

# 基于 BP 神经网络和泰勒级数的室内定位算法研究

张会清<sup>1</sup>, 石晓伟<sup>1,2</sup>, 邓贵华<sup>1</sup>, 高学金<sup>1</sup>, 任明荣<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100124; 2. 中国广东核电集团中核华电技术研究院北京分院, 北京 100086)

**摘要:** 在研究分析室内无线信号传播特性和传统的室内定位算法的基础上, 提出了用 BP 神经网络来拟合室内无线信号传播模型, 避免了对无线信号传播模型中参数  $A$  和  $n$  的不精确估计. 在训练完成的 BP 神经网络的输入层输入接收信号强度值 RSSI(Received Signal Strength Indicator), 在输出层即可得到对应的距离值, 再利用泰勒级数展开法确定盲节点的坐标位置. 最终通过 Matlab 仿真和 ZigBee 平台实验验证了算法的可行性和有效性.

**关键词:** 室内定位; BP 神经网络; RSSI (Received Signal Strength Indicator); ZigBee; 泰勒级数

**中图分类号:** TN393      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2012)09-1876-04

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.09.027

## Research on Indoor Location Technology Based on Back Propagation Neural Network and Taylor Series

ZHANG Hui-qing<sup>1</sup>, SHI Xiao-wei<sup>1,2</sup>, DENG Gui-hua<sup>1</sup>, GAO Xue-jin<sup>1</sup>, REN Ming-rong<sup>1</sup>

(1. College of Electronic and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Division, China Nuclear Power Technology Research Institute, Beijing 100086, China)

**Abstract:** Based on lots of research and analysis on indoor radio signal propagation features and the traditional indoor location algorithms, a new method that uses BP(Back Propagation) neural network to fit the indoor radio signal propagation model is proposed, which avoids inaccurately estimating the parameters  $A$  and  $n$  in the indoor radio signal propagation model. Distance value proportional to the RSSI(Received Signal Strength Indicator) input through the well-trained BP neural network is obtained, and then Taylor series expansion algorithm is used to determine the coordinates of the blind node. Finally, the simulation and experiment results on the ZigBee platform verify the feasibility and effectiveness of the proposed algorithm.

**Key words:** indoor location; back propagation neural network; received signal strength indicator; ZigBee; Taylor series

## 1 引言

室内是人类活动最密集, 与人类生活生产密切相关的场合, 因此对室内定位算法的研究具有重要意义. 根据目前的研究情况, 室内定位技术按所借助的手段不同可以分为如下几类<sup>[1,2]</sup>: 基于无线电信号的, 基于红外线的, 基于超声波的, 基于激光的, 基于图像视觉的等. 由于室内环境存在非视距、多径、干扰多变等因素<sup>[3]</sup>, 同时考虑到设备费用和实现的复杂程度等, 最终选择了利用 ZigBee 技术基于 RSSI 的定位算法.

传统的基于 RSSI 的室内定位技术基本上都是以无线信号传播模型为基础, 在不同的定位环境中, 通过拟合或直接根据经验得出无线信号传播模型中未知参数  $A$  和  $n$ , 再根据一些位置距离算法来最终实现定位<sup>[4,5]</sup>. 但此方法过于依赖经验, 对不同环境的普适性不强, 精度不高. 在研究分析无线信号传播模型和传统的室内定位算法的基础上, 提出了基于 BP 神经网络和泰勒级数展开的室内定位算法. BP 神经网络模型以 RSSI 为输入值, 以距离为输出值, 得到距离后, 再利用泰勒级数展开

的算法确定盲节点的坐标位置. 与传统定位算法相比减小了定位误差, 避免了对信号传播模型中复杂参数的拟合, 提高了定位精度.

## 2 基于 RSSI 的室内定位算法原理

### 2.1 RSSI 与 $d$ 的关系

随着传播距离的增加, 无线信号的强度逐渐变弱, 并且信号强度的衰减和距离成一定的关系. 在室内环境无线电波传播的机制不唯一, 它服从反射, 散射和绕射等<sup>[6]</sup>, 理想和实测的 RSSI 与距离  $d$  关系如下图 1 所示.

现在的定位算法一般都会考虑室内障碍物的影响, 目前普遍采用 Shadowing 模型<sup>[7]</sup>作为室内无线信号的传播模型:

$$P(d) = P(d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \zeta \quad (1)$$

式(1)中  $d_0$  是参考距离, 常取为 1m,  $d$  是实际距离,  $P(d)$  和  $P(d_0)$  分别是距离为  $d$  和  $d_0$  时的路径损耗值,  $\zeta$  是遮蔽因子. 在实际应用中, 常采用简化的 Shadowing 模型:

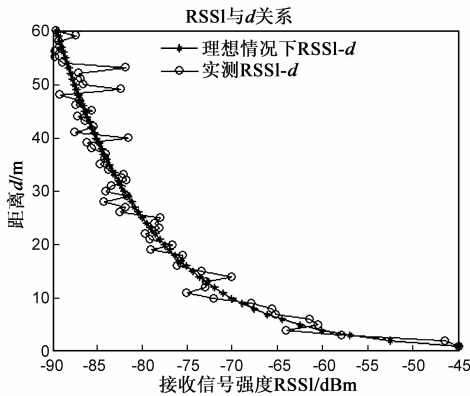


图1 RSSI与距离d的关系曲线

$$P(d) = P(d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (2)$$

又由于路径损耗等于初始发射信号强度与接收信号强度之差,即  $P(d) = P(0) - \text{RSSI}(d)$  和  $P(d_0) = P(0) - \text{RSSI}(d_0)$ , 其中  $P(0)$  为初始发射信号强度,  $\text{RSSI}(d)$  和  $\text{RSSI}(d_0)$  分别是距离为  $d$  和  $d_0$  处的接收信号强度值. 通常取  $d_0 = 1\text{m}$ ,  $A = -\text{RSSI}(d_0)$  从而得到实际应用的 RSSI 测距公式:

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

式中的  $A$  和  $n$  为待定参数, 其中  $A$  为距离信号发射源  $1\text{m}$  处接收到的信号强度平均值的绝对值, 而  $n$  为信号传输常数, 与信号传播环境相关.

综上所述, 不管是理想环境还是室内环境下, RSSI 和无线信号传输距离之间有确定关系, RSSI 的测量具有重复性与互换性, 在应用环境下 RSSI 适度的变化有规律可循. 而 Kolmogorov 定理也已经证明, 任意一连续函数可由一个三层 BP 网络来实现, 因此完全可以用 BP 神经网络来拟合 RSSI 与距离  $d$  之间的非线性函数关系<sup>[8,9]</sup>.

### 2.2 BP 神经网络模型的确定

根据 RSSI 与  $d$  之间的一一对应关系, 确定 BP 神经网络的输入输出层都为只有一个神经元. 然而隐含层的层数、各层神经元数以及激励函数和训练函数的选择是一个难点, 目前还没有理论上的指导. 首先用 Zig-Bee 无线定位系统在实际应用环境中取得大量的 RSSI 及对应的距离数据. 在做仿真效果分析时, 固定各隐含层节点数, 本文固定为 20 个, 观察隐含层层数从 1 层、2 层、3 层逐渐改变时的拟合效果, 最终得出 1 层网络已经可以达到效果, 并且一层网络结构简单, 训练时间短, 易于实现, 即最终我们将隐含层的层数确定为 1 层. 同理固定隐含层为 1 层, 观察隐含层节点数从 1 逐渐增加时的拟合效果. 从最终的实验拟合效果中我们可以得出隐含层为 26 个节点时神经网络训练时间短, 拟合效果最优, 最终的 BP 神经网络模型采用 1:26:1 的网络

结构.

基本的 BP 算法存在抗干扰能力差、收敛速度慢、易陷入局部极值点<sup>[10]</sup>. Matlab 神经网络工具箱中提供了十多种快速学习算法, 经过反复实验和比较本研究选 traincgf 算法. 该算法在不增加算法复杂性的前提下, 可以提高收敛速度, 并且可沿共扼方向达到全局最小点.

### 2.3 泰勒级数展开法估计位置

将两次定位操作之间接收到的 RSSI 进行大小排序, 取出最大的且属于不同的三个参考节点的三个 RSSI 值(即距此盲节点最近的三个参考节点发送来的 RSSI 值)及其对应的参考节点位置信息, 将此三 RSSI 值分别输入到训练好的 BP 神经网络中可以得到对应的三个参考节点  $(x_i, y_i)$  到盲节点  $(x, y)$  的距离  $d_i$ , 于是可得到参考节点与盲节点之间测量距离和估计距离之间的差值如式(4)所示:

$$f_i(x, y) = \left| d_i - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \right| \quad (4)$$

根据当前定位环境特点估计一个盲节点坐标  $(x_e, y_e)$  做为初始值, 将式(4)在点  $(x_e, y_e)$  处用泰勒级数展开并只保留到一阶偏导数项, 其后各项忽略, 得下式(5):

$$f_i(x, y) = f_i(x_e + \Delta x, y_e + \Delta y) \approx f_i(x_e, y_e) + \frac{\partial F_i}{\partial x_e} \Delta x + \frac{\partial F_i}{\partial y_e} \Delta y \quad (5)$$

为使公式整洁, 上式(5)中后两项的  $F_i$  代表  $f_i(x_e, y_e)$ , 以下各式表述同此. 当测量距离与估计距离之间距离差  $f_i(x, y)$  为足够小时说明估计点准确, 于是可将(5)式写成矩阵形式:  $\mathbf{f} = \mathbf{A}\mathbf{\Delta}$ , 其中

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_e} & \frac{\partial F_1}{\partial y_e} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_i}{\partial x_e} & \frac{\partial F_i}{\partial y_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_1 - x_e)}{\sqrt{(x_1 - x_e)^2 + (y_1 - y_e)^2}} & \frac{(y_1 - y_e)}{\sqrt{(x_1 - x_e)^2 + (y_1 - y_e)^2}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{(x_i - x_e)}{\sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2}} & \frac{(y_i - y_e)}{\sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2}} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{f} = - \begin{bmatrix} d_1 - [(x_1 - x_e)^2 + (y_1 - y_e)^2]^{\frac{1}{2}} \\ \vdots \\ d_i - [(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2]^{\frac{1}{2}} \end{bmatrix}$$

求解矩阵方程得:  $\mathbf{\Delta} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{f}$ , 得到  $\mathbf{\Delta} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$  后做如下修正: 令  $x'_e = x_e + \Delta x$ ,  $y'_e = y_e + \Delta y$ , 重复

以上过程,直到  $\Delta x, \Delta y$  足够小,满足预先设定的门限  $\epsilon$ ,即  $\Delta x + \Delta y \leq \epsilon$ ,此时的  $(x_e, y_e)$  作为定位节点的估计位置坐标。

### 3 室内定位系统设计

#### 3.1 系统整体介绍

定位系统主要有四部分组成:网关、参考节点、盲节点和监控。网关由 CC2430 或 CC2431 组成,负责网络的组建运维、新入网节点地址分配、与上位机进行交互通信等。参考节点由 CC2430 或 CC2431 组成,是位置已知的静态节点,负责将 RSSI 传送给盲节点和节点间通信中转。盲节点由 CC2431 组成,是位置待定的移动节点,根据参考节点发送回的参考节点坐标值以及 RSSI 实现定位。监控部分是指上位机监控软件,将网关发送上来节点坐标、参数等信息实时显示,另外将监控人员设置参数通过网关发送给各个节点。定位平台构成如图 2 所示:



图2 定位系统硬件平台

#### 3.2 定位过程

用上位机开发环境 IAR Embedded Workbench 分别编译连接网关模块程序、参考节点程序和盲节点程序,将对应生成的目标程序通过仿真器烧录进相应的网关模块、参考节点模块和盲节点模块中。提前测知待定位环境的场景分布图,将网关模块通过串口连接至上位机,打开上位机监控软件,打开网关模块电源建立网络。在要定位的环境内布置好参考节点,并打开参考节点的开关,在上位机监控软件上一一查找到参考节点,然后根据参考节点的实际放置位置,通过上位机软件设置分配其位置坐标。然后打开盲节点开关,此时即可通过建立的无线个域网来实现对盲节点的定位。定位的核心算法是在盲节点内完成的,整个系统定位操作过程流程如下图 3 所示:

### 4 室内定位算法实验验证

#### 4.1 搭建实验环境

我们以学校人文楼地下停车场为实验环境。取停车场的一部分区域为实验区域,该区域是大小为  $48.2\text{m}$

$\times 26.0\text{m}$  的矩形区域。在矩形区域的四周每隔  $8\text{m}$  放置一个参考节点,一共放置了 18 个参考节点,并标定好这些参考节点的坐标。

在实验过程中,参考节点模块内的程序不做修改,在盲节点中先烧录进包含本文所提出的定位算法的程序,由实验人员携带盲节点在由参考节点围成的定位区域内移动,规定每隔  $5\text{s}$  移动一个位置,移动的位置和路线如图 4 中所示。在移动的过程中记录并保存下当前盲节点的实际位置坐标和用本文定位算法而在上位机显示的定位坐标,直到图 4 中的 50 个待实验点全部实验完毕。改变盲节点内部的程序,将传统的定位程序烧进盲节点内部,重复以上实验过程并记录数据。

#### 4.2 实验结果分析

将本次实验中测得的盲节点的坐标数据保存起来,分析所记录的实验数据。然后将实验中用本文定位算法和传统定位算法所得到的盲节点的坐标值与盲节点的实际坐标值加以对比,比较传统的定位算法与本文提出的定位算法的定位性能,对比如图 4 所示。

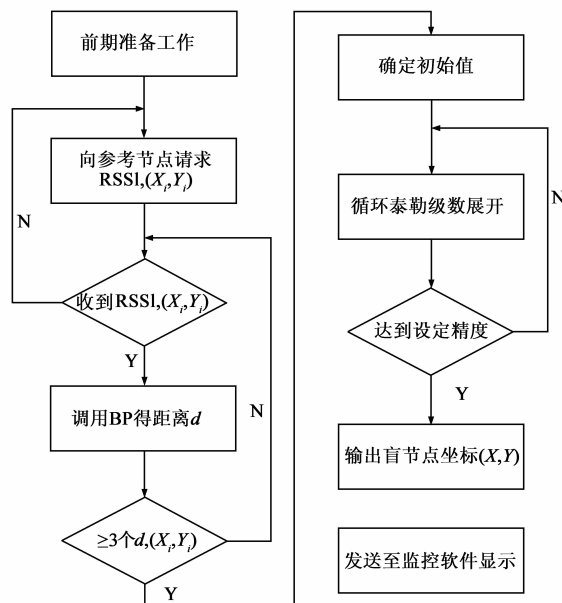


图3 定位操作流程

从图 4 中可以看出,使用本文算法所得到的盲节点坐标值与盲节点的实际坐标值非常接近,定位误差控制在  $2\text{m}$  以内,并且大总分的误差都在  $1.6\text{m}$  以内,较好的解决了定位环境中的各种干扰因素。而用传统定位方法所得到的盲节点的坐标与盲节点的实际坐标相距较远,误差为  $3 \sim 5\text{m}$ ,并不能很好的解决定位环境对定位信号的干扰。对比两种算法的定位效果我们可以得出本文算法较好的改善了定位效果,减少了环境因素的干扰,提高了定位精度。

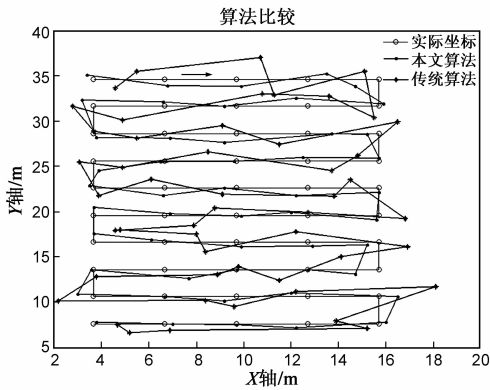


图4 定位算法实验效果比较图

## 5 结语

本文结合 ZigBee 定位平台提出了基于 BP 神经网络和泰勒级数展开法的室内定位算法. 与传统基于 RSSI 的定位算法相比, 本文算法避免了对信号传播模型中复杂参数  $A$  和  $n$  的拟合, 提高了定位精度. 最后, 通过仿真和实际实验比较了传统的 RSSI 定位算法和本文提出的定位算法的定位效果. 从实验结果可以看出, 本文算法具有较小定位误差和较高普适性, 证明了算法的优越性.

## 参考文献

- [1] 王晖. 基于 RSSI 的无线传感器网络室内定位算法设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2010. 16 - 41.  
WANG Hui. Design and Implementation of RSSI-based Localization Algorithm in Wireless Sensor Network [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010. 16 - 41. (in Chinese)
- [2] 肖竹, 王勇超, 田斌. 超宽带定位研究与应用: 回顾和展望[J]. 电子学报, 2011, 39(1): 133 - 141.  
XIAO Zhu, WANG Yong-chao, TIAN Bin. Development and prospect of ultra-wideband localization research and application [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(1): 133 - 141. (in Chinese)
- [3] 李晓维, 徐勇军, 任丰原. 无线传感器网络技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007. 191 - 219.  
LI Xiao-wei, XU Yong-jun, REN Feng-yuan. Techniques for Wireless Sensor Networks [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007. 191 - 219. (in Chinese)
- [4] 章坚武, 张璐. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究[J]. 传感技术学报, 2009, 22(2): 139 - 142.  
ZHANG Jian-wu, ZHANG Lu. Research on distance measurement based on RSSI of ZigBee [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22(2): 139 - 142. (in Chinese)
- [5] Jinbao Li, Jianzhong Li, Longjiang Guo. Power-efficient node localization algorithm in wireless sensor networks[A]. APWeb 2006 International Workshops [C]. Harbin, China: Computer

Science, 2006. 3842: 420 - 430.

- [6] 方震, 赵湛, 郭鹏. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526 - 2530.  
FANG Zheng, ZHAO Zhan, GUO Peng. Analysis of distance measurement based on RSSI [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(11): 2526 - 2530. (in Chinese)
- [7] 倪巍, 王宗欣. 基于接收信号强度测量的室内定位算法[J]. 复旦学报, 2004, 43(1): 72 - 76.  
NI Wei, WANG Zong-xin. An indoor location algorithm based on the measurement of the received signal strength [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2004, 43(1): 72 - 76. (in Chinese)
- [8] 李瑛, 胡志刚. 一种基于 BP 神经网络的室内定位模型[J]. 计算机技术与自动化, 2007, 26(2): 77 - 80.  
LI Ying, HU Zhi-gang. An indoor locating model based on BP neural network [J]. Computing Technology and Automation, 2007, 26(2): 77 - 80. (in Chinese)
- [9] Shih-Hau Fang, Tsung-Nan Lin. Indoor location system based on discriminant-adaptive neural network in IEEE 802. 11 environments [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2008, 19(11): 1973 - 1978.
- [10] 曾 ■ 昭. 神经网络优化方法及其在信息处理中的应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008. 22 - 31.  
ZENG Zhe-zhao. Research on Neural Networks Optimal Methods and Its Applications in the Information Processing [D]. Changsha: Hunan University, 2008. 22 - 31. (in Chinese)

## 作者简介



张会清 男, 1968 年出生, 河北平泉人, 北京工业大学副教授, 硕士研究生导师, 主要研究领域为计算机网络, 无线通信, 室内定位技术研究.

E-mail: zhq@bjut.edu.cn

石晓伟 男, 1985 年出生于河南郑县, 北京工业大学电子信息与控制工程学院硕士研究生, 主要从事室内定位技术、无线定位与无线传感器网络方向的研究.

E-mail: luck2shi@gmail.com

邓贵华 男, 1985 年生, 福建省建瓯市人, 北京工业大学硕士研究生, 主要从事通信信号处理, 无线定位, 室内定位等研究学习.

E-mail: fhlm304@163.com

高学金 男, 1973 年生于河北唐山, 北京工业大学副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为复杂系统建模与优化控制、智能计算.

E-mail: gaouxuejin@bjut.edu.cn

任明荣 女, 1977 年生, 辽宁丹东人, 北京工业大学讲师, 主要从事非线性信号处理方面的研究.