文章编号：1003－1251(2025)01－0039－05

# 基于混合滤波的RSSI无线网络测距算法

刘姝廷，张 贺，张媛媛，杨超前

（沈阳理工大学 信息科学与工程学院，沈阳 110159）

**摘 要**：针对基于ZigBee网络的节点接收信号强度指示(received signal strength indication，RSSI)在复杂环境测量会产生偏差的问题，提出一种基于混合滤波的无线网络测距算法。该方法在运用卡尔曼滤波的基础上融合了基于中值自适应加权高斯滤波的混合滤波，首先用卡尔曼滤波算法去除波动性较大的RSSI值，再利用中位值抗差性原理和自适应函数降低RSSI数据的波动。仿真实验结果表明，混合滤波无线网络测距算法能够较大程度减小异常值带来的波动，有效提高RSSI采样精度。

**关 键 词**：室内定位；ZigBee；混合滤波；接收信号强度指示

**中图分类号**：TP301.6 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.1003－1251.2025.01.006

## RSSI Wireless Network Ranging Algorithm Based on Hybrid Filtering

LIU Shuting，ZHANG He，ZHANG Yuanyuan，YANG Chaoqian

（Shenyang Ligong University，Shenyang 110159，China）

**Abstract**：For the bias of node received signal strength indication(RSSI) based on ZigBee network in complex environment，a wireless network ranging algorithm based on hybrid filtering is proposed. In this method，on the basis of the Kalman filtering，the hybrid filter based on the median adaptive weighted Gaussian filter is incorporated，and the Kalman filtering algorithm is used to remove the RSSI value with large volatility，and then the median value immunity principle and adaptive function are used to reduce the fluctuation of RSSI data. The simulation results show that the wireless network ranging algorithm based on hybrid filtering can greatly reduce the fluctuation caused by outliers and effectively improve the sampling accuracy of RSSI.

**Key words**：indoor positioning；ZigBee；hybrid filtering；received signal strength indication

随着探测技术的发展，许多场景提出了定位需求[1]，基于ZigBee和接收信号强度指示(received signal strength indication，RSSI)在室内定位领域的研究成为热点[2－3]。目前定位算法主要分成两种，一种是非测距，另外一种是测距。RSSI是测距的基本方法之一，其与距离之间存在一定的关系[4]，因其成本低，功耗小，在测距方法中广泛应用[5]，用来评估发射端和接收端之间信号连接是否稳定可靠。

针对因环境因素导致采集RSSI值波动较大的问题，已有很多学者提出了滤波算法用于提高采样精度。刘欢等[6]提出贝叶斯概率模型以提高RSSI测量精度。邱怡飞等[7]提出对RSSI进行预滤波，结合运动模型估计出轨迹信息，进行精确定位。邢倩等[8]将加权最小二乘估计(weighted least squares estimator，WLSE)与扩展卡尔曼滤波组合完成节点定位，进一步减小误差。朱明强等[9]提出了一种基于自适应比例修正无迹卡尔曼

**收稿日期**：2024－03－30

**基金项目**：辽宁省教育厅高等学校基本科研项目(LJKMZ20220611)；沈阳理工大学引进高层次人才科研支持计划项目(1010147001127)

**作者简介**：刘姝廷(1983—)，女，副教授，博士。

滤波的方法,将定位问题转化为非线性系统估计问题,从而提高滤波的稳定性。张永恒等[10]提出一种基于狄克逊检验法高斯均值中值加权混合滤波 RSSI 的高斯牛顿定位算法,有效削弱了异常值对滤波效果的不良影响。迟耀丹等[11]提出基于高斯滤波运动预测模型的改进 RSSI 测距算法,改善了测距精度。

本文选取定位精度及安全度较高、功耗及成本较低且组网实现方便的 ZigBee 定位技术[12],该技术建立了基于 RSSI 的测距模型,对待定位节点接收 RSSI 值进行滤波[13]。文中提出一种改进的滤波算法,该算法融合了卡尔曼滤波和基于中值自适应加权的高斯滤波,从而更有效地对 RSSI 值进行滤波处理。

## 1 测距模型

### 1.1 测距模型

无线信号传输受多因素干扰,信号强度与距离呈负相关。文中使用的信号模型是对数正态分布衰减模型,路径损耗模型计算表达式为

$$P(d) = P(d_0) - 10n\lg\frac{d}{d_0} + M \tag{1}$$

式中:$d$ 是节点间距离;$P(d)$是距离为 $d$ 时发射节点信号强度值;$d_0$ 是参考距离;$P(d_0)$是与发射节点距离为 $d_0$ 处的信号强度;$n$ 为信号衰减指数,由试验场地决定,一般取值范围为 2 ~ 4;$M$ 为遮蔽因子。

实际应用中,$P(d)$采用 RSSI 度量,设参考距离 $d_0 = 1$ m,$A$ 为距离发射节点 1 m 处的信号强度值,则式(1)简化为

$$d = 10^{\frac{A - R_{\mathrm{SSI}}}{10n}} \tag{2}$$

式中 $R_{\mathrm{SSI}}$为 $P(d)$值。

### 1.2 参数优化

测量现场为某会议室,测量数据样本形式为 $(RSSI_i, d_i)(i = 1, 2, \cdots, k)$,$k$ 为信号强度采样点数;$RSSI_i$ 为第 $i$ 个数据点的信号强度值;$d_i$ 为第 $i$ 个数据点的距离。测量现场如图 1 所示,图中 $S$、$A$、$B$ 为参考节点,$N$ 为盲节点,本文以 $S$、$N$ 两点间 RSSI 值为数据样本。采集过程如图 2 所示。

式(2)中 $A$、$n$ 的大小主要依赖于所处的环境,其确定了式(1)中接收与发射距离的关系。为了使参数 $A$ 和 $n$ 尽量接近实际环境下的传输特征,在保证 RSSI 测距精度的前提下,通过线性回归算法对参数进行优化,以获得最符合实际情况的参数。




**图 1 测量现场图**

**Fig. 1 Measurement site map**

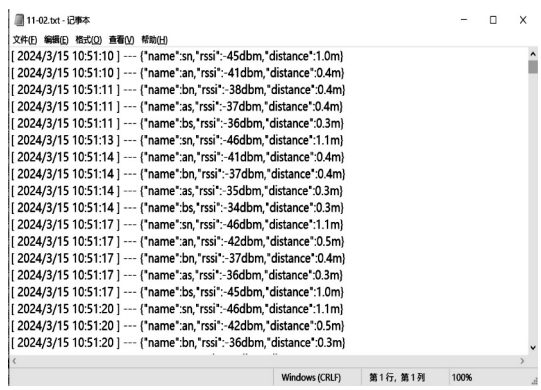



**图 2 采集过程**

**Fig. 2 Collection process**

参数优化计算表达式为[14]

$$\overline{RSSI} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} RSSI_i \tag{3}$$

$$\bar{q} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} q_i = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}(-10\lg d_i) \tag{4}$$

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{k}(q_i - \bar{q})RSSI_i}{\sum_{i=1}^{k}(q_i - \bar{q})^2} \tag{5}$$

$$A = \overline{RSSI} - n\bar{q} \tag{6}$$

式中:$\overline{RSSI}$为 $k$ 个 $RSSI_i$ 的均值;$\bar{q}$ 为 $k$ 个 $-10\lg d_i$ 的平均值。

经线性回归算法得到 $A = -46.16$,$n = 3.42$,拟合曲线如图 3 所示。

## 2 混合滤波算法

首先用卡尔曼滤波消除差异的 RSSI 值,然后结合高斯滤波用中位值的抗差性对不同类型的 RSSI 进行加权处理,以减少各类数据波动对整体

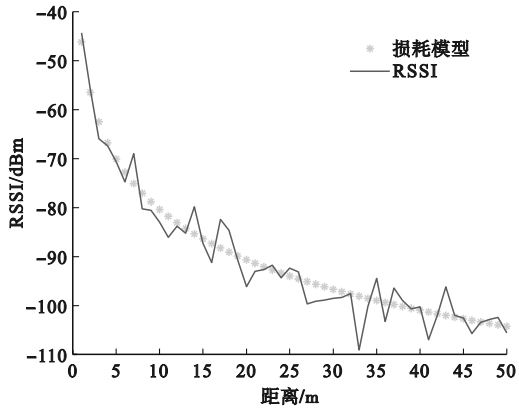



**图 3　拟合曲线**

**Fig. 3　Fitting curve**

数据的干扰,从而提高测距精度。算法实现过程如下。

对接收的 RSSI 经高斯滤波处理,将 RSSI 值顺序排列取中值,计算采集信号值与中值差的绝对值 $m$,表达式为

$$m = \mathrm{abs}(RSSIJ - MRSSI) \tag{7}$$

式中:$RSSIJ$ 为采集信号值;$MRSSI$ 为中值。

设定一个自适应函数,根据差值的大小为信号值赋予不同的权重 $weights$,表达式为

$$weights = \begin{cases} 0.6, & |m| \leqslant 0.05 \\ 0.3, & 0.05 < |m| \leqslant 0.2 \\ 0.1, & \text{其他} \end{cases} \tag{8}$$

对数据赋予不同的权重后,通过权重对采集到的信号值求加权平均值 $avg$,表达式为

$$avg = \frac{\sum_{i=1}^{v} RSSIJ(i) \times weights(i)}{\sum_{i=1}^{v} weights(i)} \tag{9}$$

式中:$RSSIJ(i)$ 为输入原始 RSSI 数据中的第 $i$ 个数据点;$weights(i)$ 为第 $i$ 个数据点的权重;$v$ 为信号采样点的个数。

将采集信号值与加权平均值的差取绝对值得

$$x(i) = \mathrm{abs}(RSSIJ(i) - avg) \tag{10}$$

式中 $x(i)$ 为第 $i$ 个数据点对应的差值。

利用差值对原数据进行缩放得出第 $i$ 个数据点的最终信号强度值 $FRSSI(i)$。

$$FRSSI(i) = \begin{cases} RSSIJ(i) - x(i) \times l, & RSSIJ(i) > avg \\ RSSIJ(i) + x(i) \times l, & RSSIJ(i) < avg \\ RSSIJ(i), & RSSIJ(i) = avg \end{cases} \tag{11}$$

式中 $l$ 值为缩放比例,取值范围为 0 ~ 1,经过实验对比,$l$ 值取 0.9。

## 3　算法仿真结果与分析

实验背景:本实验采用 CC2530 作通信模块[15],串口设置为 COM4。协调器放在工作台上与电脑 PC 端连接,盲节点放置在距离协调器 0.9 m处,采集数据进行仿真滤波测试。实验场地选取范围为 10 m × 10 m 会议室区域。ZigBee 组网方式从拓扑结构上为星型、树状以及网状三类。在无线传感器网络中,核心组件包括协调器节点、锚节点和盲节点。通信流程如下:盲节点向锚节点发送 RSSI 信号;锚节点接收并分析确认信号,获取对应的 RSSI 值;锚节点将接收到的盲节点信息和 RSSI 值传送给协调器节点;协调器节点通过串口将数据发送至连接的 PC 端进行处理和分析。

为检验改进算法的效果,根据式(2)建立对数 - 正态分布模型,$A$ 取值为 - 46.16,$n$ 取值为 3.42,利用 Matlab 仿真软件对几种方法处理后的采集值与预期理想值进行比较,结果如图 4 ~ 6 所示。

由图 4 可以看出,经过卡尔曼滤波后 RSSI 值波动相对稳定,但离理论值仍有一定偏差,极差为 3.05 dBm。

由图 5 可以看出,高斯滤波有效降低干扰,滤波后的 RSSI 值与理论值仍有一定偏差,极差为 3.96 dBm。

根据公式(2)的理论值,在距离为 0.9 m 时测得的 RSSI 值约为 - 47 dBm。通过观察图 6 可以发现,经过混合滤波处理后,大多数的 RSSI 值与公式(2)的理论值十分接近。混合滤波后数据极差为 0.60 dBm。

由图 4 ~ 6 可以看出,经过混合滤波之后的 RSSI 值比单独卡尔曼滤波和单独高斯滤波处理的 RSSI 值波动幅度更小,滤波效果更显著。

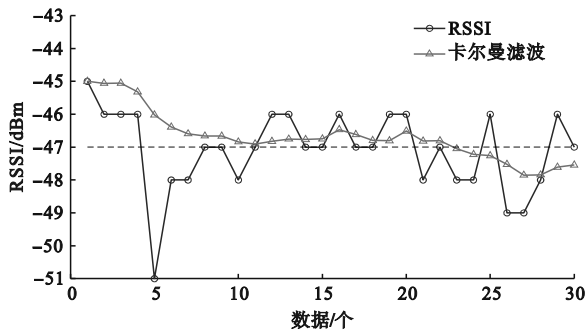



**图 4　卡尔曼滤波**

**Fig. 4　Kalman filter**

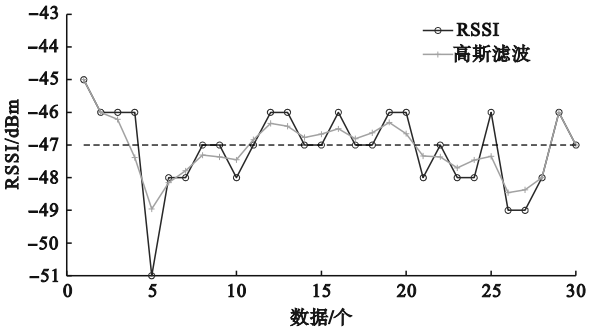



图 5 高斯滤波

Fig. 5 Gaussian filter

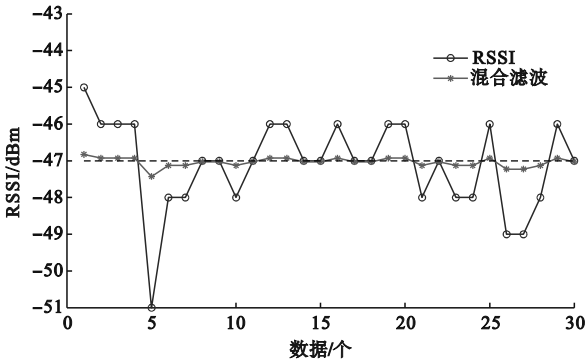



图 6 混合滤波

Fig. 6 Hybrid filter

图 7 为滤波结果对比图($d$ = 1.2 m),从图 7 可以看出,当距离为 1.2 m 时,结合了多种滤波方法的曲线表现更佳。依据公式(2),在 1.2 m 的距离下 RSSI 值约为 −49 dBm。使用混合滤波处理后,所得到的 RSSI 数值大都接近理论值,经过卡尔曼滤波、高斯滤波和混合滤波处理后的极差分别为 2.05、5.40 和 0.70 dBm。

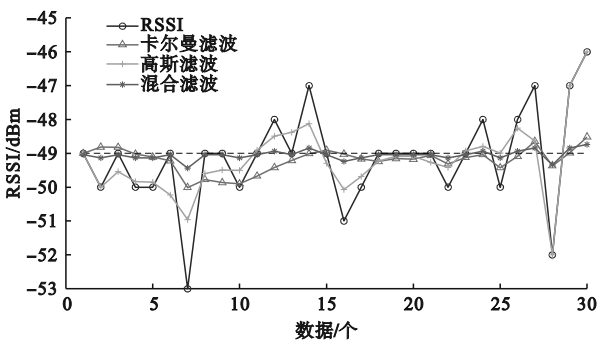



图 7 滤波结果对比图($d$ = 1.2 m)

Fig. 7 Comparison of filtering results($d$ = 1.2 m)

图 8 为滤波结果对比图($d$ = 1.5 m),从图 8 可以看出,当距离为 1.5 m 时,结合了多种滤波方法的曲线表现更佳。依据公式(2),在 1.5 m 的距离下,RSSI 值约为 −52 dBm。使用混合滤波处理后,所得到的 RSSI 数值大都接近理论值,经过卡尔曼滤波、高斯滤波和混合滤波处理后的极差分别为 1.92、4.89 和 0.60 dBm。

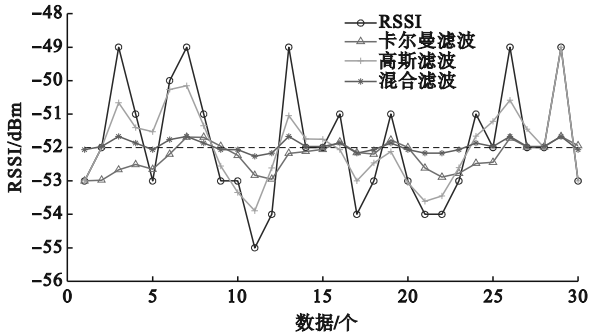



图 8 滤波结果对比图($d$ = 1.5 m)

Fig. 8 Comparison of filtering results($d$ = 1.5 m)

图 9 为滤波结果对比图($d$ = 1.8 m),从图 9 可以看出,当距离为 1.8 m 时,结合了多种滤波方法的曲线表现更佳。依据公式(2),在 1.8 m 的距离下,RSSI 值约为 −55 dBm。使用混合滤波处理后,所得到的 RSSI 数值大都接近理论值。具体表现为,经过卡尔曼滤波、高斯滤波和混合滤波处理后的极差分别为 2.49、6.00 和 0.80 dBm。

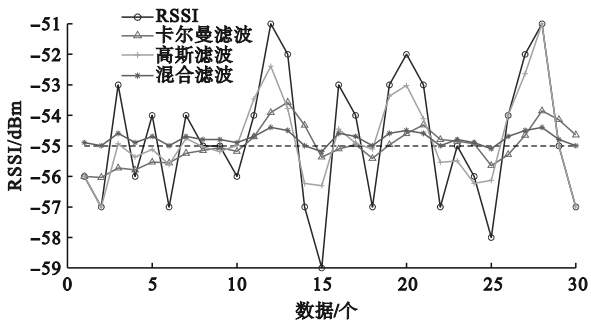



图 9 滤波结果对比图($d$ = 1.8 m)

Fig. 9 Comparison of filtering results($d$ = 1.8 m)

在实验场地,锚节点接收到盲节点信息之后,提取并分析其中的 RSSI 数据。为减少信号噪声的影响,对接收到的 30 次 RSSI 数值进行滤波处理,将处理后的结果作为最终的 RSSI 数据发送给协调器。对至发射节点不同距离处采集的 RSSI 信号值分别进行处理,完成对比实验。

通过仿真实验验证,混合滤波方法能够有效地剔除与真实数值偏差较大的数据,提高数据准确性。此外,随着节点距离的增加,数据的波动情况并没有明显增加,说明混合滤波对不同距离下的数据都具有稳定的效果。取样值为 30 个时,传统单一卡尔曼滤波和高斯滤波算法的波动较大,而混合滤波算法表现出的波动在 0.2 ~ 0.5 dBm

之间,波动较小,更接近理想值。

## 4　结论

本文提出了基于混合滤波的 RSSI 无线网络测距算法用于对节点所接收的 RSSI 值进行优化处理。分别用卡尔曼滤波、高斯滤波和混合滤波对 RSSI 采样值进行滤波处理,减少了在测距阶段产生的偏差对测距精度的影响。实验结果表明,相同条件下,混合滤波算法的滤波效果远高于单一的卡尔曼滤波算法或单一的高斯滤波算法,为准确实现定位提供了基础。

**参考文献(References):**


[1] MADURANGA M W P, TILWARI V, ABEYSEKERA R. Improved-RSSI-based indoor localization by using pseudo-linear solution with machine learning algorithms[J]. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 2024, 11(1): 10.

[2] TANG H L, XUE F, LIU T, et al. Indoor positioning algorithm fusing multi-source information[J]. Wireless Personal Communications, 2019, 109(4): 2541 – 2560.

[3] 魏璁琪. 基于 WSN + UWB 的室内人员定位系统设计[J]. 无线互联科技, 2024, 21(1): 27 – 30.
WEI C Q. Design of indoor personnel positioning system based on WSN and UWB[J]. Wireless Internet Science and Technology, 2024, 21(1): 27 – 30. (in Chinese)

[4] DU J Z, YUAN C, YUE M, et al. A novel localization algorithm based on RSSI and multilateration for indoor environments[J]. Electronics, 2022, 11(2): 289.

[5] MOZUMDER S A, SHARIFUZZAMAN SAGAR A S M. IRHA: an intelligent RSSI based home automation system[M]. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022.

[6] 刘欢, 黄丽, 杨晓, 等. 一种贝叶斯优化 RSSI 和 ILS 的室内定位算法[J]. 中国科技论文, 2015, 10(20): 2377 – 2381.
LIU H, HUANG L, YANG X, et al. Indoor localization algorithm via RSSI optimized Bayesian probability model and iterative least squares positioning[J]. China Sciencepaper, 2015, 10(20): 2377 – 2381. (in Chinese)

[7] 邱怡飞, 吕鹏, 刘晓凯, 等. 基于 RSSI 的预滤波定位算法研究[J]. 无线电工程, 2021, 51(5): 367 – 372.
QIU Y F, LV P, LIU X K, et al. Research on prefilter location algorithm based on RSSI[J]. Radio Engineering, 2021, 51(5): 367 – 372. (in Chinese)

[8] 邢倩, 郝鹏, 刘维亭, 等. 基于 WLSE-KF 的传感器融合定位算法研究[J]. 电子器件, 2014, 37(6): 1199 – 1203.
XING Q, HAO P, LIU W T, et al. WLSE-KF-Based multi-Sensor integration location algorithm[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2014, 37(6): 1199 – 1203. (in Chinese)

[9] 朱明强, 侯建军, 刘颖, 等. 基于自适应比例修正无迹卡尔曼滤波的目标定位估计算法[J]. 兵工学报, 2013, 34(5): 561 – 566.
ZHU M Q, HOU J J, LIU Y, et al. Target locating estimation algorithm based on adaptive scaled Unscented Kalman Filter[J]. Acta Armamentarii, 2013, 34(5): 561 – 566. (in Chinese)

[10] 张永恒, 陈红华, 郭语, 等. DGMM 加权混合滤波 RSSI 室内定位算法[J]. 导航定位学报, 2022, 10(3): 25 – 30.
ZHANG Y H, CHEN H H, GUO Y, et al. Indoor positioning algorithm based on weighted mixed DGMM filtering RSSI[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2022, 10(3): 25 – 30. (in Chinese)

[11] 迟耀丹, 赵慧强, 陈伟利, 等. 基于高斯滤波运动预测模型改进 RSSI 测距算法研究[J]. 电子质量, 2022(3): 133 – 135.
CHI Y D, ZHAO H Q, CHEN W L, et al. Research on improved RSSI positioning and ranging algorithm based on Gaussian Filtering motion prediction model[J]. Electronics Quality, 2022(3): 133 – 135. (in Chinese)

[12] 朱艳生, 彭洪, 高勇, 等. 基于 ZigBee 实验的分步教学方法的研究[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(1): 119 – 122.
ZHU Y S, PENG H, GAO Y, et al. Research on step-by-step teaching method based on ZigBee experiment[J]. Journal of Electrical and Electronic Education, 2023, 45(1): 119 – 122. (in Chinese)

[13] 李世宝, 丛玉杰. 基于 RSSI 参数动态修正的 ZigBee 室内定位算法[J]. 计算机与现代化, 2024(1): 35 – 40.
LI S B, CONG Y J. ZigBee indoor location algorithm based on dynamic modification of RSSI parameters[J]. Computer and Modernization, 2024(1): 35 – 40. (in Chinese)

[14] 张静, 叶小芹. RSSI 信号的滤波分析及仿真[J]. 电子设计工程, 2017, 25(2): 45 – 48.
ZHANG J, YE X Q. RSSI signal filtering analysis and simulation[J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(2): 45 – 48. (in Chinese)

[15] 倪晓军, 高雁, 李凌锋. 基于 RSSI 的混合滤波算法[J]. 计算机科学, 2019, 46(8): 133 – 137.
NI X J, GAO Y, LI L F. Hybrid filtering algorithm based on RSSI[J]. Computer Science, 2019, 46(8): 133 – 137. (in Chinese)


(责任编辑:和晓军)