复杂室内环境下的WiFi定位技术研究

陆 音 缪辉辉
(南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室 南京 210003)

摘 要 在复杂的室内WLAN环境下,利用改进的MK模型和加权K最近邻法对定位性能进行了改进。首先介绍了室内传播模型及改进的MK模型;然后介绍了位置指纹定位方法及两种定位算法的基本原理,根据实测数据,分析了以上方法的定位效果以及误差来源;最后提出了MK模型和加权K最近邻法相结合的混合定位法,并对算法进行了仿真和分析。仿真结果表明,所提算法提高了算法精确度,减小了定位误差。

关键词 无线局域网,室内定位,MK模型,K最近邻法,混合定位
中图法分类号 TP393.1 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.11.029

Study on WiFi Location Technology under Complex Indoor Environment

LU Yin MIAO Hui-hui
(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract Under the complex indoor wireless local area networks(WLAN) environment, the improved motley keenan (MK) model and the weighted K nearest neighbors(WKNN) positioning methods are used to improve the performance of location. Firstly, the indoor propagation models and the improved MK model are introduced. Then, the fingerprint positioning methods and the basic theories of those two positioning algorithms are illustrated. According to the experimental data, the positioning performance and error sources of those methods are analyzed. Finally, the combined hybrid positioning method between MK model and WKNN was proposed, and the simulation and analysis were made. Simulation results show that the proposed algorithm improves the accuracy and reduces the positioning error.

Keywords Wireless local area networks, Indoor positioning, Motley Keenan model, Weighted K nearest neighbors, Hybrid positioning

随着无线通信技术的发展,基于位置服务的需求备受关注。目前应用最广泛的定位服务系统是全球定位系统(Global Positioning System,GPS),但在室内环境下,因为非视距传播的问题,GPS定位性能较差;而传感定位系统又需要专门的设备和网络支持,代价昂贵。因此,利用普遍铺设的WLAN网络来实现定位服务便成了更好的选择[1]。

国内已有WiFi定位系统的应用,其定位原理为:将WiFi定位标签安装在要跟踪的目标物体上,定位标签周期性地发出无线信号,接入点(Access Point,AP)接收到信号后,将信号传送到定位引擎,定位引擎根据收到的无线信号的强弱,计算判断出该标签所处位置,通过可视化界面,显示其具体位置,实现实时精确定位跟踪与管理[2]。

基于WiFi的室内定位方法主要有两种:传播模型法和位置指纹法[3]。典型的室内传播模型有4种,最基本的是线性距离路径损耗模型,经过改善后出现了对数距离路径损耗模型、衰减因子模型和MK模型。基于传播模型的定位算法很多,其中最基本的定位算法有三边定位法、双曲线定位法、最小二乘法[4]。目前位置指纹定位算法主要有最近邻法(NN)、K最近邻法(KNN)、加权K最近邻法(WKNN)、贝叶斯概率算法与神经网络算法[3]。

室内定位的主要误差来自于接收端和发射端之间信号的无线传播环境,其次是由室内定位系统引入的误差。前者包括多径传播(Multi-path Propagation)、非视距传播(Non-Line-of-Sight Propagation)和电子设备信号干扰以及接收端定位时的位置引起的信号接收误差,其中以NLOS引起的误差最为严重,但可以通过定位算法来减小误差;后者主要受接收端和发射端的硬件稳定性和差异性的误差影响[4]。

不同的室内环境有不同的结构和分布,因此在室内环境下进行定位时,必须要考虑上述影响因素,以便满足不同环境的需求[4]。

本文第1节介绍传统的MK模型和改进的MK模型;第2节介绍最近邻算法和加权K最近邻算法;第3节阐述改进MK模型和加权K最近邻算法相结合的混合算法;第4节是算法仿真和结果分析;最后总结全文。

1 改进的MK传播模型

1.1 MK模型

MK模型是对对数距离路径损耗模型的一个综合改进,这类模型主要对阻挡信号传播的障碍物进行处理[5],把信号衰减值在模型中用WAF(Wall Attenuation Factor)或是FAF

到稿日期:2015-11-27 返修日期:2016-03-13 本文受国家自然科学基金项目(61271236),江苏政府留学奖学金资助。
陆 音(1970—),男,博士,副研究员,主要研究方向为无线通信,E-mail:luyin@njupt.edu.cn;缪辉辉(1991—),男,硕士生,主要研究方向为无线通信。

(Floor Attenuation Factor)项进行修正。

MK模型在对数距离路径损耗模型的基础上加入了墙壁和地板引起的信号衰减，公式如下[4]：

$$L(d)=L+10n\log(d)+N_wL_w+N_fL_f \tag{1}$$

其中，L 表示距离发射端1m处的传播损耗；n 是路径损耗系数；d 是发射端到接收端的距离；N_w 和 N_f 分别表示从发射机到接收机穿过的墙和地板的个数；L_w 和 L_f 分别表示墙壁和地板的损耗系数。

以上模型属于室内传播模型中的统计模型，它是基于数学模型和统计模型通过测量数据而总结出来的。相对于确定性模型，其运算速度快、输入简单，不需要预处理和简化，不需要昂贵的设备[4]。

1.2 改进的MK模型

在复杂的办公环境里，办公室会被隔成一间间小的办公区域，这时障碍物就不仅仅是墙壁和地板，还会出现玻璃、木门、隔板等其他障碍物，这些障碍物对WiFi信号的影响比较大，此时使用MK模型就不再准确。因此本文提出以下公式：

$$L(d)=L+10\gamma\log(x)+\sum_{i=1}^{n}M_jN_iL_i \tag{2}$$

与式(1)略有不同的是，M_j 代表第 j 种障碍物，N_i 表示穿过第 i 种障碍物的个数，L_i 表示穿过第 i 种障碍物的衰减系数。

式(2)中的模型参数可以通过最小二乘法(Least Squares，LS)或者最大似然法(Maximum Likelihood，ML)来估算。

2 基于最近邻算法的位置指纹定位技术

2.1 定位基本阶段

位置指纹是指指定位置与某个可测量物理刺激(本文中WiFi接收的信号强度指示，RSSI)之间的关系。

基于位置指纹的定位方法一般分为离线训练阶段和在线定位阶段[1]。

(1)离线训练阶段的主要任务是建立一个位置指纹数据库。在定位区域合理规划好一系列的测试参考点，在每个参考点收集多个AP的足够数量的信号强度样本，经过筛选加工(一般使用取均值的方法)作为该参考点AP的信号特征参数，并记录在位置指纹数据库中，该数据库也被称为位置指纹地图。

(2)在线定位阶段是利用移动站(Mobile Station，MS)测得在某一位置处的信号特征参数，通过相应的匹配算法，根据实测数据与位置指纹数据库中的数据进行比较，获得一个或一组RSSI和位置信息数据，从而完成定位。匹配算法中最近邻法(Nearest Neighbor，NN)最为简单，K最近邻法(K Nearest Neighbor，KNN)由于算法简单且计算精度较高而得到广泛应用。

2.2 最近邻算法和K最近邻算法

最近邻算法是一种确定性算法，根据相同类别的向量彼此之间相似度最高的理论，通过计算接收信号强度与一组包含接收信号强度及位置信息的样本库之间的相似度，来评估该接收信号强度可能的位置[6]。该算法在数据库中搜索与实际获得的信号信息最匹配的信息点，即与测量信号接收强度信息距离最近的数据点，取该点位置为位置估计值。

信息点之间的距离一般用欧几里得距离来表示[7,8]：

$$L=\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}|s-s_i|^2\right)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

其中，s 表示测得的信号信息，s_i 表示指纹数据库中的信号特征参数。

K最近邻算法是选取 K 个距离最近点，取它们的位置平均值作为位置估计值。加权K最近邻算法是通过对 K 个距离最近点的坐标值乘以一个权值进行相加作为位置估计值，公式如下[7]：

$$(\hat{x},\hat{y})=\frac{\sum_{i=1}^{K}\frac{1}{w_i}(x_i,y_i)}{\sum_{i=1}^{K}\frac{1}{w_i}} \tag{4}$$

3 改进的MK模型和加权K最近邻算法相结合的混合算法

由于室内环境十分复杂，单独使用MK模型受环境和人工测量的影响特别大，会在很大程度上影响定位精度。而使用加权K最近邻算法则需要先建立位置指纹数据库，然后再将测得的RSSI值代入式(4)中一个个求出估算位置。这种算法工作量大，计算复杂，不适用于即时精确定位。

本文提出了一种改进的MK模型和K近邻算法相结合的混合算法，具体为：1)将位置指纹数据库中的所有RSSI值代入到改进的MK模型公式中，求出与AP的距离，然后与各自相对应的位置求距离差，得到距离误差平均值；2)将测得的一组RSSI值分别代入改进的MK模型公式中，求得各个测量点到指定AP之间的距离 L；3)将 L 与近邻点进行比较，如果误差大于平均值则舍弃，如果都不符合则取误差最小的；4)求出该近邻点对应的位置；5)将合格的各个近邻点 L 的倒数作为权值，代入式(4)中对应的 w_i 求得最终估计的位置。

4 定位仿真实验

4.1 实验环境

本实验是在一间面积约为 $240m^2$ 的办公室内完成的。信号发射端和接收端之间的障碍物主要分为3种：房间隔板、办公桌隔板、过道隔板。MS是一台小米2手机，使用自编的基于Android平台的WiFi RSSI测量软件。采样时手持手机站在采样点半分钟以上，获取3个AP的RSSI样本集(至少20个采样点)并存储在文件中，然后使用Matlab对文件中的数据进行进一步处理。3个AP点的位置分别为：AP1(6,2)，AP2(5,9)，AP3(10.5,1)。59个采样点的分布位置如图1所示。

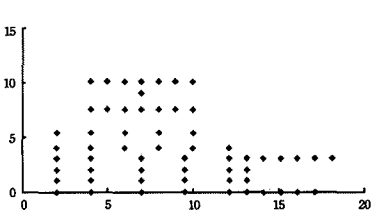

图1 参考点位置分布图

4.2 仿真性能分析

4.2.1 改进的MK模型

图2所示是仿真获得的AP1的RSSI分布图。

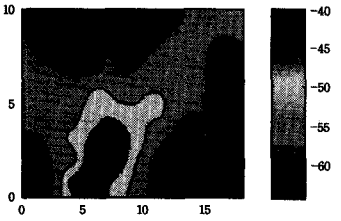

图 2　AP1 的 RSSI 分布图

图 2 中横坐标表示实验所在水平位置的距离，纵坐标表示竖直距离。由上到下表示 RSSI 值的不断增大。仿真结果显示，AP1 所在位置大约为(6.9,2.5)，与实际位置有一定的误差，主要原因为：1)采样是通过测试者手持手机进行的，人体本身对 RSSI 影响较大，手机的位置和方向也有一定影响；2)采样点和采样次数不够多，而且样本处理的方法原本就有一定的误差；3)室内环境十分复杂，AP 周围有一些障碍物；4)处理得到的 RSSI 值去最值取平均值的方法原本就有一定的误差存在，而验证使用的 RSSI 值并没有经过去最值取平均值方法处理。

由于障碍物主要有 3 种，因此改进的 MK 模型公式如下：

$$L(d)=L+10\gamma\log(x)+NW+\sum_{i=1}^{n}k_i l+MG \tag{5}$$

其中，N 和 M 分别表示从 AP 到 MS 穿过的墙和隔板的个数，W 和 G 分别表示墙和隔板损耗系数，l 表示办公桌上挡板的损耗系数，k_i 表示 AP 和 MS 之间的挡板个数。

仿真结果显示：W 值为 -1.7688，G 值为 -1.1435，l 值为 -0.7069，AP1 的 L 值为 -37.3264，AP1 的 γ 值为 -1.8966。将样本集中采样点的 RSSI 值代入式(5)，算出的位置信息与样本集中采样点的位置信息之间的平均误差为 0.7318m。利用该模型进行定位，性能较高，但由于需要先建立位置指纹数据库，采集各采样点与 AP 之间各种障碍物数目，然后计算出每个 AP 在式(2)中各参数的值，再使用定位算法进行定位，因此算法繁琐且计算量大，对环境依赖性较高，时效性不高，不适合快速精确定位的要求。

4.2.2　改进 MK 模型和加权 K 最近邻算法相结合的混合算法

本文对基于改进 MK 模型和加权 K 最近邻算法相结合的混合算法进行了仿真。实际测量了 5 个测试点，利用式(3)求出估计位置，误差如图 3 所示。

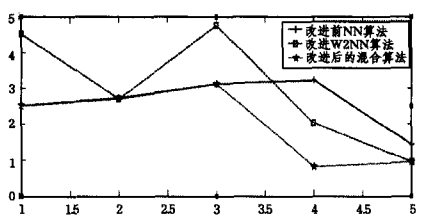

图 3　算法改进前后误差对比

受环境的影响，距离较远的两个采样点可能信号强度相差不大，导致被误认为是测试点的近邻点。由图 3 可以看出，某些测试点的最近邻点或者第二近邻点存在较大的误差，导致定位效果不太理想，所以过滤掉这些对定位性能造成较大影响的近邻点很有必要。改进后的算法较好地解决了这个问题，使得定位精度得到了明显改善。改进 MK 模型混合加权 2 最近邻算法的平均定位误差为 2.02m，而改进 MK 模型混合加权 3 最近邻算法的平均定位误差为 2.06m，可见改进 2 最近邻算法与改进 3 最近邻算法相比并没有明显的改善。为了计算的简单，可以使用改进 2 最近邻算法代替 K 最近邻算法。该算法只需计算出一个 AP 信号的 MK 模型，并且可以过滤掉误差较大的近邻点，在简化算法的同时提高了算法的精确度，减小了定位误差。

结束语　为了改善复杂室内环境下的 WiFi 定位性能，本文在最近邻算法的基础上采取了传播模型和位置指纹相结合的算法，增加了采样点的筛选，并且使用权值改善了定位性能。本文重点介绍了改进的 MK 模型算法和最近邻算法，总结了常见室内定位算法的性能，并将这两种算法相结合提出了改进的算法，简化了算法并提高了定位性能。仿真结果表明，经过 MK 模型算法筛选的采样点使用 2 最近邻算法能够简化算法，并且使定位性能得到了明显改善。

参 考 文 献

[1] Tang Li, Xu Yu-bing, Zhou Mu, et al. Research on K Nearest Neighbors Algorithm under the Indoor WLAN[J]. Computer Science, 2009, 36(4B): 52-54(in Chinese)
汤丽，徐玉滨，周牧，等. 基于 K 近邻算法的 WLAN 室内定位技术研究[J]. 计算机科学，2009，36(4B)：52-54

[2] Zhang Li. Design and Implementation of Positioning System Based on WiFi Technology[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009(in Chinese)
张利. 基于 WiFi 技术的定位系统的设计与实现[D]. 北京：北京邮电大学，2009

[3] Wei Lei. Study on WIFI Fingerprint Location Techniques and Design of Location Simulator[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010(in Chinese)
魏雷. WIFI 位置指纹定位技术研究及仿真器设计[D]. 成都：西南交通大学，2010

[4] Jiang Li. Research on the Key Technology of Indoor Location Based on WiFi[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010(in Chinese)
姜莉. 基于 WIFI 室内定位关键技术的研究[D]. 大连：大连理工大学，2010

[5] Sun Zhen. Research and Implementation of Indoor WLAN Location System Based on Prediction[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010(in Chinese)
孙振. 基于预测的室内 WLAN 定位系统的研究与实现[D]. 大连：大连理工大学，2010

[6] Hao Hui-juan. Development of Key Technology in Fingerprint-Based Mobile Positioning [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013(in Chinese)
郝会娟. 基于指纹的移动定位关键技术及其应用[D]. 北京：北京邮电大学，2013

[7] Wang Sai-wei. Research on Fingerprint Based WLAN Indoor Location Method [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009(in Chinese)
王赛伟. 基于位置指纹的 WIFI 室内定位方法研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2009

[8] Xu Feng-yan. Research on Indoor wireless Location Algorithm [D]. Shanghai: Fudan University, 2008(in Chinese)
徐凤燕. 室内无线定位算法研究[D]. 上海：复旦大学，2008