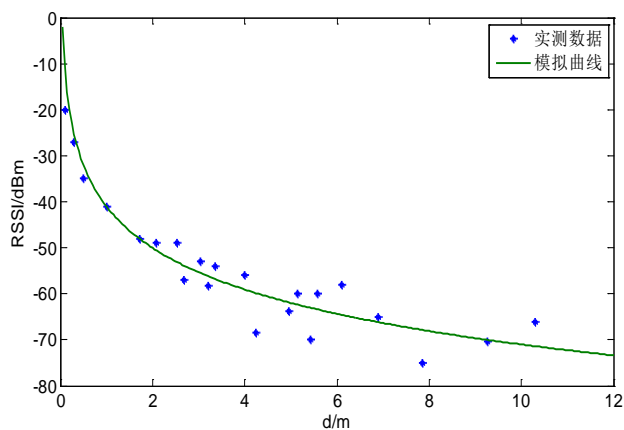


Figure 3. Comparison of measured distance with Shadowing model

图 3. Shadowing 模型测距与实测结果比较

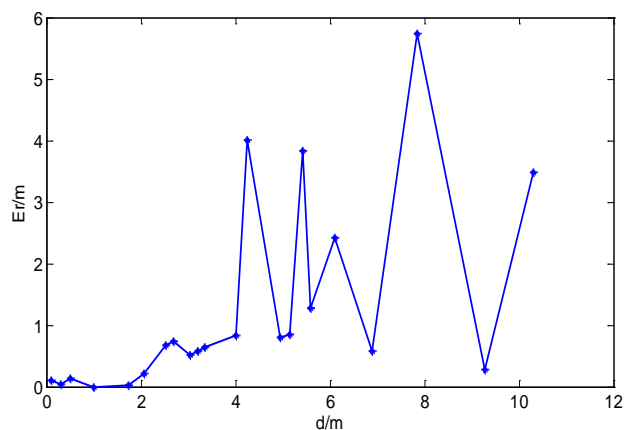


Figure 4. Distance error of Shadowing model

图 4. Shadowing 模型测距误差

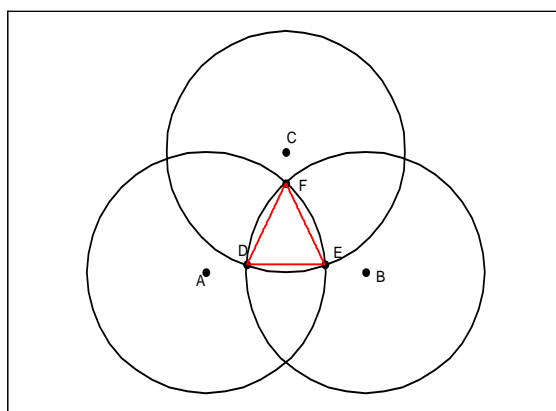


Figure 5. Triangle and centroid algorithm

图 5. 三角质心算法

然而使用这一方法的前提是测得的盲节点到三个锚节点的距离均比实际距离大。但通过图 3 可以看出，使用 Shadowing 模型测距时，所测得的距离并非总是大于实际距离。这样就容易造成图 5 中三个圆没有两两相交的情况，从而导致定位失败。

### 3.2. 几何定位算法

如图 6 所示，如果在试验场地内用四个节点围成一个边长为  $D$  的正方形。以节点 1 所在位置为坐标原点，节点 1 与节点 2 所在直线作为横坐标，节点 1 与节点 4 所在直线作为纵坐标，盲节点 5 到这四个锚节点的距离分别为  $d_1 \sim d_4$ ，由几何算法可得盲节点的坐标：

$$\begin{cases} x = \frac{D^2 + d_1^2 - d_2^2}{2D} = \frac{D^2 + d_4^2 - d_3^2}{2D} \\ y = \frac{D^2 + d_2^2 - d_3^2}{2D} = \frac{D^2 + d_1^2 - d_4^2}{2D} \end{cases} \quad (7)$$

将式(7)中求和平均得到一个稳定性更好的公式[9]：

$$\begin{cases} x = \frac{2D^2 + d_1^2 - d_2^2 - d_3^2 + d_4^2}{4D} \\ y = \frac{2D^2 + d_1^2 + d_2^2 - d_3^2 - d_4^2}{4D} \end{cases} \quad (8)$$

利用公式(8)在试验场地中随机取 35 处进行定位试验，取  $D$  等于 4.5 m。图 7 给出了定位所产生的误差。

由图 7 可以得出定位平均误差约为 2.6 m。误差大多在 4 m 以下，但也有少数的定位误差较大，达到了 6 m 以上。由此可以看出，应用几何算法虽然计算简单，定位成功率高，但是当试验环境复杂，测距误差较大时，得到的定位效果并不是很好。这主要是因为几何定位算法仅仅是依靠理论上的几何关系得到的，并没有任何对坐标进行修正的内容。因此当测距值与实际的距离值偏差较大时，定位产生的误差也会较大。下面就提出一种针对几何算法的坐标修正算法。

### 4. 针对几何算法的坐标修正

首先对几何算法中的公式(7)进行分析。以公式中求  $x$  轴坐标的式子为例，将此式分开写得下式：

$$x_1 = \frac{D^2 + d_1^2 - d_2^2}{2D} \quad (9)$$

$$x_2 = \frac{D^2 + d_4^2 - d_3^2}{2D} \quad (10)$$

几何算法是通过公式(9)和(10)求和平均作为最后定位坐标的  $x$  轴。然而由于误差的影响，我们对式(9)和(10)分别计算时必定会得到两个不同的值  $x_1$  和  $x_2$ 。当  $x_1$  大于  $x_2$  时，因为  $D$  值不变，则有  $d_1$  或  $d_3$  的值比实际值偏大，或者  $d_2$  或  $d_4$  的值比实际值偏小。另外，由图 4 可以看出，当测量距离变大，测距误差也会变大。因此我们可以认为  $d_1$  与  $d_3$  中的较大值的测距误差更大。同样，当  $x_2$  大于  $x_1$  时，有  $d_2$  或  $d_4$  比实际值偏大，而  $d_1$  或  $d_3$  比实际值偏小，且  $d_2$  与  $d_4$  中的较大值的测距误差更大。

根据上述的信息，本文通过公式(11)对定位坐标进行修正。

$$\Delta_i = (d_i - d'_i) - |d_i - d'_i| * (w_j - 1) \quad (11)$$

其中  $i=1 \sim 4, j=1 \sim 3$ 。  $d_i$  表示  $i$  号锚节点的测量距离，  $d'_i$  表示用几何算法得到的定位坐标到  $i$  号锚节点的距离，  $w_j$  为修正权值，其中  $w_1$  表示比实际值偏大的两个测距值中较大的那个所对应的权值，  $w_2$  表示比实际值偏大的两个测距值中较大的那个所对应的权值，  $w_3$  表示比实际值偏小的两个测距值所对应的权

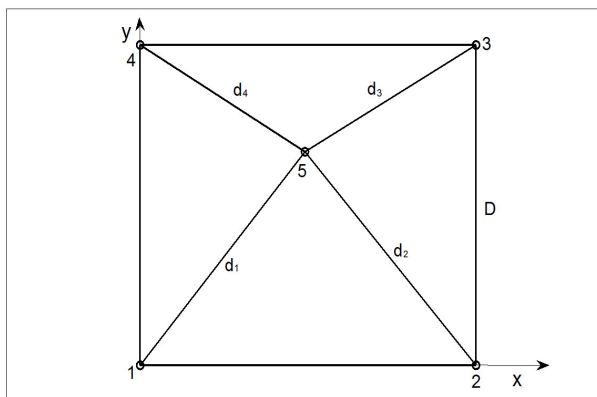


Figure 6. Geometrical location algorithm

图 6. 几何定位算法

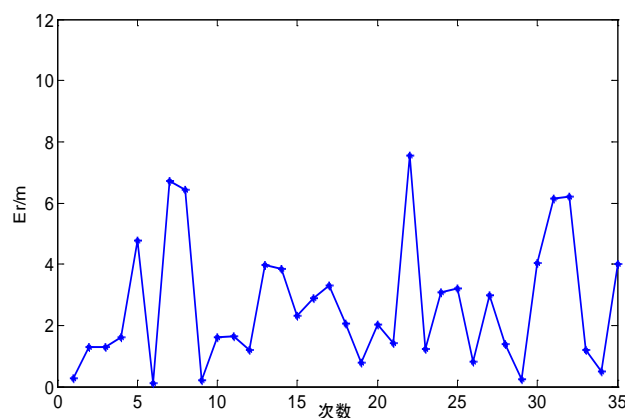


Figure 7. Error by geometrical location algorithm

图 7. 利用几何算法定位产生的误差

值。 $w_j$  的取值与具体的试验环境有关，本文中选取  $w_1 = 1.4$ ， $w_2 = 1.2$ ， $w_3 = 0.75$ 。

下面通过具体例子来描述修正算法。如图 8 中所示，定位节点的实际坐标为(6.4, 1.6)，四个锚节点所测得的距离分别为  $d_1 = 7.36$  m,  $d_2 = 2.96$  m,  $d_3 = 2.15$  m,  $d_4 = 11.66$  m。通过式(8)计算得到坐标为(12.1, -2.1)，误差为 6.8 m。通过公式(9)和(10)得到  $x_1 = 7.3$ ， $x_2 = 16.8$ 。另外， $d_4$  大于  $d_2$ 。所以可以认为  $d_2$  和  $d_4$  大于实际值， $d_1$  和  $d_3$  小于实际值，且其中  $d_4$  的偏差较大。

下面通过公式(11)对坐标进行修正。由于  $d_4$  偏差最大，先将坐标向 4 号锚节点进行修正，修正距离为  $\Delta_4$ ，权值为  $w_1 = 1.4$ ，然后再向 2 号锚节点修正，修正距离为  $\Delta_2$ ，权值为  $w_2 = 1.2$ ，最后再向 1 号和 3 号锚节点进行修正，修正距离分别为  $\Delta_1$  和  $\Delta_3$ ，权值为  $w_3 = 0.75$ 。通过这四次修正得到最终的坐标节点为(6.07, 1.9)，误差为 0.4 m。

利用此方法对上文 35 个定位坐标进行修正，并与修正前的误差比较，得图 9。从图中可以看出应用修正算法对坐标进行修正之后，所有误差均小于 4 m，且多数都在 2 m 以下，平均误差减小为 1.4 m，修正效果明显。

## 5. 总结

针对无线传感器网络中基于 RSSI 定位由于环境等因素产生的 RSSI 值的误差，本文通过先采用高斯滤波算法滤除干扰较大的错误数据，再将数据平均，得到较稳定的 RSSI 数据。然后运用 Shadowing 模型

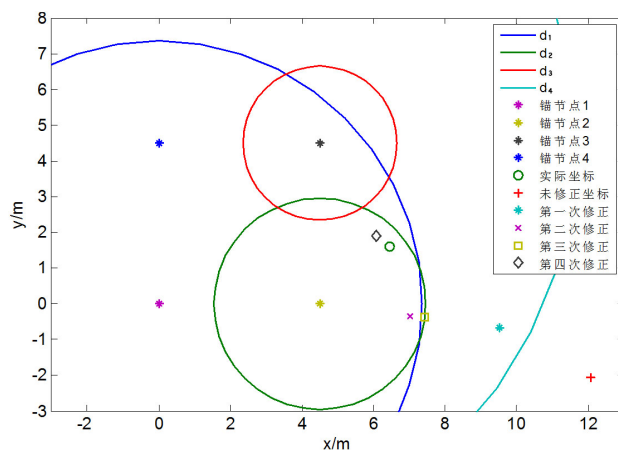


Figure 8. Coordinate correction algorithm examples  
图 8. 坐标修正算法示例

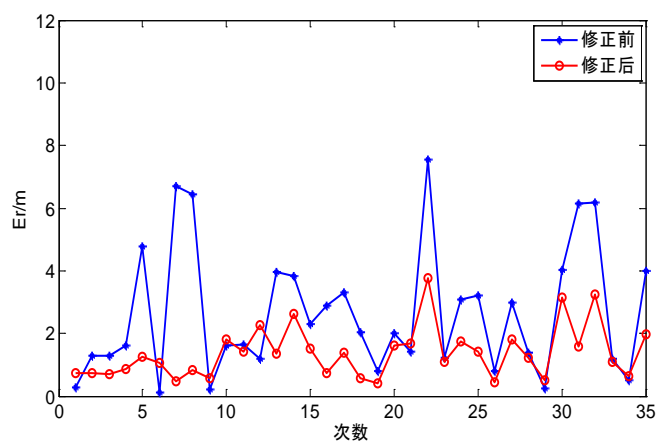


Figure 9. Comparison of positioning errors before and after correction  
图 9. 修正前后定位误差比较

得到对应的距离。之后采用一种计算简单，定位成功率高的几何定位算法对盲节点进行定位。最后，提出一种坐标修正算法对坐标进行修正，将平均误差从 2.6 m 减小到 1.4 m，效果明显。然而基于 RSSI 的定位方法由于其独有的特点，想要实现精确，稳定的定位效果仍然非常困难，这也是下一步的研究重点。

### 参考文献 (References)

- [1] Hou, L. and Bergmann, N.W. (2012) Novel industrial wireless sensor networks for machine condition monitoring and fault diagnosis. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **61**, 2787-2798.
- [2] Wang, J.Y., Chen, C.P., Lin, T.S., Chuang, C.L., Lai, T.Y. and Jiang, J.A. (2012) High-precision RSSI-based indoor localization using a transmission power adjustment strategy for wireless sensor networks. *In High Performance Computing and Communication & 2012 IEEE 9th International Conference on Embedded Software and Systems (HPCC-ICISS)*, Liverpool, June 2012, 1634-1638.
- [3] 邓中亮, 余彦培, 徐连明, 等 (2013) 室内外无线定位与导航. 北京邮电大学出版社, 北京.
- [4] Yaghoubi, F., Abbasfar, A.A. and Maham, B. (2014) Energy-efficient RSSI-based localization for wireless sensor networks. *IEEE Communications Letters*, **18**, 973-976.
- [5] 杨艳红 (2012) 基于 ZigBee 的贝叶斯室内定位算法研究. 硕士论文, 长沙理工大学, 长沙.
- [6] 章坚武, 张璐, 应瑛, 高锋 (2009) 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究. *传感技术学报*, **2**, 285-288.
- [7] Monfared, A., Monfared, M.A., Abrishambaf, R. and Uysal, S. (2012) Range free localization of wireless sensor net-



works based on sugeno fuzzy inference. *The Sixth International Conference on Sensor Technologies and Applications*, Rome, August 2012, 36-41.

- [8] Patri, A. and Rath, S.P. (2013) Elimination of Gaussian noise using entropy function for a RSSI based localization. 2013 *IEEE Second International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, Shimla, 9-11 December 2013, 690-694.
- [9] 刘川来, 郭蓝天, 秦浩华 (2012) 一种改进的 ZigBee 无线传感器网络定位算法及应用. *化工自动化及仪表*, **2**, 204-208. <http://www.cajcd.edu.cn/pub/wml.html>