

# 基于 ZigBee 室内定位算法<sup>①</sup>

李尧, 汪明, 于晓谕

(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

**摘要:** 鉴于 ZigBee 技术适用于数据采集系统的特点, 提出了一种基于 ZigBee 的室内无线定位系统解决方法。传统的基于 ZigBee 定位采用无线信号损耗模型, 受周围环境的影响比较大, 现实模型根据经验值设置参数, 定位精度不高; 在此基础上采用曲线拟合方法拟合 RSSI 与距离之间的关系, 采用 RSSI 三角形质心算法计算待测节点坐标。实验结果表明该算法提高了定位精度。

**关键词:** ZigBee; 数据采集; 曲线拟合; 极大似然估计法; RSSI 三角形质心算法

## Indoor Location Algorithm Based on ZigBee

LI Yao, WANG Ming, YU Xiao-Yu

(School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Shandong, Jinan 250101, China)

**Abstract:** The features of ZigBee make it suitable for the application of data acquisition system. A method which is designed for the ZigBee-based data acquisition system is proposed. Most traditional positioning based on ZigBee uses wireless signal loss model to locate. The work is affected by the impact of the surrounding environment. If we take experience value in reality and sets it as parameters in the model, both the positioning accuracy and the universal of this method are not in ideal. With Curve Fitting method fitting the relationship between RSSI and distance, then RSSI triangle centroid algorithm is used to calculate the coordinates of the nodes to be measured. Actual experimental result shows that the algorithm can improve the positioning accuracy.

**Key words:** ZigBee; data collection; curve fitting; maximum likelihood estimation method; triangle and centroid location algorithm based on RSSI

## 0 引言

物联网是“信息化”时代的重要发展阶段, 是因特网的扩展, 它把物体与物体之间进行信息交换和通信<sup>[1]</sup>。随着物联网技术的迅速发展, 物与人的关系变得越来越重要, 室内定位的准确性也越来越受到关注, 因此对物联网中物体的定位是非常重要的。室外定位应用最广泛的是 GPS, 它的精度比较高。室内定位由于局限性的原因, 定位的精度还不够理想。

目前, 室内定位技术主要包括: 红外线定位技术、射频识别技术、蓝牙技术、超声波定位技术和无线传感器网络技术等<sup>[2]</sup>。无线传感器网络集成了传感器、无线通信、嵌入式计算、分布式信息处理、现代网络等

技术<sup>[3]</sup>。鉴于 ZigBee 技术其自身低成本、低速率、低功耗的特点<sup>[4]</sup>, 使得它能更好的满足室内短距离定位的要求。文献[5]介绍了三维模糊位置指纹定位算法; 文献[6]介绍了基于 RFID 的虚拟参考标签三维室内定位算法; 文献[7, 8]介绍了位置指纹的室内定位技术; 文献[9, 10]介绍了基于 WiFi 的室内定位技术。本文采用最小二乘曲线拟合方法得出 RSSI 与距离之间的关系, 合理布置锚节点、选取待测节点与锚节点 RSSI 值的数据个数, 用基于 RSSI 的三角形质心算法计算待测节点坐标。

下面几个部分分别介绍了传统的定位算法、构建的定位模型、最小二乘拟合的曲线以及极大似然估计

<sup>①</sup> 基金项目: 国家自然科学基金(61273326, 61573226); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2013DX018); 山东省高校科技发展计划项目(J11LG16) 住房和城乡建设部科学技术项目(2011-K1-18)

收稿时间: 2015-10-21; 收到修改稿时间: 2015-12-02 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005208]

算法和基于 RSSI 的三角形质心算法原理. 然后, 分别用 2 种算法来计算待测节点的坐标, 得出两种方法的误差, 再进行比较分析.

## 1 定位算法

节点的定位算法分为基于测距的定位算法和基于非测距的定位算法<sup>[11]</sup>. 基于测距的定位技术需要测量锚节点与待测节点之间的距离, 常用的测量方法有 TOA 测距、TDOA 测距、AOA 测距和 RSSI 测距等. 基于非测距的定位技术则不需要测量锚节点到待测节点之间的距离, 而是通过锚节点与待测节点的网络拓扑关系来计算待测节点坐标. 常用的测量方法有几何质心法、APIT 算法、DV-Hop 方法等. 其中由于 RSSI<sup>[12]</sup> 测距所需的硬件设备较其他方法所需要的成本少, 因此, 基于 RSSI 的测距方法被广泛应用<sup>[13]</sup>.

传统的 ZigBee 定位<sup>[14]</sup>原理是先利用 RSSI 测距算法得到能量损耗与距离之间的关系, 再利用锚节点的坐标与距离根据三边测距计算出待测节点的坐标.

基于 RSSI 测距算法: 已知发射节点的发射功率、接收节点接收到的信号强度, 计算出信号传播过程中的损耗, 利用信号衰减和传播距离之间的关系计算出距离得出能量损耗与距离的关系.

$$RSSI = A - 10n \lg d \quad (1)$$

一般采用的 RSSI 测距原理如式(1)所示.

式中:  $RSSI$  是接收信号强度; 射频参数  $A$  为用  $dBm$  表示距发射端 1m 处接收到的信号强度绝对值;  $d$  是信号传播的距离, 单位是 m;  $n$  是信号传输常数.

## 2 定位实现

室内定位模型一般选择方形区域. 区域内点数  $n$  的选择最少是 3 个节点, 在一定程度上, 节点越多定位精度越高, 但节点太多不仅会增加成本, 而且会造成节点之间干扰. 考虑到区域大小(3.5m\*3.5m)、成本以及干扰的因素, 将锚节点放置方形区域的 4 个顶点和中心点共 5 个点. 待测节点分布在正方形区域内, 定位区域模型如图 1 所示.

将锚节点按照图 3 所示的位置放到  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$  这 5 个位置, 并且规定其坐标 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 、 $(x_3, y_3)$ 、 $(x_4, y_4)$ 、 $(x_5, y_5)$ . 锚节点定时向待测节点发送  $RSSI$  值.

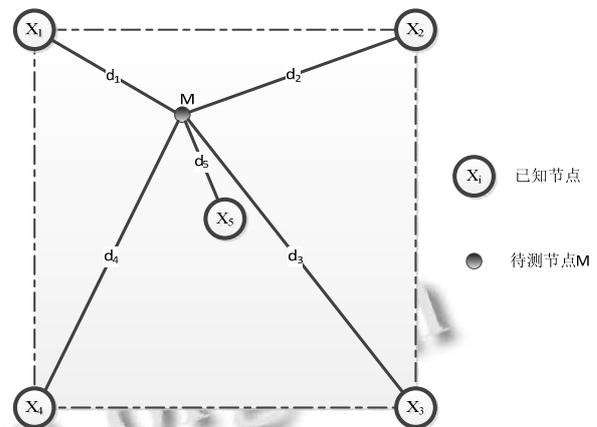


图 1 定位区域模型

## 3 两种计算待测节点的算法

### 3.1 极大似然估计法

假设区域内一待测节点  $M$ , 如图 3,  $M$  会收到区域内 5 个锚节点向其发送的信号强度  $RSSI$  值. 待测节点  $M$  收到的信号强度分别是  $RSSI_1$ 、 $RSSI_2$ 、 $RSSI_3$ 、 $RSSI_4$ 、 $RSSI_5$ , 根据拟合曲线可以得到待测节点  $M$  到 5 个锚节点的距离分别是  $d_1 \dots d_5$ . 那么根据两坐标距离公式得到方程组(2):

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \\ (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 = d_4^2 \\ (x - x_5)^2 + (y - y_5)^2 = d_5^2 \end{cases} \quad (2)$$

用线性方程  $AX=b$  表示, 可得式(3)(4)(5):

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) \\ 2(x_3 - x_4) & 2(y_3 - y_4) \\ 2(x_4 - x_5) & 2(y_4 - y_5) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + d_2^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_2^2 \\ x_3^2 - x_4^2 + y_3^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_3^2 \\ x_4^2 - x_5^2 + y_4^2 - y_5^2 + d_5^2 - d_4^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{5}$$

由于存在误差,合理的模型应为  $AX+K=b$ , 其中  $K$  为  $n-1$  维随机误差向量,由最小均方差得到  $M$  点的坐标如式(6).

$$X = (A^T A)^{-1} A^T b \tag{6}$$

### 3.2 基于 RSSI 的三角形质心算法

由于实际环境的复杂性,计算出的待测节点到锚节点的距离  $d$  一般大于两节点的实际距离<sup>[15]</sup>. 图 2 中锚节点为  $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$ , 待测节点为  $D$ . 根据拟合曲线找出  $O_1$  与  $D$  之间距离  $r_1$ ,  $O_2$  与  $D$  之间距离  $r_2$ ,  $O_3$  与  $D$  之间距离  $r_3$ . 分别以  $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$  为圆心,  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  为半径画圆,可得相交区域. 记此区域的三个顶点分别为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ . 待测节点  $D$  为三角形  $ABC$  的质心.

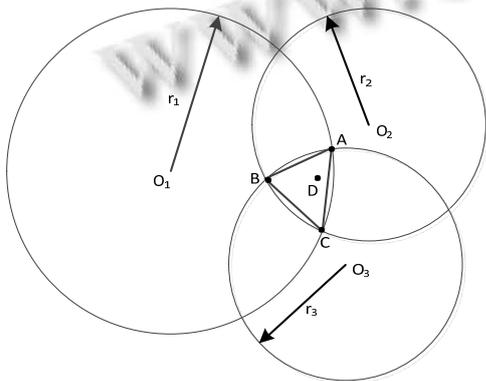


图 2 基于 RSSI 的三角形质心算法原理图

点  $A$  的计算方法如式(7)所示.

$$\begin{cases} \sqrt{(x_A - x_{o_2})^2 + (y_A - y_{o_2})^2} \leq r_2 \\ \sqrt{(x_A - x_{o_1})^2 + (y_A - y_{o_1})^2} = r_1 \\ \sqrt{(x_A - x_{o_3})^2 + (y_A - y_{o_3})^2} = r_3 \end{cases} \tag{7}$$

同理,可求出  $B$  点和  $C$  点坐标. 则待测节点  $D$  的坐标为  $(\frac{x_A+x_B+x_C}{3}, \frac{y_A+y_B+y_C}{3})$ .

## 4 本文方法

本文采用最小二乘曲线拟合来建立信号强度与锚节点、待测节点实际距离之间的非线性关系,实现待测节点到锚节点的距离的测量. 在搭建的 ZigBee 实验

平台中获取大量的 RSSI 值和节点间距  $d$  的数据,通过 Matlab 曲线拟合工具箱,设置合适的参数,拟合出最佳曲线. 再根据基于 RSSI 的三角形质心算法计算出待测节点的坐标.

拟合过程:

固定一个已知 ZigBee 节点,让它周期发送 RSSI 值给待测节点,移动待测节点,使锚节点与待测节点之间距离发生改变,记录测得的 RSSI 值与对应的实际距离  $d$ . 待测节点移动过程中,注意要使移动的距离尽量均匀以减小误差.

将测得的 RSSI 值与实际距离分别用 2 个数组表示,用  $P$  表示测得的 RSSI 值,  $T$  表示对应的实际距离. 我们测得如下数据:

```
P = [-21 -25 -34 -36 -38 -41 -42 -43 -44 -47 -51 -52 -54
      -55 -56 -57 -61 -62 -63 -64 -65 -65 -66];
T = [2 5 10 12 15 18 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70
      75 80 85 90 95 100];
```

在 MATLAB 拟合选项中选择高斯拟合,拟合函数为式(2)

$$f(x) = a_1 \exp(-((x - b_1) / c_1)^2) + a_2 \exp(-((x - b_2) / c_2)^2) + a_3 \exp(-((x - b_3) / c_3)^2) + a_4 \exp(-((x - b_4) / c_4)^2) + a_5 \exp(-((x - b_5) / c_5)^2) + a_6 \exp(-((x - b_6) / c_6)^2) \tag{8}$$

得到的曲线如图3所示.

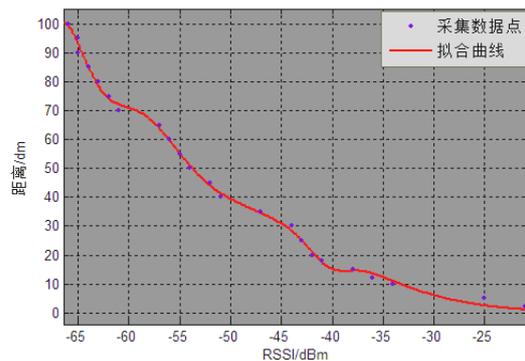


图 3 最小二乘拟合的曲线

首先,测出每个待测节点发送到锚节点的 RSSI 值,测数据的时候,因为会有干扰,我们测量发送来 20 次数据,取平均值作为最终值代入计算. 根据节点之间距离越近,定位精度越高的一般规律,在测得的 5 个点中选取信号值最强的 4 个值,每三个点之间确定一

个坐标, 这样可以测得 4 个坐标. 然后求这 4 个坐标均值得到待测节点坐标.

### 5 定位过程流程

将定位程序分别下载到锚节点和待测节点上, 把锚节点固定在正方形区域的 4 个顶点和中心点上. 待测节点随机放置在待测区域内, 5 个锚节点定时发送 RSSI 值到待测节点. 根据拟合曲线找到这 5 个 RSSI 值对应的距离值  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ , 用极大似然估计算法计算出待测节点的坐标. 然后对 5 个距离值排序, 取最近的 4 个距离值用三角形质心算法求出另一组节点坐标, 最后进行误差比较. 流程图如图 4 所示.

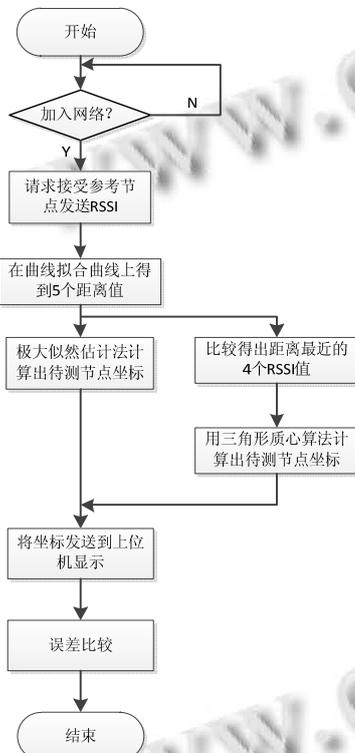


图 4 定位过程流程图

### 6 实验结果分析

假设  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  坐标分别为  $(-3.5, 3.5), (3.5, 3.5), (3.5, -3.5), (-3.5, -3.5), (0, 0)$ . 首先通过极大似然估计计算得到待测节点的坐标  $(x_1, y_1)$ ; 然后选取 4 个最近距离值用基于 RSSI 的三角形质心算法计算出待测节点坐标  $(x_2, y_2)$ , 最后进行对比, 对比结果如表 1 所示.

表 1 两种方法比较

待测节点实际位置(x,y)	极大似然估计结果 $(x_1, y_1)$	基于RSSI的三角形质心算法 $(x_2, y_2)$
(1.8,1.5)	(1.58,1.62)	(1.55,1.52)
(-1,2)	(-1.13, 2.06)	(-1.07, 2.107)
(-2,0)	(-2.135,-0.316)	(-2.192,0.191)
(-1.3,-2.2)	(-1.341,-2.231)	(-1.33,-2.215)
(0.6,-1.2)	(0.687,-1.263)	(0.675,-1.263)
(-1.4,2.6)	(-1.487,2.533)	(-1.458,2.538)
(-2.8,-0.6)	(-2.917,-0.683)	(-2.842,-0.492)
(3.0,2.4)	(2.907,2.51)	(2.878,2.467)
(2.6,-1.3)	(2.648,-1.209)	(2.675,-1.24)
(-3.0,-2.8)	(-3.014,-2.66)	(-3.133,-2.732)

把计算得到的坐标统计在图中○号表示待测节点的实际位置, □表示本文算法得到的坐标, △表示极大似然估计算法计算得到的坐标. 两种方法得到的坐标对比如图 5 所示.

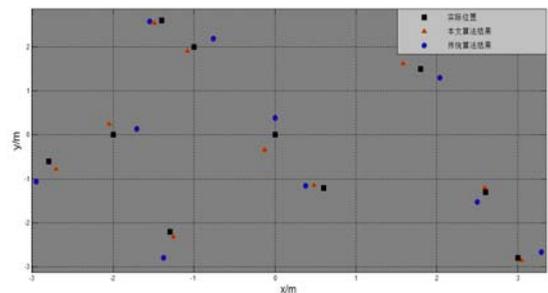


图 5 定位对比

表 2 两种方法误差比较

待测节点实际位置(m)	极大似然估计算法定位误差(m)	本文算法定位误差(m)
(1.8,1.5)	0.251	0.25
(-1,2)	0.143	0.128
(-2,0)	0.34	0.271
(-1.3,-2.2)	0.051	0.034
(0.6,-1.2)	0.127	0.098
(-1.4,2.6)	0.103	0.093
(-2.8,-0.6)	0.143	0.085
(3.0,2.4)	0.144	0.139
(2.6,-1.3)	0.103	0.096
(-3.0,-2.8)	0.141	0.149
平均误差	0.1546	0.134

从表 2 可以看出, 用基于 RSSI 的三角形质心算法计算得到的坐标误差要小于用极大似然估计算法得到

的坐标,定位精度得到了提高。

## 7 结束语

本文采用最小二乘曲线拟合方法得出 RSSI 与距离之间的关系,在待测区域合理布置锚节点的位置,合理选取待测节点与锚节点 RSSI 值的数据个数,用基于 RSSI 的三角形质心算法计算待测节点坐标。通过与极大似然估计比较,有效的减小了实验误差。不足之处是待测区域环境中障碍物不多。对于在复杂环境下定位还需要进一步的研究。

### 参考文献

- 1 韩涛.基于神经网络的井下无线传感器网络节点定位技术研究.煤矿机械,2012,33:65-68.
- 2 Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5): 28.
- 3 金海红.基于 ZigBee 的无线传感器网络节点的设计及其通信的研究[学位论文].合肥:合肥工业大学,2007
- 4 董晓瑞.基于 ZigBee 定位系统设计与实现[学位论文].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2011
- 5 曾碧,毛勤.改进的室内三维模糊位置指纹定位算法.山东大学学报:工学版,2015,3(3):22-27.
- 6 董永峰,周艳聪,孙陆楠,曹莹.基于 RFID 的虚拟参考标签三维室内定位算法.计算机工程与设计,2015,6:1535-1539.
- 7 罗家宥.基于位置指纹的 WiFi 室内定位技术与实现[学位论文].上海:上海交通大学,2014
- 8 崔斌,赵西安.一种基于传播模型和位置指纹的混合室内定位方法.测绘通报,2015,6(6).
- 9 陈斌涛,刘任任,陈益强,等.动态环境中的 WiFi 指纹自适应室内定位方法.传感技术学报,2015,5(5):729-738.
- 10 蔡文学,邱珠成,黄晓宇,等.基于 WiFi 指纹的室内轨迹定位模型.计算机工程,2015,6(6):76-82.
- 11 王亮.ZigBee 定位算法的研究[学位论文].武汉:武汉邮电科学研究院,2012.
- 12 Luthy KA, Grant DE, Henderson TC. Leveraging RSSI for robotic repair of disconnected wireless sensor networks. Proc. of 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- 13 高明,吉祥,刘宇,等.ZigBee 技术在室内定位中的应用.西安工业大学学报,2010,1(1):9-12.
- 14 崔璐,蔡觉平,赵博超,等.基于 ZigBee 技术的井下人员定位安全监测系统.大连理工大学学报,2011,S1(z1):102-106.
- 15 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.现代电子技术,2009,2(2):180-182.