

基于 RSSI 测距室内定位改进质心算法

胡斌斌,倪晓军

(南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210003)

摘要:室内定位技术具有巨大的市场需求,但由于室内定位受到噪声、多径反射、温度、环境、阴影衰落等因素的影响,其定位精度显著降低。为了提高室内节点的定位精度,针对传统的质心定位算法精确度低的问题,提出了一种基于 RSSI 节点测距的改进质心定位算法。该算法对锚节点接收到的 RSSI 数据进行拟合,以此能够在 BP 神经网络基础上确定损耗模型参数值,采用改进的质心定位算法进行定位,并在原有的三点定位的基础上,通过节点之间的数学转换,将三点定位法改进为六点质心定位算法。为验证所提算法的有效性和可行性,基于 Matlab 仿真平台进行了仿真实验。仿真实验结果表明,相对于传统的质心定位算法,所提出的算法显著地提高了室内定位的精度。

关键词:接收信号强度指示;定位;神经网络;锚节点;修正算法

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)09-0133-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.09.029

An Improved Indoor Localization Algorithm of Centroid with RSSI

HU Bin-bin, NI Xiao-jun

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

Abstract: Indoor positioning technology is of great demand. However, owing to the influence of noise, multi-path reflection, temperature, environment and shadow fading, the accuracy of indoor positioning decreases greatly. In order to improve the positioning accuracy of interior nodes, aimed at the problem of low accuracy of the traditional localization algorithm, an ameliorate triangle centroid localization algorithm based on RSSI is proposed, which is fitted to the values received by anchor node so that the parameter values of loss by BP neural network can be determined and then located with the ameliorate triangle centroid localization algorithm. Based on principle of three-point location the original three-point location algorithm has been modified to six-point centroid localization algorithm. In order to prove its effectiveness and feasibility, the experiments for verification have been conducted with Matlab simulation platform which show that compared with traditional centroid localization algorithm, it greatly increases indoor positioning accuracy.

Key words: RSSI; localization; neural network; anchor nodes; modified algorithm

0 引言

随着无线通信技术的迅速发展,无线传感网络得到了快速普及。由于无线传感网络(Wireless Sensor Network, WSN)具有信息采集、目标跟踪等能力,因此把它应用到位置信息中具有很高的实际价值。同时“基于位置服务(Location Based Service, LBS)”具有广阔的应用市场。而现在的室外基于GPS定位的精度已经相当高^[1]。但是室内定位由于受到噪声、障碍物阻挡、多径反射、温度、环境等因素的影响,导致定位精度不高,不能满足一些要求高精度的场合。因此提高室内定位的精度成为无线传感网络的研究重点之一^[2]。

为了获得更加精确的定位位置,国内外一些研究

人员提出了许多定位算法,或在已有定位算法基础上进行改进。现在一般是根据距离分为二大类定位,一是基于距离的定位,另一种是基于距离无关的定位。基于距离定位是检测两点间的距离来进行定位,而距离无关的定位是依靠网络连通性来实现节点的定位。在基于距离定位算法中有基于时间到达(Time Of Arrival, TOA)^[3]、基于到达的角度(Angle Of Arrival, AOA)^[4]、到达的时间差(Time Difference Of Arrival, TDOA)^[5]和接收信号强度指示(Received Signal Strength Indicator, RSSI)^[6]等。TOA是通过测量信号传播时间来测量距离,TDOA是利用两种不同传播速度的信号从一个节点传播到另一个节点所需要的时间

收稿日期:2016-10-08

修回日期:2017-01-09

网络出版时间:2017-07-05

基金项目:教育部专项研究项目(2013116)

作者简介:胡斌斌(1990-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感网络室内定位技术;倪晓军,副教授,研究方向为无线传感网络。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170705.1652.080.html>

差, TOA 和 TDOA 都需要精确的时钟同步。AOA 是通过节点接收到的信号相对于自身轴线的角度, 同时也要求较高的测向精度。相对上述算法, RSSI 更简单、开销少、成本低, 主要通过检测盲节点和锚节点之间的信号强度值, 通过彼此的信号值转化为被测物和观察物之间的距离。此方法比较适合小范围的定位, 如楼群、商场、医院、敬老院等。所以现在已成为当前室内定位的主流研究方向^[7]。然而在实际的室内环境中, 信号在传播过程中容易受到室内环境的影响, 同时在多径反射、折射的影响下, 使得锚节点的信号强度指示 (RSSI 值) 具有时变性。这就造成了在定位时存在较大的误差, 导致定位精度低。为了提高定位精度, 国内外学者提出了许多改进方法。文献[8]在 RSSI 无线节点定位的基础上, 通过对测得的数据进行多次迭代来提高室内定位精度。文献[9]用多维标度标准来减少数据误差带来的影响, 以提高室内定位精确度。文献[10]通过增强节点对环境的适应性, 使得在动态环境下也能准确得出路径衰落指数, 从而提高定位精确度。

为了进一步提高无线传感器室内定位的精度, 同时针对基于 RSSI 三边定位算法中没有深入考虑到远距离传播比近距离传播可能受到更多的反射、多径效应、天线增益等诸多因素影响, 从而导致测量误差增大的问题, 提出了基于 RSSI 传感器的三边定位修正算法, 即在三边定位的基础上提出了六点质心算法。

1 基于信号强度测距模型

该模型的核心思想在于: 无线节点在检测区域节点时, 由于各个节点到待定位节点的距离不同, 使得信号强度值不同, 这种信号在传播衰减的过程中会与距离存在一定的关系。也就是所说的测距模型。在这一类测距模型中, 一个通常的假设是信号的传播距离远大于天线尺寸大小的平方与电磁波波长的商。在自由空间中, 已证明信号强度与被传播距离的平方线性负相关。而在室内定位过程中, 由于受到多径反射、折射、障碍物、阴影衰落等影响, 此环境与自由空间相差太大, 不能采用自由空间模型, 故采用常态分布模型, 即:

$$P_L(d) = P_0(d_0) + 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_0 \quad (1)$$

其中, d 表示锚节点与盲节点间的距离; $P_L(d)$ 表示路径损耗值; X_0 表示其他因素干扰; n 表示信号衰减因子^[11]。

接收节点接收到的 RSSI 值为:

$$\text{RSSI} = P_t - P_L(d) \quad (2)$$

其中, P_t 表示发射功率。

设 d_0 处的信号强度为 A , 那么有:

$$P_L(d_0) = P_t + (-A) \quad (3)$$

$$P_L(d) = P_t - A + 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_0 \quad (4)$$

通常情况下, $d_0 = 1$ 且 X_0 均值为 0, 因此, 式(4)变为:

$$P_L(d) = P_t - A + 10n \log_{10}(d) \quad (5)$$

于是得到 RSSI 的计算公式为:

$$\text{RSSI} = A - 10n \log_{10}(d) \quad (6)$$

从式(6)可知, RSSI 与 A 和 n 密切相关。传统方法采用固定 A 和 n 的方式, 与实际室内环境不符, 变化较大, 所以造成的误差也较大。为了减少误差, 确定参数 A 和 n 的值很重要, 合理地解决 A 和 n 的确定问题成为问题解决的第一步。

2 评估参数 A 和参数 n 的估计

传统的解决 A 和 n 值不确定问题的方法, 都采用节点平均值。由于不同节点之间的距离不同, 信号强度的误差也会发生相应变化, 由于室内环境的时变性, 以及每个节点对环境带来影响的敏感度的不同, 所以采用平均值的方法并不合理。于是采用动态加权的方式:

$$\begin{cases} A = w_1 \times A_1 + w_2 \times A_2 + \cdots + w_n \times A_n \\ n = w_1 \times n_1 + w_2 \times n_2 + \cdots + w_n \times n_n \end{cases} \quad (7)$$

其中, 权值 w_1, w_2, \dots, w_n 的确定非常重要, 采用对数据拟合能力强的 BP 神经网络来对数据进行拟合, 从而使参数更加适应环境的敏感度, 得到的参数值也比较准确合理。

BP 神经网络是由一个输入层、多个隐含层和一个输出层组成的, 其结构如图 1 所示^[12]。

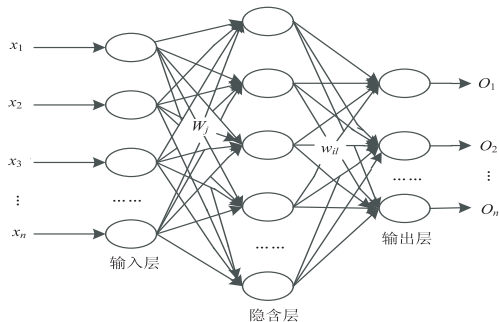


图 1 BP 神经网络的拓扑结构

输入层、隐含层和输出层的神经元操作特性可描述为:

$$\begin{cases} \text{net}_{di} = \sum_i w_{ik} O_{di} \\ O_{dk} = f(\text{net}_{ik}) \\ f_k(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \end{cases} \quad (8)$$

其中, i 表示当前样本; W_{ik} 为神经元 i 与 k 的连接权值; O_{di} 和 O_{dk} 为当前神经元 k 的输入、输出。

3 基于 RSSI 室内定位算法

根据式(6), 可以通过信号强度的 RSSI 算出节点到另一个节点的距离 $d^{[13]}$ 。由于采取的是基于三边质心甲醛的定位算法, 所以拟采用 3 个信标节点 A 、 B 、 C 对未知节点进行定位, 故测距阶段应得到至少 3 个距离值 d_1 、 d_2 、 d_3 , 如图 2 所示。

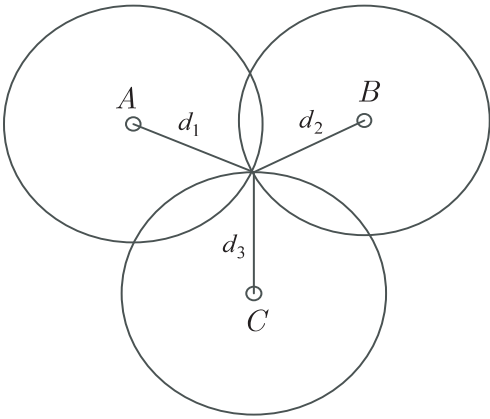


图 2 RSSI 定位的理想模型

图 2 中, 盲节点位于以三个已知位置的锚节点为圆心, 分别以测得的盲节点距离为半径的三个圆的交点处。因此得到盲节点到三个已知节点的距离就可以求出这三个圆的交点, 这样计算测得这个交点的位置坐标就可得到盲节点在区域中所处的位置。但是一般情况下, 三个圆不会交于一点, 而是交于某一个区域, 一般锚节点与盲节点的位置关系如图 3 所示。

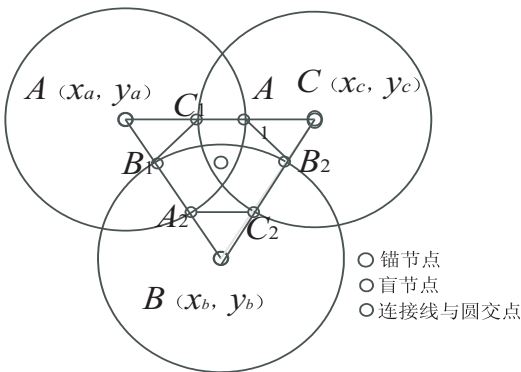


图 3 锚节点与盲节点的一般位置关系

传统的质心定位算法^[14]就是找到盲节点到最近的三个锚节点的距离, 如图 3 的 A 、 B 、 C 三点, 然后直接求这三个锚节点的质心作为盲节点的位置估计, 此方法的误差较大。

对传统质心定位算法进行改进。首先, 对参数模型的参数确立更加合理精确, 并利用神经网络来拟合测得数据, 使得数据更加有效。通过上面的步骤可以测出锚节点与盲节点间的距离 d , 盲节点就在这些以

锚节点为圆心、 d 为半径的相交区域中。然后选取距离锚节点最近的三个节点作为此次定位锚节点, 三个圆心两两连接, 分别与圆有六点交点, 以这六个交点作为质心定位盲节点。

求出这六个点的坐标是六点质心定位算法的关键。图 3 中, 设 $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ 、 $C(x_C, y_C)$ 接收到的信号强度分别为 R_A 、 R_B 、 R_C , 将这三个信号强度输入到 BP 神经网络得到对应的距离 d_A 、 d_B 、 d_C , 这样就可以得到三个圆, 分别为圆 A 、圆 B 和圆 C :

$$(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2 = d_A^2 \quad (9)$$

$$(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2 = d_B^2 \quad (10)$$

$$(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2 = d_C^2 \quad (11)$$

三条直线为:

$$\frac{y - y_A}{x - x_A} = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} \quad (12)$$

$$\frac{y - y_A}{x - x_A} = \frac{y_A - y_C}{x_A - x_C} \quad (13)$$

$$\frac{y - y_B}{x - x_B} = \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C} \quad (14)$$

通过这三条直线的表达式就可以求直线与圆的各个交点了。联立式(9)和式(12)并解直线 AB 与圆 A 的交点, 得:

$$x = x_A \pm \frac{|(x_B - x_A) * d_A|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}} \quad (15)$$

$$y = y_A \pm \frac{|(y_B - y_A) * d_A|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}} \quad (16)$$

由式(15)和式(16)可得下面二个点:

$$\begin{aligned} & \left(x_A + \frac{|(x_B - x_A) * d_A|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}}, \right. \\ & \left. y_A + \frac{|(y_B - y_A) * d_A|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}} \right) \\ & \left(x_A - \frac{|(x_B - x_A) * d_A|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}}, \right. \\ & \left. y_A - \frac{|(y_B - y_A) * d_A|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}} \right) \end{aligned}$$

同理, 联立式(10)和式(13)可解得 AB 与圆 B 的两交点, 得:

$$\begin{aligned} & \left(x_B + \frac{|(x_B - x_A) * d_B|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}}, \right. \\ & \left. y_B + \frac{|(y_B - y_A) * d_B|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}} \right) \\ & \left(x_B - \frac{|(x_B - x_A) * d_B|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}}, \right. \\ & \left. y_B - \frac{|(y_B - y_A) * d_B|}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 - (y_B - y_A)^2}} \right) \end{aligned}$$

通过上面联立圆的方程和直线方程可以求得直线 AB 与圆 A 和圆 B 的四个交点,然后取得需要的两个坐标,即图 3 中的 A_1 和 B_2 的两个点,同理可以得到图 3 中圆的连心线与圆的六个交点分别为: $A_1(x_{A_1}, y_{A_1})$ 、 $A_2(x_{A_2}, y_{A_2})$ 、 $B_1(x_{B_1}, y_{B_1})$ 、 $B_2(x_{B_2}, y_{B_2})$ 、 $C_1(x_{C_1}, y_{C_1})$ 、 $C_2(x_{C_2}, y_{C_2})$ 。这样可得到盲节点 (x, y) 的位置估计:

$$x = (x_{A_1} + x_{A_2} + x_{B_1} + x_{B_2} + x_{C_1} + x_{C_2})/6 \quad (17)$$

$$y = (y_{A_1} + y_{A_2} + y_{B_1} + y_{B_2} + y_{C_1} + y_{C_2})/6 \quad (18)$$

这样就得到了盲节点的估计位置坐标:

$$\left(\frac{(x_{A_1} + x_{A_2} + x_{B_1} + x_{B_2} + x_{C_1} + x_{C_2})}{6}, \frac{(y_{A_1} + y_{A_2} + y_{B_1} + y_{B_2} + y_{C_1} + y_{C_2})}{6} \right)$$

4 实验与仿真

为了测试改进算法的性能,利用 Matlab 软件进行仿真。假设仿真区域大小为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$,未知节点数为 40,锚节点的数为 10,节点的通信半径为 30 m ,路径的衰减因子设为 3.3。在仿真环境下加入高斯分布的随机噪声,仿真场景如图 4 所示。在相同情境下,对文中算法和文献[15]中的室内定位算法进行精确度对比,以证明该算法的可比性。

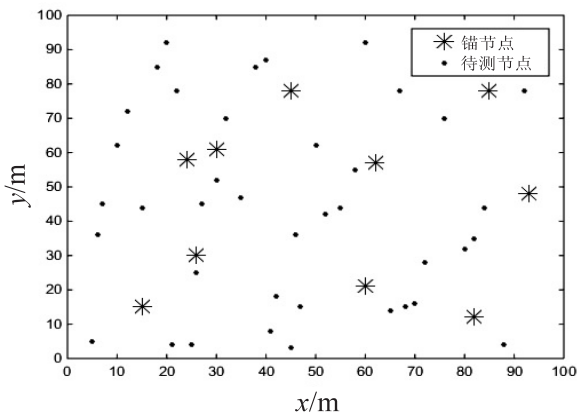


图 4 节点分布图

为了尽可能减小在收集数据时的误差,采用多次测量取平均值的方法。实验进行 200 次,误差分析的公式为:

$$\text{error} = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (19)$$

其中, (x, y) 表示盲节点的实际坐标; (x', y') 表示盲节点的位置估计坐标。

对该算法的有效性以及信标节点个数对算法定位精度的影响进行仿真,如图 5 所示。

由图 5 可知,在相同仿真条件下,所提算法在定位精确度方面比普通质心定位算法平均提高了 10.6%,比经过加权改进的质心算法平均提高了 5.6%,说明改进的室内定位算法具有一定的实用价值。

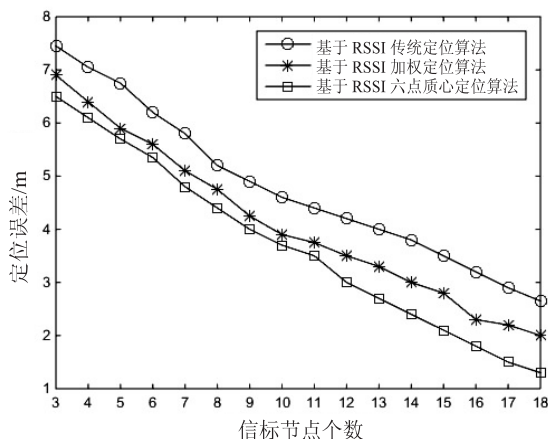


图 5 改进算法效果对比图

5 结束语

为了获得更加精确的室内定位,提出了改进测量的 RSSI 室内定位算法。通过 BP 神经网络对锚节点接收到的 RSSI 值进行拟合,得出盲节点到各个锚节点的距离值。通过六点质心定位算法对其进行定位,得出定位的坐标估计。从定位的误差对仿真结果及其算法性能的分析可以发现,该改进定位算法显著提高了室内定位精度,具有较好的实用价值。

参考文献:

- [1] Kushki A, Plataniotis K, Venetsanopoulos A. Intelligent dynamic raio tracking indoor wireless local area networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 9(3): 405-419.
- [2] Gu Y Y, Lo A, Niemegeers I. A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11(1): 13-32.
- [3] Harter A, Hopper A, Steggle P, et al. The anatomy of a context-aware application[J]. Wireless Networks, 2002, 8(2/3): 187-197.
- [4] Priyantha N B, Miu A K L, Balakrishnan H, et al. The cricket compass for context-aware mobile applications[C]//Proceedings of the 7th annual international conference on mobile computing and networking. [s. l.]: ACM, 2001: 1-14.
- [5] Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C]//IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. [s. l.]: IEEE, 2001: 1312-1320.
- [6] Karthick N, Prashanth K, Venkatraman K, et al. Location estimation using RSSI and application of extended Kalman filter in wireless sensor networks[C]//International conference on advanced computer control. [s. l.]: IEEE, 2009: 337-341.
- [7] Lee S, Kim K. Determination of communication range for range-free multi-hop localization in wireless sensor networks

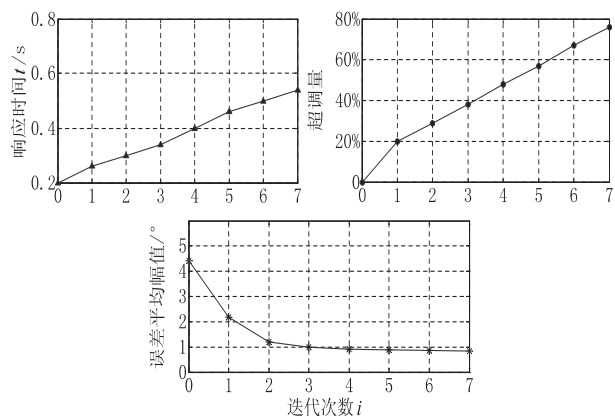


图 5 不同迭代次数下的卡尔曼滤波效果指标对比

5 结束语

相关参数的选取问题一直是影响传统卡尔曼滤波算法滤波效果的关键因素,而目前还没有成熟、有效的取值方法,通过采用 Matlab 软件对采集到的倾角传感器输出数据进行仿真并具体量化分析比较 Q 、 R 两个关键参数的不同取值对卡尔曼滤波性能所造成的影响,在此基础上进行分析对比,找到了一个较优的取值组合。为了进一步提高滤波效果,在传统卡尔曼滤波算法的基础上,提出了迭代法卡尔曼滤波,将一次卡尔曼滤波后的输出数据再次引入系统进行迭代融合滤波。

仿真结果表明,在恰当的迭代次数条件下(3次),相较于传统的卡尔曼滤波法,该算法可大幅提高系统的滤波精度,使低滤波后误差的平均幅值,同时保证了系统的实时性,具有一定的工程应用价值。

参考文献:

[1] Giansanti D, Maccioni G, Macellari V. The development and test of a device for the Reconstruction of 3-D position and orientation by means of a kinematic sensor assembly with rate gyroscopes and accelerometers[J]. IEEE Transactions on Bio-medical Engineering, 2005, 52(7): 1271-1277.

[2] Tiwari A, Ballal P, Lewis F L. Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2007, 3(1): 1.

[3] 冯智勇, 曾瀚, 张力, 等. 基于陀螺仪及加速度计信号融合的姿态角度测量[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2011, 36(4): 137-141.

[4] 邹波, 张华, 姜军. 多传感信息融合的改进扩展卡尔曼滤波定姿[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(4): 1035-1038.

[5] 高同跃, 龚振邦, 罗均, 等. 基于加速度计和角速率陀螺的超小无人直升机姿态控制系统[J]. 飞行器测控学报, 2007, 26(1): 70-73.

[6] Kownacki C. Optimization approach to adapt Kalman filters for the real-time application of accelerometer and gyroscope signal's filtering[J]. Digital Signal Processing, 2011, 21(1): 131-140.

[7] Kalman R E. A new approach to linear filtering and prediction problems[J]. Journal of Fluids Engineering, 1960, 82(1): 35-45.

[8] 钟伟才, 刘静, 刘芳, 等. 二阶卡尔曼滤波分布估计算法[J]. 计算机学报, 2004, 27(9): 1272-1277.

[9] 夏伟才, 曾致远. 一种基于卡尔曼滤波的背景更新算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 134-136.

[10] 梁丁文, 袁磊, 蔡之华, 等. 基于无迹卡尔曼滤波传感器信息融合的车辆导航算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(12): 3444-3448.

[11] 周战馨, 高亚楠, 陈家斌, 等. 基于无轨迹卡尔曼滤波的大失准角 INS 初始对准[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(1): 173-175.

[12] 董健康, 安东. 自适应卡尔曼滤波在组合导航中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(10): 183-185.

[13] Gan Q, Harris C J. Comparison of two measurement fusion methods for Kalman filter based multisensor data fusion[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2001, 37(1): 273-279.

[14] 卞月根, 张伟. 基于非线性卡尔曼滤波的车辆定位优化算法[J]. 计算机技术与发展, 2015, 25(8): 80-83.

(上接第 136 页)

[C]//Proceedings of 20th international conference on computer communications and networks. [s. l.]: IEEE, 2011: 1-4.

[8] Liu D, Xiong Y, Ma J. Exploit Kalman filter to improve fingerprint-based indoor localization[C]//International conference on computer science and network technology. [s. l.]: IEEE, 2011: 2290-2293.

[9] 石欣, 印爱民, 陈曦. 基于 RSSI 的多维标度室内定位算法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(2): 261-268.

[10] 乔钢柱, 曾建潮. 一种适用于动态环境的改进 RSSI 定位方法[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(S): 111-114.

[11] 刘晓文, 王振华, 王淑涵, 等. 基于 RSSI 算法的矿井无线定位技术研究[J]. 煤矿机械, 2009, 30(3): 59-60.

[12] 张会清, 石晓伟, 邓贵华, 等. 基于 BP 神经网络和泰勒级数的室内定位算法的研究[J]. 电子学报, 2012, 40(9): 1876-1879.

[13] 刘雪兰, 王宜怀, 陆全华, 等. 无线传感器网络 RSSI 定位算法改进[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(11): 87-89.

[14] 张苍松. 基于 RSSI 的室内定位算法优化技术[D]. 西安: 西北大学, 2014.

[15] 徐凤燕, 单杭冠, 王宗欣. 一种带参数估计的基于接收信号强度的室内定位算法[J]. 微波学报, 2008, 24(2): 67-72.