

# 基于 WiFi 的室内迭代定位算法的研究

杨波波 张磊

(河北工业大学控制科学与工程学院 天津 300130)

**摘要** 复杂多变的室内环境引起的电波信号多径传播、非视距传播等问题是影响室内定位精度的主要因素。现有的室内定位算法为了提高定位精度均需要大量的先验信息或额外的硬件投入。针对以上问题,提出一种基于 WiFi 信号接收强度的迭代定位算法,通过引入定位评价函数,采用迭代算法选取一组最优的路径损耗指数来改善定位精度。现场实验结果表明,该算法能够在无需定位环境的先验信息和额外的硬件投入情况下,获得较高的定位精度。

**关键词** WiFi RSSI 迭代定位

中图分类号 TP393.1

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2016.04.061

## ON INDOOR ITERATIVE POSITIONING ALGORITHM BASED ON WiFi

Yang Bobo Zhang Lei

(School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

**Abstract** The problems of multipath propagation and non line-of-sight propagation of radio signals caused by the complex indoor environment are the main factors affecting indoor positioning accuracy. Existing indoor positioning algorithms all require a large amount of priori information or additional hardware investment to improve the positioning accuracy. In order to solve the problem above, this paper proposes an indoor iterative positioning algorithm which is based on WiFi signal reception strength. By introducing positioning evaluation function, it employs iterative algorithm to select a set of optimal path loss exponent to improve the positioning accuracy. On-site experimental results show that the algorithm can obtain higher positioning accuracy without priori information of positioning environment or additional hardware investment.

**Keywords** WiFi RSSI Iterative positioning

## 0 引言

自从全球定位系统 GPS 问世以来,无线定位技术一直不断的发展壮大。我国自主研发的北斗卫星导航系统已经于 2012 年底正式提供区域服务,向亚太大部分地区提供连续无源定位、导航、授时等服务。然而,无论是我国的北斗定位系统还是 GPS 卫星定位系统,其定位精确度一直不能让人满意,十几米甚至几十米的定位误差在室外环境下尚可接受,但是这不能满足室内更高精度的定位服务要求。

目前室内定位技术已在众多领域得到了应用,例如仓库物品管理、医疗救助、室内机器人移动定位等<sup>[1]</sup>。室内定位技术需求的持续增长,促进了超宽带定位技术、红外定位技术、超声波定位技术、Zigbee 定位技术、WiFi 定位技术的发展<sup>[2]</sup>。考虑到硬件成本和定位精度的双重限制,以上定位技术中只有 WiFi 定位已经拥有较大的网络覆盖范围,并且具备低成本和低功耗等优点<sup>[3]</sup>。另外根据工信部统计数据显示,2014 年 1 月底中国移动通信用户达 12.35 亿。其中 4.19 亿为 3G 用户,8.38 亿为移动互联网接入用户。伴随着智能手机和平板电脑的普及,无线 WiFi 热点得到了广泛布设,在商场、写字楼等建筑内已有大量的 WiFi 节点。所以 WiFi 定位相对于其他定位技术具有无可

比拟的优势。

目前,典型的 WiFi 室内定位方法主要是基于信号接收强度(RSSI),而基于到达角度(AOA)、到达时间(TOA)、到达时间差(TDOA)的定位方法均需额外的设备投入,并不适合工程应用。然而基于 RSSI 的定位极易受到干扰,导致定位结果的异常,为了解决这一问题,众多研究者提出了多种改进的算法和策略。

基于 RSSI 的定位又分为非测距和测距两种。指纹匹配定位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,工作量十分巨大。另外定位环境发生变化则需要重新进行建立指纹数据库,如果指纹数据库过大则又会降低检索速度,所以指纹匹配定位应用局限性较大。基于测距的定位方法较为简单,本质都是对距离方程进行求解,文献[4-6]中分别用区域质心估计算法、极大似然估计法和最小二乘法三种定位算法来求解定位。文献[7]给出了以上三种定位求解算法的性能分析。文献[8]中通过修正室内环境下的路径损耗指数,采用二次定位法取得了较好的定位效果。本文在已有算法的基础上提出一种基于 WiFi 信号接收强度(RSSI)的迭代定位算法,通过引入定位评价函数,采用迭代算法获取一

收稿日期:2014-08-31。河北省高等学校科学技术研究指导项目(Z2012135)。杨波波,硕士生,主研领域:物联网,计算机控制与应用。张磊,教授。

组最优的路径损耗指数来改善存在非视距误差时的定位精度。该算法不需要定位环境的先验信息和额外的硬件投入,并通过现场实验验证了该算法的有效性。

## 1 RSSI 信号传播模型

无线电通信,其电波信号在介质中传输时,电波信号的强度值(RSSI)与发射端和接收端的距离有关系,并且随着距离的增大呈现对数衰减趋势<sup>[9]</sup>。RSSI 与发射端和接收端之间距离的关系如下:

$$R = R_0 - 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

其中,  $R$  是接收端在距离  $d$  处获取到的无线 AP 节点的信号强度,单位是 dB;  $R_0$  是常值,其大小取决于在参考距离  $d_0$  处,测量得到的无线 AP 点的信号强度;  $d_0$  为参考距离,一般选取为 1 米;  $\gamma$  是路径损耗指数;  $X_\sigma$  是一个随机数,主要受信噪比和阴影的影响<sup>[10]</sup>。在式(1)中,路径损耗指数的不确定性使得获取精确的距离非常困难。路径损耗指数与周围环境密切相关,人的走动、室内物品的移动都会影响到路径损耗指数。不同定位环境下的路径损耗指数的取值如表 1<sup>[11]</sup>所示。

表 1 路径损耗指数表

定位环境	路径损耗指数 $\gamma$
闹市区	3.7 ~ 6.5
办公室	2 ~ 6
自由空间	2
户外	2.8

## 2 迭代定位算法

文献[7]给出了区域质心估计算法、极大似然估计法和最小二乘法三种求解定位算法的性能分析。其中区域质心估计算法定位效果较差,极大似然估计法定位效果较好但是该算法计算量太大,因此本文选取最小二乘法利用经过卡尔曼滤波后的数据进行求解定位。

假设定位环境中部署  $n$  个无线 AP 点,其坐标集合为  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ , 接收端坐标为  $(x, y)$ , 接收端测量得到各无线 AP 点 WiFi 信号强度 RSSI 集合为  $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ 。根据式(1)中 RSSI 信号传播模型可以计算得到接收端的距离集合为  $\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ , 由此可以建立接收端与 AP 之间的距离方程:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中可化简为如下格式:

$$AX = B \quad (3)$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_2) & 2(y_3 - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_{n-1}) & 2(y_n - y_{n-1}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 - (x_1^2 + y_1^2) + (x_2^2 + y_2^2) \\ d_2^2 - d_3^2 - (x_2^2 + y_2^2) + (x_3^2 + y_3^2) \\ \vdots \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 - (x_{n-1}^2 + y_{n-1}^2) + (x_n^2 + y_n^2) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(3)中方程组的误差向量为  $\varepsilon = AX - B$ 。令  $F = \|\varepsilon\|^2 = \varepsilon^T \varepsilon = (AX - B)^T (AX - B)$ , 对于方程组  $AX = B$ , 仅当误差向量  $\varepsilon$  最小时, 方程组存在最优解, 所以上述问题变为求解方程式  $F$  取最小值时对应的向量  $X$ , 对方程式  $F$ , 按  $X$  求导并令其等于零得到下式:

$$\frac{dF(X)}{dX} = 2A^T AX - 2A^T B = 0 \quad (7)$$

可解得  $X = (A^T A)^{-1} A^T B$ 。

由于定位环境的先验信息未知且易受人员走动、物品移动等影响, 下面将通过路径损耗指数  $\gamma$  进行赋值迭代, 选取最优的路径损耗指数  $\gamma$ 。主要过程如下:

1) 由表 1 可知一般环境下路径损耗指数  $\gamma$  的值介于 2 ~ 6.5 之间, 令  $\gamma_{1\_min} = \gamma_{2\_min} = \dots = \gamma_{n\_min} = \gamma_{min} = 2$ ,  $\gamma_{1\_max} = \gamma_{2\_max} = \dots = \gamma_{n\_max} = \gamma_{max} = 6.5$ ,  $s_1 = s_2 = \dots = s_n = (\gamma_{max} - \gamma_{min})/\eta$ , 上式中  $\eta$  为正整数,  $k$  为迭代次数, 初始时令  $k = 0$ , 同时令寻优位  $j = 1$ 。

2) 根据  $k$  值不同采取不同的策略。当  $k = 0$  时, 令  $\gamma_m^k = \bar{\gamma}_m^k (m = 1, 2, \dots, j-1)$ , 其中,  $\bar{\gamma}_m^k$  为第  $m$  位已经寻优的值, 同时令  $\gamma_{j+1}^k = \gamma_{j+2}^k = \dots = \gamma_n^k = \frac{(\gamma_{min} + \gamma_{max})}{2}$ 。当  $k > 0$  时令  $\gamma_m^k = \bar{\gamma}_m^k (m = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, n)$ 。

3)  $\gamma_j^k$  分别  $\alpha, \alpha + s, \alpha + 2s, \dots, \alpha + \eta s$  即  $\gamma_j^k(t) = \alpha + ts$ ,  $t = 0, 1, 2, \dots, \eta$ 。

4) 根据  $\gamma_j^k$  值获取距离集合, 利用式(3)计算出坐标值, 将该坐标值代入定位评价公式:

$$J(\gamma_j^k) = \sum_{i=1}^n \left| \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - d_i \right| \quad (8)$$

5) 选取  $J(\gamma_j^k)$  最小时对应的  $\gamma_j^k$ , 此时便得到第  $j$  位的当前寻优值  $\bar{\gamma}_j^k$ 。利用已经获取的最优的路径损耗指数对  $\gamma_{j+1}^k$  进行寻优。若  $j = n$ , 完成粗略寻优, 否则令  $j = j + 1$ , 重复 2) 步 - 5) 步。

6) 令  $k = k + 1$ ,  $j = 1$ ,  $\gamma_{j\_min}^k = \max(2, \bar{\gamma}_j^{k-1} - s)$ ,  $\gamma_{j\_max}^k = \min(\bar{\gamma}_j^{k-1} + s, 6.5)$ , 重新设定  $s_j$ , 令  $s_j = (\gamma_{j\_max}^k - \gamma_{j\_min}^k)/\eta$ , 重复 2) 步 - 6) 步。当  $s_j$  中的最大值小于设定的阈值时停止迭代, 完成寻优。

7) 将以上过程中最终获取的一组最优的路径损耗指数代入距离传输模型中, 然后利用最小二乘法进行系统最终定位。

考虑到算法计算量的问题, 路径损耗指数的初始值划分不宜过细, 即  $\eta$  的取值不宜过大。

## 3 实验结果与分析

为了验证迭代定位算法的在室内环境下的定位性能, 本文选取了合适的软硬件平台进行现场实验测试。在长 12.50 米宽 7.00 米的会议室内部署 4 个已知位置的无线 AP 节点, 如图 1 所示。以 AP1 所在位置为原点建立直角坐标系, 4 个无线 AP 节点的坐标分别为 AP1(0, 0), AP2(8.00, 0), AP3(8.00, 6.00),

AP4(0,6.00),并选取了16个测量点,每个点都用高精度激光测距仪测量其实际位置,编号为1~16。实验时 $d_0 = 1.00$ 米, $\eta = 5$ , $R_0$ 是在 $d_0$ 处测量500次信号强度的平均值,实验测得 $R_0 = -20$  dB。停止迭代的阈值设置为0.10。经过遍历,当 $\gamma = 3.60$ 时16个定位点的定位误差之和最小,所以非迭代定位算法中固定的路径损耗指数 $\gamma = 3.60$ 。

在图1所示的环境下,按照上述参数进行现场实验,将定位终端分别移动到16个已知位置的定位点,每个定位点测量四个无线WiFi节点的信号强度20次。对采样数据进行卡尔曼滤波后进行定位,实验结果如图2所示。

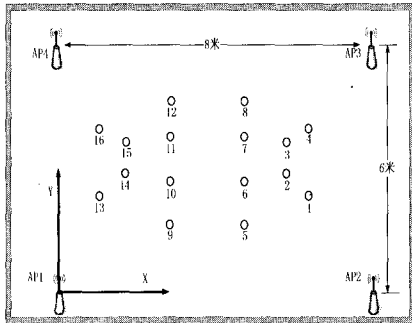


图1 AP与测试点布局图

由图2可知迭代定位算法优于非迭代算法,其定位误差低于1.50米的点超过了90%,最大定位误差2.00米,最小定位误差0.24米,平均误差0.97米,非迭代定位算法的平均误差为1.52米。

为了验证算法的鲁棒性,模拟无线AP节点出现故障或是遮挡等引起的信号强度下降的情况,将读取到的无线节点API的信号强度减少10 dB,实验结果如图3所示。

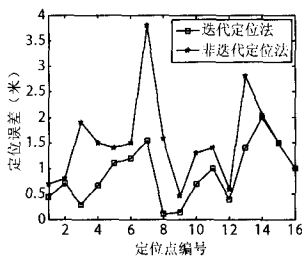


图2 16个定位点  
与对应定位误差

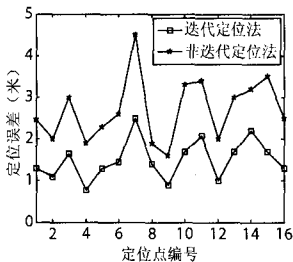


图3 对AP1进行遮挡  
后鲁棒性验证实验结果

由图3可知迭代定位算法的鲁棒性明显优于非迭代算法,其定位平均误差为1.60米,定位平均误差相对于图2中的结果增大了0.63米,而非迭代定位算法定位平均误差已到达2.69米,定位平均误差增大了1.17米。

## 4 结 语

基于WiFi的迭代算法,相对于传统的定位算法不需要定位环境的先验信息和额外的硬件投入,而是通过引入路径损耗指数的更新迭代,使其接近于定位环境的真实值。现场实验结果表明,该迭代定位算法的定位精度和鲁棒性均优于传统的最小二乘法,能够比较好地应用于室内环境的定位,实现了在没有额外的硬件投入下,获得较好的定位效果,具有非常高的实用价值。但是由于迭代过程的存在,算法计算量较大,相对于非迭代算法在计算过程中开销较大。

## 参 考 文 献

- [1] Jose M Alonso, Manuel Ocana, Noelia Hernandez, et al. Enhanced WiFi localization system based on Soft Computing techniques to deal with small-scale variations in wireless sensors[J]. Applied Soft Computing, 2011(11):4677-4691.
- [2] Mu Zhou, Zengshan Tian, Kunjie Xu, et al. SCanME: Location tracking system in large-scale campus WiFi environment using unlabeled mobility map[J]. Expert Systems with Applications, 2014(41):3429-3443.
- [3] 谢代军. 无线局域网室内定位技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学信息工程学院, 2013.
- [4] Yuanchen Zhu, Steven J Gortler, Dylan Thurston. Sensor network localization using sensor perturbation[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2011, 7(4):1-23.
- [5] Gracioli G, Fröhlich A A. Evaluation of an RSSI-based Location Algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Latin America Transactions, 2011, 9(1):830-835.
- [6] Zhang Rongbiao, Guo Jianguang, Chu Fuhuan, et al. Environmental-adaptive indoor radio path loss model for wireless sensor networks localization[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2011, 65(12):1023-1031.
- [7] 董莹莹. WiFi网络下的三维空间定位技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学信息与通信工程学院, 2012.
- [8] 潘立波. 基于WiFi技术的无线定位算法研究与实现[D]. 浙江: 浙江大学电子与通信工程学院, 2013.
- [9] Anvar Narzullaev, Yongwan Park, Kookyeol Yoo, et al. A fast and accurate calibration algorithm for real-time locating systems based on the received signal strength indication[J]. International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), 2011(65):305-311.
- [10] 张兴. WLAN室内定位信号特征提取算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 2013.
- [11] Zhi Ren, Guangyu Wang, Qianbin Chen, et al. Modelling and simulation of Rayleigh fading, path loss, and shadowing fading for wireless mobile networks[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2011(19):626-637.

## (上接第257页)

- [11] Verikas A, Gelzinis A, Bacauskiene M. Mining data with random forests: A survey and results of new tests[J]. Pattern Recognition, 2011, 44(2):330-349.
- [12] Chen C, Liaw A, Breiman L. Using random forest to learn imbalanced data[R]. University of California, Berkeley, 2004.
- [13] Joshi M V. On evaluating performance of classifiers for rare classes[C]//Data Mining, 2002. ICDM 2003. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on. IEEE, 2002:641-644.
- [14] 倪俊, 顾海峰, 张杏梅, 等. 乳腺癌常用诊断方法的ROC曲线分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2012, 19(13):1025-1028.
- [15] 宋丽. 基于决策树的组合分类器的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [16] Breiman L. Bagging predictors[J]. Machine learning, 1996, 24(2):123-140.
- [17] Breiman L. Random forests[J]. Machine learning, 2001, 45(1):5-32.