

文章编号: 2095-2163(2020)01-0113-05

中图分类号: TP393.0

文献标志码: A

基于 WLAN 的室内指纹定位研究

孔 靓, 贾美娟, 李 梓

(大庆师范学院 计算机科学与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 现有的定位方法主要分为2类。一类是利用蓝牙、ZigBee超宽带(UWB)、WLAN、RFID、无线信号等实现室内定位,另一类是利用惯性传感器进行定位。基于WLAN的室内指纹定位方法可以充分利用现有的基础设施,节省硬件成本,受到研究者的关注。本文介绍和分析了基于WLAN的指纹定位技术的研究现状,指出了现有的研究不足和未来的研究前景,并对现有的研究成果进行了较为详细的探讨及论述。

关键词: 位置感知; 指纹; 室内; 定位; WLAN

Research of WLAN-based indoor fingerprinting localization

KONG Liang, JIA Meijuan, LI Zi

(College of Computer Science and Information Technology, Daqing Normal University, Daqing Heilongjiang 163712, China)

[Abstract] The existing positioning methods are mainly divided into two categories. One is using Bluetooth, ZigBee Ultra-WideBand (UWB), WLAN, RFID, wireless signals and so on to realize indoor positioning, and the other one is using inertial sensor for positioning. WLAN-based indoor fingerprinting positioning method gets the attention of the researchers because it can make use of existing infrastructure to save the cost of hardware. This paper introduces and analyzes the present situation of the research on WLAN-based fingerprinting location, points out the existing research shortcomings and future research prospects. Based on this, the paper also provides a more detailed comparison for the achievement in scientific research.

[Key words] location-aware; fingerprint; indoor; localization; WLAN

0 引言

位置感知是无线网络最重要的服务之一。由于室内环境的复杂性, GPS信号会被直线视距阻断,精度将迅速降低,甚至有时无法进行有效定位。随着对精确定位的需求快速增长,近年来研究机构及国内外研究人员开发了许多新技术。现有的定位方法主要分为2类。一类是利用蓝牙、ZigBee超宽带(UWB)、WLAN、RFID、无线信号等实现室内定位,另一类是利用惯性传感器进行定位。其中,利用无线信号定位则有2种算法。一种是估计距离,如到达时间(TOA)、到达时差(TDOA)、到达角(AOA)或接收信号强度指示器(RSSI);另一种是利用位置指纹进行定位。

分析可知,通过RSS测得的距离高度依赖于环境,但室内环境较为杂,信号衰减模型无法充分反映由反射、折射和散射引起的信号衰减的情况,其结果精度将较为有限。基于测量的方法可以获得较高的定位精度,但通常需要额外的设备来精确测量时间差,从而增加了实施成本。

1 研究现状及分析

无线信号取决于传播环境。在不同的位置,通道的多径特性是不同的。在无线信号传播过程中,信号整合了反射、折射、散射等情况后,产生唯一的、与传播环境相关的信号,即将这种多径特性称为位置指纹^[1]。位置指纹通常可用于相应位置识别。通常,会将信号强度指示器(RSS)作为位置指纹特征。传统指纹定位分为2个阶段,也就是:指纹数据库生成的离线阶段和定位的在线阶段。整个过程如图1所示。

研究中,在离线阶段,在室内区域按照均匀间距设置采样点,每个采样点对应的WiFi信息包括接入点的MAC地址及其对应的RSS值。每个WiFi信息及其对应的位置由一个位置指纹组成,所有位置指纹组成一个室内区域的指纹数据库,也称为指纹地图。进入在线阶段后,当用户发送位置请求时,将用户的当前指纹信息与指纹地图中的指纹信息进行比较。地图中最接近用户当前指纹信息的位置被认为是用户的当前位置,即实现定位。

基金项目: 大庆师范学院科学研究基金资助项目(19ZR10)。

作者简介: 孔 靓(1977-),女,硕士,副教授,主要研究方向:计算机网络、信息安全;贾美娟(1976-),女,博士,副教授,主要研究方向:无线网络、信息安全;李 梓(1970-),女,硕士,教授,主要研究方向:计算机网络、信息安全。

收稿日期: 2019-10-05

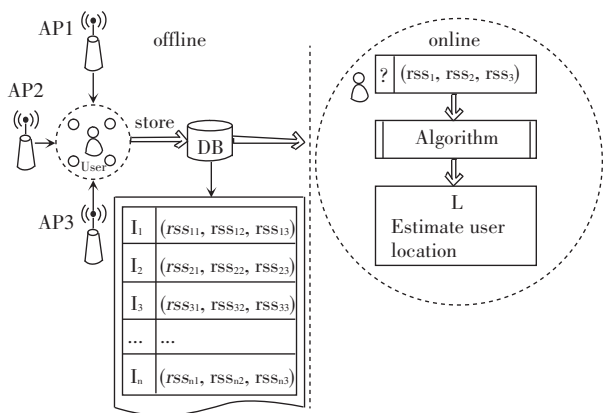


图1 传统指纹定位过程

Fig. 1 The processing of traditional fingerprint positioning

通常,存在于数据库中的指纹数据是不变的。然而,随着时间的推移,一个或多个信号源可能会消失或移动,如室内的家具—桌椅等的位置可能会变动。这些环境的变化会使得传播空间中信号的RSS值发生变化,从而导致地图的“过时”,而使用“过时”地图会导致建立指纹数据库的减少,这也是一个亟待解决的关键性问题。目前,可以通过多种方法进行融合以提高定位精度。这里拟对各种方法展开研究综述如下。

2 基于WLAN的指纹定位方法

Wang等人提出了利用曲线拟合技术确定室内定位精度中的RSS距离关系,即环境变化越大,精度下降越明显,甚至可能使定位系统不可用。因此,建立指纹数据库后,需要不断更新,以确保其准确性。

用户位置的描述非常灵活,可以是一组不同的空间坐标,也可以是一个指示变量或逻辑符号^[2]。坐标的表示方法较准确,但不容易直接理解。相反,虽然逻辑符号代表的意义广泛,但其更具清晰性和指导意义。

近年来,由于基于WiFi的位置指纹定位不需要额外的基础设施,因此,研究人员将研究重点放在了该课题上^[3-7]。指纹方法的性能取决于单位面积内RP的数量,增加单位面积的RP数可以提高定位精度^[3,8]。然而,当RP数达到一定水平时,增加RP数并不能提高精度。因为RSS的测量耗时且工作量较大,增加RP数量的同时将增加定位成本。并且,由于相邻RP的指纹相似性,RP密度过大会增加定位误差。通常,指纹定位研究需分为2个阶段,即:建立指纹数据库及在线匹配。离线指纹数据库的准确性及离线和在线两个阶段的采样终端的差异将直接影响定位精度^[9]。研究中使用一系列线性

无关的函数来构建通用的RSS距离模型^[10]。这种方法的优点是可以从少量的RSS测量中提取数据。通过对每个分区的空间划分和曲线拟合,得到了更准确的每个AP的RSS距离关系。实验证明,与传统的对数距离模型相比,定位精度提高了20%~29%。但是,该方案的缺点是只考虑了房间的常规布局。

Chen等人^[11]提出将移动设备和指纹数据库中的RSS值与压缩传感(CS)原理相匹配^[11]。压缩传感技术可以补偿稀缺的压缩信号或有噪声的压缩信号。通过少量的指纹采样,可以重建完整的指纹图谱,减少建立指纹数据库的工作量,并提高定位精度。

3 减少RSS噪声影响的指纹定位方法

一般来说,指纹方法是通过模式识别技术将RSS值映射到物理位置的^[12],这种RSS定位映射能够通过站点调查获得,可以利用不同的统计建模或机器学习算法,将在线测量结果与之前数据库中的数据进行比较,从而实现定位^[13-14]。时下研究指出,KNN^[15]、多层感知器^[2]、神经网络^[16-17]、最大似然性^[18-19]、支持向量机^[20]和核方法^[21-23]等,可用于室内定位。基于核的机器学习技术也可应用于无线局域网定位^[21]。然而,室内信号传播环境非常复杂,给定位置的RSS通常由于干扰、反射、折射、多径衰落、设备方向、硬件变化、温度、湿度甚至攻击等,在不同的时间产生变化^[24-29]。以前存储的指纹图谱不再反映当前RSS的统计特性,因此,系统性能会下降。这个问题在实际的室内环境中是不可避免的。

Zheng等人^[30]提出了传感器融合粒子滤波算法RANSAC。该方法通过从PDR数据构造高斯模型,减少初始化过程的迭代次数。为了解决初始化后的误差估计问题,该方法对传统的粒子滤波器进行了改进,用到了对指纹概率模型的SLFNS插值方法,主要考虑指纹算法的不同WiFi参考点概率,使相似指纹的引入误差最小,从而提高定位精度。实验结果表明,在支持向量机方法中,改进算法的平均误差从3.2 m降低到1.2 m;在概率算法中,改进算法的平均误差从3.4 m降低到1.3 m。

Li等人^[31]提出通过WiFi与PDR的实时融合实现融合计算。根据行人的移动性来确定滤波系统的动态噪声能够有效地抑制无线定位的跳跃和积累,以及PDR误差积累的问题。典型的WiFi指纹匹配需要很高的计算负担。为了降低这一步骤的计

算复杂度,采用亲和传播聚类算法对指纹数据库进行聚类,并将定位域和信号域各节点的信息进行集成。实验结果表明,该算法使聚类点减少了 65%–80%,有效地节省了时间。

Kuo 等人^[32]提出利用样本的时间差和空间相关性提高定位精度。该方法通过对一个短间隔观测样本的重组,RSS 可能具有一定程度的时间多样性和空间依赖性。空间相关性使用对象的移动轨迹选择最佳的位置估计。这种干扰方法可以与多种指纹定位算法相结合,提高定位精度。仿真实验结果表明,在合理增加计算成本的前提下,定位精度得到了显著提高。但该方法需要一个可靠的搜索模块来对扩展空间进行穷尽性的选择。

Lu 等人^[33]提出了基于系统定位噪声的奇异值分解方法(SVD),该方法将现有 AP 建立的 RSS 汉克尔矩阵分解为 2 个子空间:噪声子空间和信号子空间。通过抑制噪声子空间,RSS 仅从信号子空间重构以抑制噪声。研究中将通过 2 种算法来调整定位系统中的奇异值:最小二乘法 and 最小方差法。仿真结果表明,如果选择正确的 SVD 参数,定位误差将显著降低,且在 1 m 范围内定位精度达到 90% 以上。

4 免测量指纹定位方法

目前,学界对建立传统指纹数据库的耗时费力问题进行了深入探讨,并陆续推出了一系列研究成果。Wen 等人^[34]提出了一种利用周围环境的反馈信息调整 RSS 指纹数据库的新算法。在该算法中,系统按照位置的时间和空间强度,使用不同的、更新的测量值和离线指纹点。由于系统采用自适应半径作为影响定位精度的主要因素,可以解决仿真和实际场景中运动障碍物引起的信号遮挡问题。Hao 等人^[35]提出了一种新的指纹训练方法,许多用户在训练中采取协作模式,对少量的训练数据进行高斯过程回归分析,生成完整的指纹数据库,并确定每个指纹的可信度。Fet 等人^[36]提出利用系统基础设施定期检测特征信号的变化。每个接入点持续监控环境的信号特征,并经由通道将这些信息传递给中央服务器。通过检查服务器上所有访问点的聚合度量,可以确定系统体系结构在任何时间间隔内的稳定性。如果特定接入点的 RSS 功能发生重大变化,则最近的接入点会观察到这一变化。由接入点创建的一个公共度量网络在任何接入点上都会发生相应变化,这些变化即由网络上的多个链路进行测量。通过不断地评估这些链接,可以可靠地检测环境中动

态的 RSS 变化。因此,需要重新修正数据库,以确定接入点,也就是在测量周期中,信号特性发生重大变化,并且超出了随时间变化的波动阈值(随时间变化的波动是由通过接入点的人引起的)。研究目的是检测环境中家具或其它项目的重新排列可能导致的持续信号变化,而且会自动重新校正指纹图。

Chen 等人^[37]提出一种室内定位算法,通过移动电话上的光学相机和方向传感器校准众包数据。当选择 SIFT 进行图像特征提取时,可以就筛选和表面阈值对定位的影响进行研究。实验结果表明,在 SIFT 和 SURF 算法中,当阈值为 0.55 时,误差最小。Li 等人^[38]提出了一种加权中值指数算法,将嵌入式传感器的输出集成到手机上。小范围的实验表明,该方法具有较好的性能。因为这种方法中对定位误差进行了非线性校正。Yu 等人^[39]针对传统指纹定位算法存在的离线指纹采集成本高、扩展性低的问题,提出了一种众包自动组图算法。该方法基于 RACC 算法,可以通过用户的手机隐式收集众包 WiFi 信息和传感器测量值。当用户通过门时,通过用户的统计属性,可以识别门的 RSS 指纹。根据所提出的相邻递归匹配算法,可以在门的指纹上标记出相应的物理位置。并在指纹聚类后,根据指纹的相似度构造了基于 AP 聚类和 K 均值算法的指纹图谱。实验结果表明,该算法能有效地解决资源消耗问题,获得具有竞争力的定位精度。

Wang 等人^[40]从众包数据库面临的主要挑战入手,提出了一种新的室内次域定位方案。该方案通过群体寻源、聚类和指纹匹配方法,从 RSS 度量中创建一个指纹区域,并将其与室内平面图相关联。同时,针对设备的多样性,提出了一种新的在线定位算法。该算法虽然解决了设备多样性的影响,但其实现仍处于定位阶段,不能满足实时性的要求。如果在建立指纹数据库时能够消除设备多样性的影响,将大大提高定位系统的效率。

5 结束语

现有指纹数据库的建立可分为 2 种方案:传统指纹数据库和众包指纹数据库,这两种方案涉及到指纹组成、数据采集、能耗、计算复杂度和设备多样性等问题^[41]。传统的现场踏勘方法是根据场地位置均匀划分 RP,采用同一终端进行采样。如果不存在终端多样性问题,则指纹相对准确。但这可能导致建立指纹数据库和维护数据库的成本较高。如果在实时定位中使用的终端与在指纹构造中使用的终端不同,则该方法无法达到理想的定位精度,甚至可

能相差甚远。因此,基于无线局域网的位置,对其后续研究方向可简述如下。

(1) AP 和 RP 的选择,即如何选择稳定、足量的 AP 和足量的 RP,这既能保证定位的准确性,又能保证较低的计算复杂度及定位的及时性。

(2) 如何利用专用设备建立的精密指纹数据库解决设备多样性问题。

(3) 在众包指纹数据库中,由于指纹位置的随机性,无法保证指纹的完整性。而这已成为亟待解决的重要问题之一。

(4) 指纹众包过程中设备的多样性。一方面,是确保数据库中的数据不能与不同范围的数据混合,这样就不会降低数据库的准确性;另一方面,在定位时,需要根据采集设备的差异对设备进行校准,以提高定位精度。

综上所述,基于 WLAN 的指纹定位是一种有效的位置感知服务解决方案,因其可以利用现有的基础设施,节省硬件成本,因而有着广阔的研发空间,其发展前景也十分可观。

参考文献

- [1] 魏雷. WIFI 位置指纹定位技术研究及仿真器设计[J]. 成都:西南交通大学, 2012.
- [2] BRUNATO M, BATTITI R. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs[J]. *Computer Networks*, 2005, 47(6):825-845.
- [3] CASTRO P, CHIU P, KREMENEK T, et al. A probabilistic room location service for wireless networked environments [M]//ABOWD G D, BRUMITT B, SHAFER S. *UbiComp 2001: Ubiquitous Computing. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2011, 2201:18-34.
- [4] WU Chenshu, YANG Zheng, LIU Yunhao, et al. WILL: Wireless indoor localization without site survey[J]. *IEEE Transactions on parallel and distributed systems*, 2012, 24(4):64-72.
- [5] BSHARA M, ORGUNER U, GUSTAFSSON F, et al. Fingerprinting localization in wireless networks based on received-signal-strength measurements: A case study on WiMAX networks [J]. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2010, 59(1):283-294.
- [6] SHIH C Y, CHEN L H, CHEN G H, et al. Intelligent radio map management for future WLAN indoor location fingerprinting[C]//2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). Shanghai, China; IEEE, 2012:2769-2773.
- [7] FANG S H, LIN T N, LIN P C. Location fingerprinting in a decorrelated space[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2008, 20(5): 685-691.
- [8] LI B H, WANG Y, LEE H K, et al. Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN[J]. *IEE Proceedings-Communications*, 2005, 152(5):580-586.
- [9] 谢代军, 孔范增, 胡捍英. 终端异质下位置指纹的鲁棒性研究[J]. *计算机工程*, 2014, 40(5):81-85.
- [10] WANG Bang, ZHOU Shengliang, LIU Wenyu, et al. Indoor localization based on curve fitting and location search using

- received signal strength [J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, 62(1): 572-582.
- [11] CHEN Feng, WAIN S A A, SHAHROKH V, et al. Received-signal-strength-based indoor positioning using compressive sensing[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2012, 11(12): 1983-1993.
- [12] KAEMARUNGSI K. Efficient design of indoor positioning systems based on location fingerprinting [C]//2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. MAUI, HI, USA; IEEE, 2005, 1:181-186.
- [13] PAHLAVAN K, LI Xinrong, MAKELÄ J P. Indoor geolocation science and technology [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(2):112-118.
- [14] SESHADRI V, ZARUBA G V, HUBER M. A bayesian sampling approach to in-door localization of wireless devices using received signal strength indication[C]// IEEE International Conference on Pervasive Computing & Communications. Kauai Island, HI, USA; IEEE, 2005:75-84.
- [15] BAHL P, PADMANABHAN V N. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system [C]// INFOCOM. Tel Aviv, Israel; IEEE, 2000: 775-784.
- [16] BATTITI R, NHAT T L, VILLANI A. Location-aware computing: a neural network model for determining location in wireless lans[R]. Italy: University of Trento, 2002.
- [17] NERGUIZIAN C, DESPINS C, AFFES S. Geolocation in mines with an impulse response fingerprinting technique and neural networks[J]. *IEEE Transactions on Wireless Communication*, 2006, 5(3):603-611.
- [18] YOUSSEF M A, AGRAWALA A, SHANKAR A U. WLAN location determination via clustering and probability distributions [C]//Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications 2003 (PerCom 2003). Texas; IEEE, 2003:143-150.
- [19] FOX D, HIGHTOWER J, LIAO L, et al. Bayesian filtering for location estimation[J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2003, 2(3): 24-33.
- [20] WU Z L, LI C H, NG J Y, et al. Location estimation via support vector regression[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, 6(3): 311-321.
- [21] KUSHKI A, PLATANIOTIS K N, VENETSANOPOULOS A N. Kernel-based positioning in wireless local area networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2007, 6(6):689-705.
- [22] PAN J J, KWOK J, YANG Qiang, et al. Accurate and low-cost location estimation using kernels[C]// IJCAI-05, Proceedings of the Nineteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Edinburgh, Scotland, UK; dblp, 2005:1366-1370.
- [23] PAN J J, KWOK J T, YANG Qiang, et al. Multidimensional vector regression for accurate and low-cost location estimation in pervasive computing [J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2006, 18(9): 1181-1193.
- [24] VASEGHI S V. *Advanced digital signal processing and noise reduction*[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- [25] FANG S H, WANG C H, TSAO Y. Compensating for orientation mismatch in robust Wi-Fi localization using histogram equalization [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2014, 64(11): 5210-5220.