

# 一种改进的自适应环境定位方法<sup>①</sup>

孙红<sup>1</sup>, 苏南<sup>1</sup>, 孔超宇<sup>1</sup>, 倪虎生<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

<sup>2</sup>(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

**摘要:** 随着无线传感器网络技术的不断进步成熟, 其应用将会越来越广泛, 实用化的节点定位技术研究对于传感器网络技术性能提高和实用性保证有重要的理论意义和应用价值. 提出一种环境自适应的 RSSI 户内定位方法. 该方法在自修正环境路径损耗指数的基础上, 由初次定位获取各信标节点定位误差, 以误差为加权质心算法的权值计算盲节点的坐标, 并对坐标误差进行补偿. 在 NI 无线传感器网络(WSN)平台上进行的验证结果表明, 该方法具有更高的定位测量精度和稳定性.

**关键词:** 无线传感网; 定位系统; 自适应环境

## Improved Method of Self-Adaptive Localization

SUN Hong<sup>1</sup>, SU Nan<sup>1</sup>, KONG Chao-Yu<sup>1</sup>, NI Hu-Sheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

<sup>2</sup>(Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** It shows obviously that the technology of wireless sensor networks will go-ahead very quickly and its applications will be wider and wider in the coming future. The research as described in this dissertation is of significance in both theoretical and application areas. An improved self-adaptive localization method for indoor dynamic environment is proposed. In the improved method, firstly the location errors of beacon nodes are obtained by initial position based on self-amended environment path loss exponent, secondly the coordinates of the blind nodes are calculated by the location errors of beacon nodes which used as the weights of the weighted node centroid algorithm, and coordinates compensation. Finally the improved method is validated on the WSN platform from NI Company. The results of validation present that the positioning accuracy and stability of the improved method are more than these of the classic method.

**Key words:** wireless sensor networks; system of localization; self-adaptive

## 1 引言

随着无线通信、传感器和集成电路等技术的飞速发展和日益成熟, 综合信息获取、信息处理和无线通信等功能的无线传感器网络(WSN, Wireless Sensor Networks)受到广泛的关注. 节点定位是无线传感器网络的支撑技术之一, 一个没有位置信息的节点监测信息是毫无意义的, 无线传感网络也失去本身的意义<sup>[1,2]</sup>.

目前户内定位主要采用信号到达时间(TOA, Time of Arrival), 信号到达时间差(TDOA, Time Difference

of Arrival), 基于到达角度(AOA, Angle of Arrival)和接收信号强度指示(RSSI, Received Signal Strength Indicator)等技术<sup>[3,4]</sup>. 在 TOA 和 TDOA 技术中, 传感器节点需要配备超声波收发装置和同步时钟, AOA 技术需要天线阵列或麦克风阵列, 这三种方法增大节点的成本和体积, 不利于网络大规模使用. 而 RSSI 根据节点的收发信号强度, 通过信号传播模型将能量损耗转化为距离, 无需添加额外的硬件装置, 在大规模无线传感网中得到广泛使用<sup>[5]</sup>. 本文针对 RSSI 在室内定位

① 基金项目:国家自然科学基金(61170277);上海市教委科研创新重点项目(12ZZ137)

收稿时间:2012-10-12;收到修改稿时间:2012-11-12

中受环境影响严重、定位效果差的关键问题, 提出环境自适应的户内定位方法, 并在 NI WSN 平台上进行验证, 结果表明, 本算法与经典的加权质心算法相比, 定位效果有较大的改善.

## 2 算法模型

### 2.1 RSSI 测距模型

接收信号强度指示 RSSI 技术, 是已知发射节点发射信号强度的情况下, 根据接收节点接收的信号强度计算信号的传播损耗, 利用理论和经验模型转换为传播距离, 在此基础上采用已知算法得到节点位置. 无线传感网中的路径损耗模型如下:

$$p = p_0 + 10n \lg(d/d_0) + X_\sigma \quad (1)$$

其中,  $P$  是无线信号的接收功率;

$d$  是信标节点与盲节点的真实距离;

$P_0$  是参考距离为  $d_0$  时的信号接收功率;

$n$  是路径损耗指数, 与环境 and 建筑物的类型有关;

$X$  是以 dBm 为单位且标准偏差为, 均值为 0 的正态分布随机变量. 由于  $X$  的均值为 0, 可以通过取多个 RSSI 采样值的平均数将其消除.

在实际应用中通常取  $d_0=1m$ , 则式(1)可以简化为:

$$RSSI = -(10n \lg d + A) \quad (2)$$

其中, 参数  $A$  是用 dBm 表示的距发射节点 1m 处接收到的平均能量值<sup>[6]</sup>.

### 2.2 加权质心定位算法原理

假设 A、B、C 三个信标节点到盲节点 M 的距离分别为  $d_a, d_b, d_c$  由于估算距离  $d'a$  的值比实际值大, 故以  $d'$  为半径的三个圆两两相交于点 E、F、G, 盲节点 M 实际位置在 E、F、G 围成的区域中, 如图 1 所示. 根据式(3)可求出 E 的坐标值, 同理, 得到点 F、G 的坐标<sup>[7]</sup>.

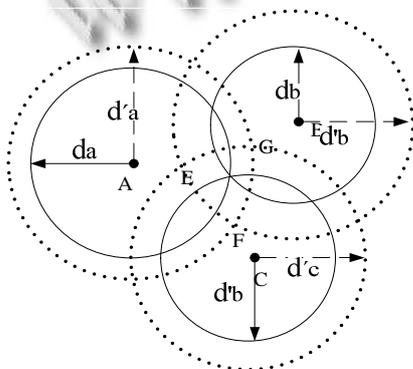


图 1 三边测量法定位原理图

$$\begin{cases} \sqrt{(x_m - x_a)^2 + (y_m - y_a)^2} \leq d'_a \\ \sqrt{(x_m - x_b)^2 + (y_m - y_b)^2} = d'_b \\ \sqrt{(x_m - x_c)^2 + (y_m - y_c)^2} = d'_c \end{cases} \quad (3)$$

得到盲节点 M 的坐标:  $((x_a+x_b+x_c)/3, (y_a+y_b+y_c)/3)$ .

由式(3)可以看出, 盲节点定位精度与盲节点到各个信标节点的距离有关. 实际中, 由于测量中的各种误差,  $d_a, d_b, d_c$  值并不精确, 三边测量法只能得到一个三角形区域, 并以三角形质心作为盲节点坐标.

为了提高定位精度, 目前普遍采用加权质心定位算法<sup>[8]</sup>, 即对于盲节点 M 到 N 个信标节点的距离测量值, 取其中 3 个测量值的组合, 共有  $S=C^3_N$  对组合, 对所有组合根据式(3)计算盲节点的坐标, 得到 S 个盲节点坐标的估计值  $(x'_i, y'_i)$ ,  $i=1, 2, \dots, S$ , 由此得到盲节点的坐标为:

$$\begin{cases} x = \frac{\sum_{i=1}^s \frac{x'_i}{d_{1i} + d_{2i} + d_{3i}}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_{1i} + d_{2i} + d_{3i}}} \\ y = \frac{\sum_{i=1}^s \frac{y'_i}{d_{1i} + d_{2i} + d_{3i}}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_{1i} + d_{2i} + d_{3i}}} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $d_{1i}, d_{2i}, d_{3i}$  分别为第 i 对组合中盲节点与 3 个信标节点的距离, 与 RSSI 测量值有关.  $1/(d_{1i}+d_{2i}+d_{3i})$  作为定位算法的权值, 可将式(4)转化为下列形式:

$$\begin{cases} x = \frac{\sum_{i=1}^s \omega_i x'_i}{\sum_{i=1}^s \omega_i} \\ y = \frac{\sum_{i=1}^s \omega_i y'_i}{\sum_{i=1}^s \omega_i} \end{cases} \quad (5)$$

## 3 环境自适应定位

### 3.1 RSSI 模型参数校正

RSSI 测距与环境密切相关, 传统的加权质心定位算法通常根据经验确定路径损耗指数  $n$  值, 适合用于环境变化较小的场合. 户内环境复杂多变, 为了提高定位精度, 需要对环境参数实时校正<sup>[9]</sup>. 本文取多次测量的 RSSI 期望值为  $y$ ,  $\lg(d)$  为  $x$ , 采用最小二乘法对数据进行函数拟合, 得到一次函数

$$y = a + bx \quad (6)$$

根据最小二乘法原理, 坐标系上的拟合点  $(x_i, y_i)$  到上述直线的距离平方和应最小, 即

$$R = \sum_i [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (7)$$

取得最小值. 分别对 a,b 求偏导数并令偏导数方程为 0.

$$\begin{cases} \partial R/\partial a = 2\sum_i^n [y_i - (a + bx_i)] = 0 \\ \partial R/\partial b = 2\sum_i^n [y_i - (a + bx_i)]x_i = 0 \end{cases} \quad (8)$$

得到 a,b 的值

$$\begin{cases} a = \frac{\left[ \left( \sum_i^n y_i \right) \left( \sum_i^n x_i^2 \right) - \left( \sum_i^n x_i \right) \left( \sum_i^n x_i y_i \right) \right]}{\left[ n \sum_i^n x_i^2 - \left( \sum_i^n x_i \right)^2 \right]} \\ b = \frac{\left[ n \sum_i^n x_i y_i - \left( \sum_i^n x_i \right) \left( \sum_i^n y_i \right) \right]}{\left[ n \sum_i^n x_i^2 - \left( \sum_i^n x_i \right)^2 \right]} \end{cases} \quad (9)$$

根据 a,b 可以得到模型参数 A 和 n 的值, 并将参数信息添加到参数列表中, 实时反映环境的变化.

### 3.2 改进的加权质心定位算法

根据式(3)得到盲节点 M 的估算位置(x<sub>m</sub>,y<sub>m</sub>), 将盲节点作为信标节点, 任一参与定位的信标节点为盲节点, 由式(3)得到所有信标节点的估算位置(x'<sub>i</sub>,y'<sub>i</sub>). 计算信标节点的自评估定位误差

$$\varepsilon_i = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2} / d_i \quad (10)$$

其中,

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} \quad (11)$$

是信标节点实际位置与盲节点估算位置的距离, (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>)是信标节点的实际位置, i 是参与定位的信标节点个数.

对于无线传感器网络来说, 在同一环境中的同一对节点, 改变相对位置, 由于路径损耗指数的不同, RSSI 值也会有很大变化. 因此, 在同一网络中同一个 RSSI 值, 可能表示不同的距离<sup>[9]</sup>. 户内环境中, RSSI 受多径衰减和非视距障碍的影响, 以 RSSI 作为加权质心算法的权值, 可能会产生较大的误差. 本文引入信标节点的实际位置和估算位置, 根据节点的自评估误差 i 构建权值函数 i,

$$\omega_i = 1 / \sum_i^n \varepsilon_i \quad (12)$$

将式(12)代入式(5)中得到盲节点的坐标(x'<sub>m</sub>,y'<sub>m</sub>).

由于盲节点的初次三边定位会产生定位误差, 后续算法伴随着误差漂移, 因此, 需要对盲节点坐标误差补偿.

根据盲节点的坐标, 得到信标节点的误差公式

$$\begin{cases} e_{xi} = x_i - x'_i \\ e_{yi} = y_i - y'_i \end{cases} \quad (13)$$

(x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>)是信标节点 i 的实际坐标, (x'<sub>i</sub>,y'<sub>i</sub>)是信标节点 i 的估算坐标, e<sub>xi</sub>, e<sub>yi</sub> 是信标节点在 X 轴与 Y 轴上的误差. 则盲节点 M 误差补偿后的坐标为:

$$\begin{cases} x_i^* = x'_m + \sum_{i=1}^n e'_{xi} \omega'_i \\ y_i^* = y'_m + \sum_{i=1}^n e'_{yi} \omega'_i \end{cases} \quad (14)$$

## 4 实验验证

ZigBee 技术是一种面向无线控制的低速率、低功耗、低价格的无线网络方案, 通过在检测区域内部署大量的传感器节点, 节点之间互相通信形成自组织网络系统. 基于 ZigBee 的无线传感器网络定位系统主要由信标节点、盲节点、路由节点和 PC 组成. 盲节点将自己的定位信息多次跳跃后经路由节点送至 PC 处理和显示, 实现节点的远程定位, 如图 2 所示. 同时, 监测区域的感知信息由传感器模块采集, 以同样方式送入 PC 处理, 实现对监测区域的实时监控<sup>[10]</sup>.

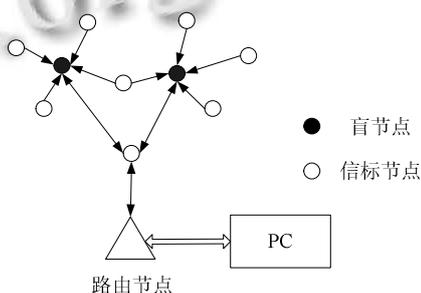
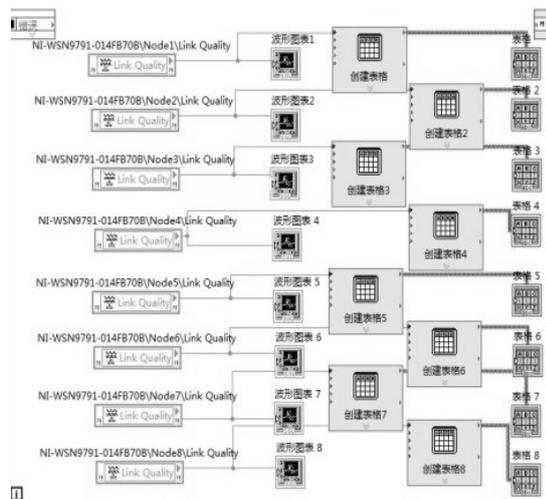


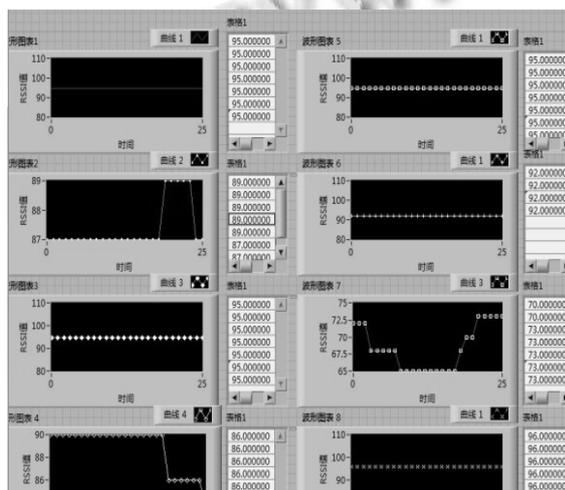
图 2 ZigBee 定位原理图

为了对提出的方法进行实验验证, 采用 NI 公司的无线传感器网络系列产品构建实验平台. 其中, 信标节点和盲节点采用 3202 节点, 节点以 2.4GHz 的频率提供 250kbps 的通信速率, 室外传输距离为 300m, 室内传输距离为 90m. 9791 网关通过网线与 PC 连接, 完成数据的双向传输. 使用 Labview 软件实现对节点

的配置和 RSSI 采集, 控制和显示面板如图 3 所示, 其中: 3(a)为程序面板示意图, 3(b)为前面板示意图.



(a) 程序面板



(b) 前面板

图 3 控制和显示面板

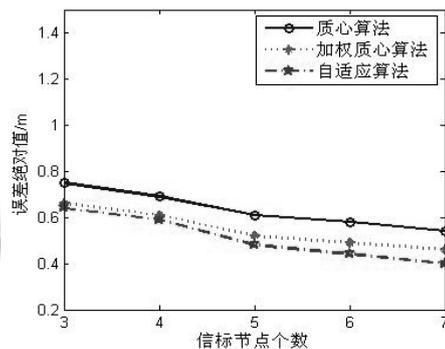
图中的 RSSI 值以百分比的形式表示, 为了便于计算需转换为 dBm 的形式. 信号采集周期为 1s, 记录 50 个周期内, 盲节点接收到各个信标节点的 RSSI 值.

实验分成两个步骤, 分别在无障碍户内和有偶然性障碍的户内两种不同环境中, 比较网络的定位效果.

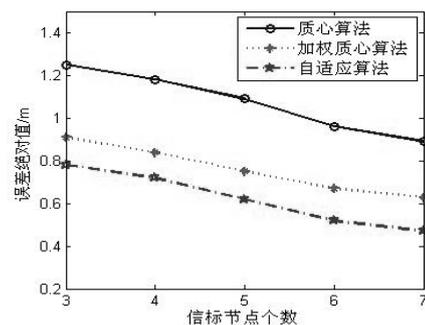
首先在空旷的走廊内布置网络节点, 以盲节点为中心, 从开始的 3 个信标节点依次增加节点个数, 记录不同信标节点数时盲节点接收到的 RSSI 值.

第二步, 在节点定位期间试验场地中有人随机走动, 记录不同信标节点数时盲节点接收到的 RSSI 值.

使用 Matlab 软件对采集数据进行处理, 得到在不同的户内环境中, 质心算法、传统加权质心算法与本文定位方法下的盲节点估算位置. 比较在不同环境中, 三种算法下的定位效果, 图 4(a)是在无障碍的户内环境中的定位误差比较, 图 4(b)是在有障碍的动态户内环境中的定位误差比较.



(a) 无障碍户内节点定位效果



(b) 偶然性障碍户内节点定位效果

图 4 三种算法在两种户内环境中的定位效果图

从仿真图中可以看出, 在两种户内环境中, 随着信标节点数的增加, 三种算法的定位精度都有了相应的提高. 无障碍户内环境中, 本文方法与加权质心算法和质心算法相比, 定位精度有所提高, 但效果并不十分明显. 在有障碍的动态户内环境中, 节点的定位误差在 0.4—0.8 米之间, 随着信标节点数的增加, 定位精度越高. 与加权质心定位算法相比, 在有障碍的动态户内环境中, 本文方法具有更高的定位精度和环境自适应能力.

### 5 结论

本文针对 RSSI 定位方法在户内环境中定位精度较差的问题, 提出了基于环境自适应的加权质心定位

方法. 该方法在自修正环境路径损耗指数的基础上, 以信标节点的实际位置与估算位置的误差为权值, 采用加权算法得到盲节点的坐标, 并对坐标误差补偿, 消除环境因素带来的定位误差, 具有很强的环境适应能力. 在 NI 网络平台上的实验验证表明, 该方法提高了定位精度, 有良好的定位性能, 适合应用于动态的户内环境.

### 参考文献

- 1 孙利民, 李建中. 无线传感器网络. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- 2 王殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. 无线传感器网络的理论及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- 3 Mao G, Fidan B, Anderson BDO. Wireless sensor network localization techniques. *Computer Networks*, 2007, 51: 2529–2553.
- 4 Pal A. Localization algorithms in wireless sensor networks: current approaches and future challenges. *Network Protocols and Algorithms*, 2010, 2(1): 45–74.
- 5 Halder SJ, Choi TY, Park JH. Enhanced ranging using adaptive filter of ZigBee RSSI and LQI measurement. *International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services MobiSys*. 2004: 367–373.
- 6 López YÁ, de Cos Gómez ME, Álvarez JL, Andrés FL. Evaluation Of An RSS-based Location System. *Sensors and Actuators*, 2011, 167(1): 110–116.
- 7 Chen YT, Yang CL, Chang YK, Chu CP. A RSSI-based Algorithm for Indoor Localization Using ZigBee in Wireless Sensor Network. *Proc. of the 15th International Conference on Distributed Multimedia Systems(DMS 2009)*. 2009: 70–75.
- 8 Chen YJ, Pan Q, Liang Y, Hu ZT. AWCL: adaptive weighted centroid target localization algorithm based on RSSI in WSN. *Computer Science and Information Technology, IEEE*, 2010, 7: 331–336.
- 9 Yang CL, Chang YK, Chu CP, Chen CC. A self-adaptable indoor localization scheme for wireless sensor networks. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 2011, 21(1): 33–54.
- 10 Tennina S, Renzo MD, Graziosi F, Santucci F. Locating ZigBee nodes using the TI's CC2431 location engine: a testbed platform and new solutions for positioning estimation of WSNs in dynamic indoor environments. *International Conference on Mobile Computing and Networking*. San Francisco, California, USA. 2008: 37–42.

(上接第 210 页)

利用该软件对飞行模拟器的飞行仿真系统在某测试科目条件下进行飞行仿真性能鉴定测试, 经对比标准数据, 该科目测试曲线基本与标准曲线一致, 如图 7 所示, 各个记录的测试参数值均在测试标准规定的范围内, 达到测试标准要求, 该飞行性能达到该等级要求.

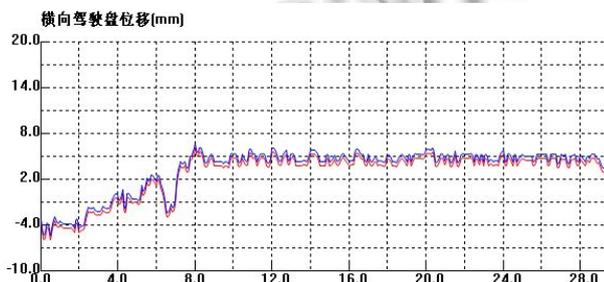


图 7 曲线对比图

### 4 结语

本文首先介绍了飞行模拟器性能鉴定标准, 而后

阐述了鉴定测试软件的开发和设计思路, 详细介绍了功能模块的划分以各个模块功能, 并以某型飞行模拟器数据的实际测试验证, 该软件满足基本功能需求. 本文利用层次化和模块化的软件设计思想, 使得功能结构清晰, 接口简单友好, 并且软件的自动化测试功能极大提高了工作效率.

### 参考文献

- 1 王百争. 新舟 60 飞机 C 级飞行训练模拟器建模与仿真. 2007 国防科技工业虚拟制造技术高层论坛论文集, 西安: 73–82.
- 2 中国民航飞机模拟设备检定事业的发展. *航空科学技术*, 2010, (3): 6–8.
- 3 王知中. 浅谈飞行模拟器的发展及作用. *航空科学技术*, 1994, (2): 18–20.
- 4 王立文, 王浩. 飞行模拟机 ATG 软件系统的开发. *计算机测量与控制*, 2010, 18(1): 121–124.
- 5 贾荣珍, 王行仁, 林胜. 飞行模拟器 ATG 软件系统研究. *系统仿真学报*, 1995, 7(1): 1–4.