

基于 RSSI 测距的 WiFi 室内定位算法研究

罗宇锋, 王鹏飞, 陈彦峰

(河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003)

摘要:考虑 AP(接入点)部署高度对定位精度的影响,提出了一种消除高度影响的加权质心定位算法。首先对采集的 RSSI(接收信号强度指示)进行高斯拟合和 Kalman 滤波,根据室内信号传播模型得出终端与 AP 的距离;然后用几何方法对垂直距离做了消除,得出 AP 和终端的平面距离;最后用消除高度影响的加权质心定位算法计算位置。对于多层建筑物,还提出了一种楼层识别方法,结合二维平面定位构成近三维室内定位算法。在实验楼内用以上方法进行楼层识别,识别率可达 100%。在大型教室进行定位实验,结果表明:改进后的算法相比传统定位算法在精度和稳定性上都有一定的提高。

关键词:接收的信号强度指示;无线访问接入点;室内定位;高度

中图分类号:TP393 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2017)10-0028-05

Research on WiFi Indoor Positioning Algorithm Based on RSSI Ranging

LUO Yu-feng, WANG Peng-fei, CHEN Yan-feng

(School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: A weighted centroid positioning algorithm to eliminate the influence of altitude is proposed considering the influence of AP(access point) deployment height on positioning accuracy. Firstly, the RSSI signal is collected and processed by Gaussian fitting and Kalman filtering, and the distance between the terminal and the AP is obtained according to the indoor signal propagation model. Then, the vertical distance is eliminated by the geometric method, and the plane distance between the AP and the terminal is obtained. Finally, the position coordinate is calculated by the weighted centroid positioning algorithm to eliminate the influence of altitude. For a multi-storey building, a floor recognition method is proposed, which combines the 2D planar positioning to construct a near-3D indoor positioning algorithm. In the laboratory building, the floor is recognised with the above methods and the recognition rate is 100%. In the large-scale classroom for positioning experiments, the results show that the improved algorithm has a certain increase on the accuracy and stability compared with the traditional positioning algorithm.

Key words: RSSI; AP; indoor positioning; altitude

近年来,各类室内定位技术解决方案层出不穷。常见的定位技术有蓝牙、超声波、WiFi、ZigBee、RFID、超宽带等^[1],其中超宽带技术已经实现厘米级别的定位,且具有较强的抗干扰能力,但是由于成本太高,只能用于一些专用的领域。随着 IEEE802.11 技术的成熟,WiFi 在世界各地普及,接入点(AP, access point)定

期发送的 WiFi 信号中所含的接收信号强度(RSSI, received signal strength)信息为移动定位提供了可能,将其应用于室内定位受到了学术界和产业界的极大关注^[2-3]。

目前,WiFi 室内定位方法主要有基于信号接收强度指示(RSSI, received signal strength indication)、到达角度(AOA, arrive of arrival)、到达时间(TOA, time of arrival)、到达时间差(TDOA, time difference of arrival)等^[4-7]。其中基于 RSSI 的定位方法具有低成本、低功耗、无需额外硬件开销等特点。基于 RSSI 的定位有测距和非测距两种。位置指纹识别是典型的非测距定位方法,该方法在离线阶段需要耗费大量的人力物力来建立指纹数据库,工作量巨大,其应用局限性较大。基

收稿日期:2017-01-11

项目基金:河南理工大学博士基金(72515/168)

作者简介:罗宇锋(1964—),女,博士,副教授,主要研究领域为无线网络传感器、智能控制;王鹏飞(1993—),男,硕士研究生,主要研究方向为无线网络传感器、MEMS 惯性器件应用、数据处理。

于测距的定位方法较为简单,其本质都是对距离方程进行求解,主要方法有质心估计算法、极大似然估计法和最小二乘法等^[2]。

为了减少障碍物的遮挡和阻隔造成 AP 的信号传输发生折射和衍射使得 WiFi 信号强度减弱,AP 一般部署在建筑物顶部或高于地面摆放物的地方。显而易见的是,智能终端(后文简称终端)和 AP 通常不处于一个平面,终端距 AP 有一定的垂直距离,在大型车站或者厂房时,此距离更为显著。目前基于 RSSI 测距的定位算法都是基于二维平面的,忽略了 AP 部署高度对定位精度的影响。而当 AP 部署距离地面较高时,此高度已成为影响定位精度的重要因素^[8-9]。有学者提出基于传播模型的三维定位技术^[10],以避免此高度对最终定位精度的影响,但需要有距离最近的 4 个处于同一平面的 AP,实用性不强。为消除 AP 高度对定位精度的影响,提出了对高度进行几何消除的思想。首先采用高斯拟合和卡尔曼滤波剔除 RSSI 值中差异较大的数据^[11-12];然后采用对数正态阴影模型对 RSSI 值进行计算得出相应的距离 d ,对所得出的距离 d 进行高度消除,使得加权质心算法中的加权因子更为准确,降低定位误差;对于多层建筑物定位,考虑到楼层间隔对 AP 信号阻挡以致其信号强度衰减极大,提出了一种楼层识别方法。最后通过设计的 WiFi 定位实验以验证算法的正确性和优越性。

1 RSSI 测距模型

在自由空间中,信号强度与传播距离的平方线性负相关。令 $P_r(d)$ 表示终端在距离信号源距离为 d 的位置接收到的信号强度,则它们之间的关系可以用 Friis 公式来表示:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (1)$$

式中, P_t 为发射功率; λ 为电波的波长; G_t 和 G_r 分别为天线在发送和接收信号时的增益。

实际环境中,信号的反射、衍射和遮蔽等现象通常会对终端采集到的信号强度产生干扰,无线电传播路径损耗与理论值相比有些变化。用式(2)所述的对数正态阴影模型(log-normal shadowing)则更为合理

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\eta \log(d/d_0) + X_\sigma \quad (2)$$

式中, d 为 AP 和终端之间的距离; d_0 为参考距离; η 为路径损耗因子,一般取 2~4; X_σ 为均值为零、方差为 σ 的高斯随机噪声,标准差范围为 4~10; $PL(d_0)$ 是终端距离 AP 距离为 d_0 处接收到的信号强度,一般 d_0 取 1; $PL(d)$ 是终端在距离 AP 距离为 d 处接收到的信号强度。 $PL(d_0)$ 可以从硬件规范定义中得出或通过实际测量得出。

将式(2)进行转换可得到

$$d = 10^{\frac{PL(d_0) - PL(d) + X_\sigma}{10\eta}} \quad (3)$$

由式(3)可以看出, $PL(d_0)$ 、 $PL(d)$ 、 η 以及高斯噪声 X_σ 共同决定了距离 d ,测距误差便是从这其中产生。实际应用时会提前测量 $PL(d_0)$ 的值,设备在相距 1 m 时不易受到环境因素干扰,其值较为准确;路径损耗因子 η 可以通过事先测量一些值进行模型参数估计,同一环境下取值固定;高斯噪声 X_σ 对 RSSI 的影响较小,一般将其忽略。所以误差的主要来源是 $PL(d)$,即所测量到了 RSSI 值。故应对 RSSI 信号进行优化处理。

2 RSSI 信号处理

实际环境中,RSSI 值存在奇异值且波动较强。为提高测距精度,对于 RSSI 值存在奇异值的特点,可以先利用高斯函数拟合对 RSSI 值进行拟合,快速筛选出高频段的 RSSI。对于波动性,可以用 Kalman 滤波对 RSSI 进行去噪处理,保证输出曲线的平滑特性。

2.1 高斯拟合

在接收到的 RSSI 数据中,某些数值必然为小概率值;而大部分的数值是在合理区间内波动,这些数据便是和真实值相近的数据。通过对 RSSI 数据做高斯拟合,可以找出高频出现的 RSSI 值,滤除零散的错误值。

拟合函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

其中

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RSSI_i \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RSSI_i - \mu)^2} \quad (6)$$

首先将 RSSI 值代入拟合函数以保留大概率数据,然后对所保留的数据取均值,所得值即为确定的 RSSI 值。由于拟合函数的非线性特征,计算量较大、抗干扰能力差,处理大量数据时间长,为快速筛选数据,采用了近高斯拟合的方法。即利用源数据的均值作为基准并设定标准差进行数据筛选,公式如下:

$$|RSSI_i - \mu| < k\sigma \quad (7)$$

式中, μ 为均值; σ 为设定的标准差; k 为筛选区间内的 RSSI 值的个数,可根据数据保留的百分比 P 确定。

其中

$$P = \frac{k}{N} \times 100\% \quad (8)$$

式中, N 为读取的总次数。

若 P 过小,有可能破坏数据的真实性,这就需要增大 k 值以增大筛选区间,提高 RSSI 数据保留的比

例,在保证数据真实的基础上,快速有效的剔除错误数据。数据筛选只是剔除了小概率数据,并不能消除数据波动。为了实现 RSSI 数据的平滑输出,可以采用 Kalman 滤波。

2.2 Kalman 滤波

Kalman 滤波算法可以利用动态数据,获取平滑的数值输出,可以将 Kalman 滤波用于使 RSSI 平滑输出。Kalman 滤波算法分为预测阶段和修正阶段。

① 预测阶段:

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{X}}_{(t|t-1)} = \mathbf{F}\hat{\mathbf{X}}_{(t-1|t-1)} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{(t-1)} \\ \mathbf{P}_{(t|t-1)} = \mathbf{F}\mathbf{P}_{(t-1)}\mathbf{F}^T + \mathbf{Q} \end{cases} \quad (9)$$

② 修正阶段:

$$\begin{cases} \mathbf{K}_t = \mathbf{P}_{(t|t-1)}\mathbf{H}^T(\mathbf{H}\mathbf{P}_{(t|t-1)}\mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \\ \hat{\mathbf{X}}_t = \hat{\mathbf{X}}_{(t|t-1)} + \mathbf{K}_t(\mathbf{Z}_t - \mathbf{H}\hat{\mathbf{X}}_{(t|t-1)}) \\ \mathbf{P}_t = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_t\mathbf{H})\mathbf{P}_{(t|t-1)} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $\hat{\mathbf{X}}_{(t|t-1)}$ 为 t 时刻 RSSI 的状态预测值; $\hat{\mathbf{X}}_{(t-1|t-1)}$ 为 $(t-1)$ 时刻 RSSI 的状态估计值; \mathbf{F} 为 $(t-1)$ 时刻到当前 t 时刻的状态转移矩阵; \mathbf{B} 为控制矩阵; $\mathbf{u}_{(t-1)}$ 为控制量; $\mathbf{P}_{(t-1)}$ 为 $(t-1)$ 时刻对 t 时刻预测误差估计的协方差矩阵; \mathbf{Q} 为状态转移协方差矩阵; \mathbf{Z}_t 为 t 时刻的预测估计值; \mathbf{K}_t 为卡尔曼增益矩阵; \mathbf{H} 为预测矩阵; \mathbf{P}_t 为修正后的协方差矩阵。

将近高斯拟合的快速筛选方法和卡尔曼滤波进行结合,实现对信号的快速优化处理,处理后的 RSSI 数据更接近真实值且具有输出平滑等优越性。

3 定位算法

对 RSSI 信号进行处理后,按式(3)即可得出较为准确的距离值。此时,选择合适的定位算法即可得出终端所在位置。实际应用环境中,虽然经处理的 RSSI 数据变得平滑,但也存在一定的随机分量,无法精确计算终端所在位置。这里,采用质心法进行最终位置估计。首先,定义 3 个集合:

① AP 集合: $\text{AP_set} = \{AP_1, AP_2, \dots, AP_k\}$;

② 终端到 AP 距离集合: $\text{Distance_set} = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ 其中 $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_k$;

③ AP 位置集合: $\text{Position_set} = \{(x_2, y_2, h_2, F_2) \dots (x_1, y_1, h_1, F_1), (x_k, y_k, h_k, F_k)\}$ 。

其中 $h_1 \sim h_k$ 为 k 个 AP 距地面距离,即 AP 高度; $F_1 \sim F_k$ 为楼层信息,其值可能相等,此时,代表 AP 处于同一楼层。以上 3 个集合一一对应,存在映射关系。

3.1 传统加权质心算法

如图 1, O 为终端真实位置, A, B, C 分别为与之相近的 3 个 AP。根据 RSSI 值易得 $OA = d_1, OB = d_2$,再由 A, B 的位置可得三角形 O_1AB 和三角形 O'_1AB 。加

上 $OC = d_3$ 和 C 点的位置即可确定终端的近似位置 $O_1(x_1, y_1)$ 。同理,可得终端近似位置 $O_2(x_2, y_2)$ 和 $O_3(x_3, y_3)$ 。取这 3 个点的质心,可以得到 O 点的近似位置。

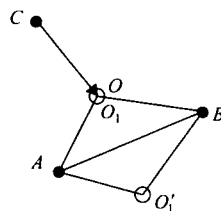


图1 质心定位算法

通过对无线路径损耗模型的分析,发现利用普通质心定位方法时,没有充分利用终端在定位阶段所获得的所有信息,没有反映出 AP 对终端位置的影响力,影响了定位精度。为提升定位精度,一般采用加权质心算法,其基本思想是在质心定位计算过程中,通过加权因子来体现 AP 对终端坐标决定权的大小,利用加权因子体现 AP 对终端位置的影响大小,反映它们之间的内在联系。通过式(11)和式(12)中的加权因子可以体现这种内在联系。

$$x_i = \frac{\frac{x_1}{d_1 + d_2} + \frac{x_2}{d_2 + d_3} + \frac{x_3}{d_3 + d_1}}{\frac{1}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2 + d_3} + \frac{1}{d_3 + d_1}} \quad (11)$$

$$y_i = \frac{\frac{y_1}{d_1 + d_2} + \frac{y_2}{d_2 + d_3} + \frac{y_3}{d_3 + d_1}}{\frac{1}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2 + d_3} + \frac{1}{d_3 + d_1}} \quad (12)$$

式中, d_1, d_2, d_3 为终端获得的到 3 个相近 AP 的近似距离(图 1), $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 为质心定位方法计算出的 3 个终端的近似位置。因子 $\frac{1}{d_1 + d_2}, \frac{1}{d_2 + d_3}, \frac{1}{d_3 + d_1}$ 体现了距离终端越近的 AP 对其位置坐标的影响力的大小。通过这种内在关系的反映以提高定位精度。

3.2 消除高度影响的加权质心算法

由于终端与 AP 存在垂直距离,为了消除这个距离的影响,本文提出了一种消除高度影响的加权质心算法。如图 2 所示: A, B, C 分别为 AP 所在位置; AP 距地面高度分别为 h_1, h_2, h_3 ; 在终端 O 点所在平面投影点为 a, b, c ; 终端距地面高度为 h_0 ; d_1, d_2, d_3 为终端获得的到 3 个相近 AP 的近似距离。为了消除高度影响,这里采用勾股定理求出终端所在平面的真实距离。

$$\begin{aligned} d'_1 &= \sqrt{d_1^2 - (h_1 - h_0)^2}; d'_2 = \sqrt{d_2^2 - (h_2 - h_0)^2}; \\ d'_3 &= \sqrt{d_3^2 - (h_3 - h_0)^2} \end{aligned} \quad (13)$$

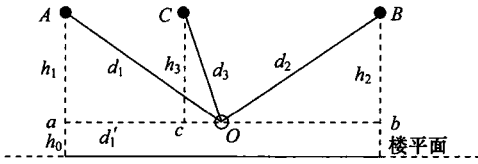


图2 几何消除高度示意图

得出终端所在平面的 d'_1, d'_2, d'_3 之后,采用 3.1 节所述的加权质心算法计算终端所在的近似位置。

3.3 楼层识别方法

在研究 WiFi 信号的室内传播特性时,发现一些容易被忽略但是很有用的特点。一个重要的现象是,当信号穿过楼层之间的地板时,信号强度会出现一个较大的突变(如图 3 所示)前 40 个数据点为处在院实验楼三楼某 AP 下测得,后 40 个数据点为二楼正下方测得。因为楼层之间一般是采用钢筋混凝土材料所制,加之为使建筑物美观,通常会有装修的木板或者石膏板,以上两种材料对 AP 信号传播有了个极大的阻挡,使得信号强度发生突变。根据这个特点,得出楼层识别方法:

① AP 位置坐标在传统二维坐标 (x, y) 的前提下,加入楼层信息 F 表示近似三维坐标,于是 AP 的坐标变为 (x, y, F) ;

② 当终端处于某一楼层时,对所扫描出的所有 AP 的 RSSI 进行排序,找到距离终端距离最近的 AP (x, y, F) (假设此 AP 的 RSSI 值最大);

③ 因此此 AP 的 RSSI 值最大,因此终端可以认为自己与此 AP 位于同一层,即 F 层。

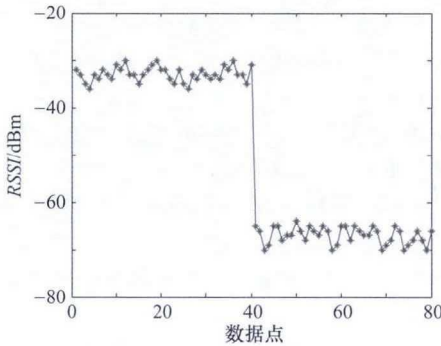


图3 信号突变特性

3.4 近三维室内定位算法

对于多层建筑物,融合 3.2 ~ 3.3 节,提出了一种近三维室内定位算法,所谓近三维,即第三维信息并不是精确的坐标表示,而只是一个楼层信息。具体算法步骤如下:

① 无线终端扫描 AP 得到各 AP 的 RSSI 值和其对应的位置信息 (x, y, h, F) 。

② 对扫描所得的 RSSI 值进行高斯拟合和 Kalman 滤波处理,以达到剔除误差数据和平滑 RSSI 数据曲线

的目的,为下一步的精确定位奠定基础。

③ 对扫描到的所有 AP 依其 RSSI 值从大到小排序,取出 RSSI 值最大的 AP,根据 AP_set 到 Position_set 的映射信息即可实施楼层识别方法,识别出楼层信息。

④ 将所有和终端同一楼层的 AP 依其 RSSI 值排序,并取出 RSSI 值最大的前 3 个 AP,根据 AP_set 到 Position_set 的映射和 AP_set 到 Distance_set 的映射得出 Distance_set 到 Position_set 的映射,即 d_1, d_2, d_3 所对应的 AP 位置 $(x_1, y_1, h_1, F_n), (x_2, y_2, h_2, F_n), (x_3, y_3, h_3, F_n)$ 。

⑤ 根据 3.2 中消除高度影响计算出平面距离 d'_1, d'_2, d'_3 。

⑥ 对所得到的 d'_1, d'_2, d'_3 和 AP 所处的平面位置 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$,实施加 3.1 所述权重质心定位算法,从而得出终端的近三维坐标 (x, y, F) 。

具体算法流程如图 4 所示。

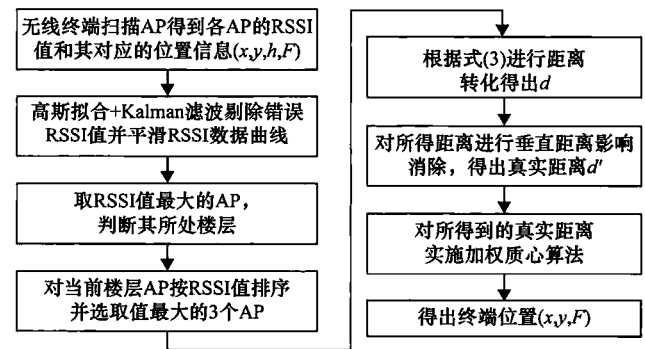


图4 近三维算法流程

4 实验设计与结果分析

为了验证所提算法的性能,设计了 RSSI 测距定位实验。

4.1 实验环境

实验环境为学院楼内的大型教室,如图 5 所示。会议室为长方形 $(16.25 \text{ m} \times 12.50 \text{ m})$,内部部署有 4 个 H3C 吸顶式 AP,AP 距离地面均为 4.25 m ,终端采用华为荣耀 V8,距离地面 1.25 m 。将房间左下角定位原点,易得出 4 个 AP 的位置坐标。实验测距采用伟创手持测距仪,精度为 $\pm 1 \text{ cm}$,可以 40 m 内精准测距,因此测量出坐标值在实验中作为真值使用。

在室内随机选择 10 个分散的点,每个点分别随机测量 30 个 RSSI 数据,对 RSSI 数据进行处理后进行信号强度衰减模型反演计算,令 $d_0 = 1$;用最小二乘法估计出本实验场的无线信号传播衰减模型参数:路径损耗因子 $\eta = 2.638$; $PL(d_0) = 28.926 \text{ dBm}$;由于室内布置较为简单,高斯随机噪声 X_e 忽略不计。

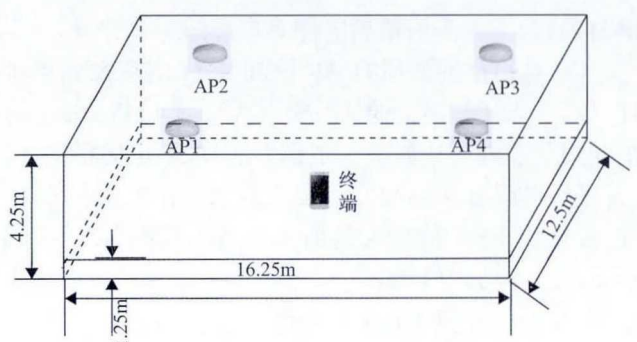


图5 实验环境三维示意

4.2 实验与结果分析

对于楼层识别方法,用智能手机接收附近 AP 信号强度,将以上方法用于楼层识别,在学院楼随机选择 50 个点,无一例外都能够准确地识别出所在楼层。究其原因,学院楼内 AP 布置较为密集,布局简单;且楼层、天花板、地板三者对不同楼层的 AP 信号阻碍很大。

在以上所述的实验环境下,随机选取 20 个参考点,参考点坐标精确已知。在每个参考点上进行多次测量 RSSI,用高斯拟合函数并进行 Kalman 滤波,处理后得到的数据对比图如图 6 所示。

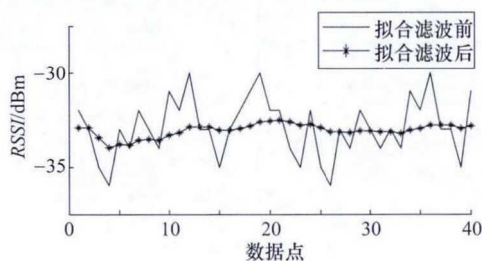


图6 拟合滤波前后对比

从图 6 可以看出经过高斯函数拟合和 Kalman 滤波后的 RSSI 值输出平滑,为下一步计算定位精度的提高奠定了基础。

对以上所述的 20 个参考点,对处理后的数据分别用传统加权质心定位算法和消除高度影响的加权质心算法进行定位计算。以 $e = \sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2}$ 作为点位误差衡量标准,其中 (x, y) 为终端所在的估计坐标, (X, Y) 为终端所在真实坐标。结果如表 1 所示。

表1 算法定位误差对比 单位:m

算法	最大	最小	平均	标准差
传统加权质心	3.453	0.796	2.154	0.876
本文算法	2.862	0.585	1.589	0.714

由表 1 可以看出,改进后的算法相比传统的加权质心算法定位误差有了明显的减小,平均误差已经达到 2 m 以下。标准差也相对减小,这说明定位算法有了一定的提升。

5 结束语

针对传统 WiFi 定位算法只考虑到二维平面定位,没有考虑到 AP 部署高度对定位精度的影响,提出了一种消除高度影响的定位算法。并提出了一种楼层识别的方法,结合以上改进的二维算法实现了近三维定位。实验结果表明,楼层识别方法准确率高,消除高度影响的算法较传统定位算法有较大的优越性。

参考文献:

- [1] 彭宇,王丹. 无线传感器网络定位技术综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(5): 389-399.
- [2] 杨波波,张磊. 基于 WiFi 的室内迭代定位算法的研究[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(4): 262-264.
- [3] Liu H B, Gan Y, Yang J, et al. Push the limit of WiFi based localization for smartphones [C]//Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. 2012:305-316.
- [4] Ciurana M, Cugno S, Barceló-Arroyo F. WLAN indoor positioning based on TOA with two reference points [C]//2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. 2007.
- [5] Wong C M. Evaluating measurement-based AOA indoor location using WLAN infrastructure [C]//Proceedings of International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. 2007.
- [6] Yamasaki R, Ogino A, Tamaki T, et al. TDOA location system for IEEE 802. 11b WLAN [C]//Wireless Communications and Networking Conference. 2005:2338-2343.
- [7] Kim A S, Hwang J, Park J. Enhanced indoor positioning algorithm using WLAN RSSI measurements considering the relative position information of AP configuration [J]. Journal of Institute of Control, 2013, 19(2): 146-151.
- [8] 赵培,李凯,张需涛,等. 室内无线通信技术原理与工程实践[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2015.
- [9] 王忠明. 基于 WLAN 的候机厅室内定位技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2014.
- [10] 朱明辉,张会清. 基于 RSSI 的室内测距模型的研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(8): 19-22.
- [11] 杨立身,魏兰,贺军义. 基于 WiFi 的四边测距修正加权质心定位算法[J]. 测控技术, 2016, 35(3): 152-156.
- [12] 袁波,谭彬,胡运全. 基于 Kalman 滤波的无线传感网络的定位修正算法[J]. 测控技术, 2016, 35(8): 89-93.



微信: cekongjishu



微博: 中国测控技术网