

基于 WiFi 的指纹匹配算法在室内定位中的应用研究

唐 洋¹ 白 勇¹ 马 跃² 蓝章礼³

(重庆电力高等专科学校 重庆 400053)¹ (重庆大学软件学院 重庆 401331)²

(重庆交通大学 重庆 400074)³

摘 要 快速、准确地建立目标测定的接收信息强度(RSS)与指纹数据库的匹配,是提高指纹定位算法性能的关键。提出一种基于指纹簇匹配算法,以缩小搜索范围,优化搜索路径,通过减少搜索数目及计算量,达到快速、准确完成匹配的目的。考虑不同簇形对定位性能的影响,采用 4 组实验对算法的快速性、准确性进行评估。实验结果展示在保证定位精度的同时,指纹簇算法较传统算法至少减少了 60% 的搜索数目,并验证得出蜂窝簇形的性能是最优的。

关键词 室内定位, RSS, 指纹簇, 蜂窝簇

中图分类号 TP393

文献标识码 A

DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.6.013

Research of WiFi-based Fingerprinting Matching Algorithm in Indoor Positioning

TANG Yang¹ BAI Yong¹ MA Yue² LAN Zhang-li³

(Chongqing Electric Power College, Chongqing 400053, China)¹

(School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 401331, China)²

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)³

Abstract To enhance the performance of fingerprinting positioning, it is significantly necessary to rapidly and accurately match between the received signal strength (RSS) measured by the users and the pre-stored fingerprinting database. Therefore, a fingerprinting cluster algorithm was proposed to reduce the number of search points and optimize the search path, improving the performance of matching in rapidity and accuracy. Four different tests were designed to verify the proposed algorithm by evaluating the positioning accuracy and the rapidity, taking into consideration different shape of cluster. Our results show that the proposed algorithm reduces the number of search points by 60%, and has the same positioning accuracy with that of the traditional fingerprinting algorithm. By comparison of the performance of the different shape of clusters, the cellular cluster is optimal.

Keywords Indoor positioning, RSS, Cluster of fingerprinting, Cellular cluster

1 前言

随着无线通信技术和智能移动终端的快速发展,基于位置服务(Location-based Services, LBS)在军事、交通、物流等诸多领域得到了应用,它能够根据移动对象的位置信息提供个性化服务^[1]。由此可知,定位技术是 LBS 的心脏。在室外定位领域,卫星导航技术发展已经相当成熟,国内自主研发的 BDS 系统作为 GNSS 重要的组成部分,在 2012 年已经实现亚太区域 PNT(定位、定轨与授时)服务,包括 5 颗 GEO 卫星、5 颗 IGSO 卫星、4 颗 MEO 卫星,预计在 2020 年建立由 5GEOs+3IGSOs+27MEOs 组合的全球定位系统体系,实现全球 PNT 服务^[2],在不久的将来,其在 LBS 领域将得到广泛的应用。在室内定位领域,常用的定位技术有:WiFi、蓝牙(Bluetooth)、红外线、超声波、图像识别及激光等。针对以上技术,超声波和激光需要特定设备支持,价格昂贵^[3];红外线和蓝牙的覆盖范围窄,在宽阔的室内需要部署大量节点^[4,5];图像识别必须

依靠快速的处理器和超大数据库实现实时计算。WiFi 的主要应用并不在定位领域,但其建立的网络及特性创造了它在室内定位领域的应用前景^[6]。

对于 WiFi 定位技术,手机用户可以通过接收来自固定 APs(无线接入点)的信号来完成定位。为了实现定位,需要在无线传输信号中获取距离信息,例如到达时间(TOA)、到达角(AOA)、接收信号强度(RSS)。其中,TOA 和 AOA 技术只适用于空旷的环境,如果室内布局复杂多变,将使定位性能恶化;由于 TOA/AOA 技术还需要额外提供测定时间和角度的器件,限制了其技术的应用^[7]。基于 RSS 的定位技术可以通过信号衰减来估计距离,幸运的是,目前 WiFi 设备均支持对 APs 信号强度的测定,并不需要提供额外的设备。考虑到室内布局,APs 信号在传播时会因墙壁、办公用品等加速衰减,因此对信号衰减进行数学建模是十分困难的。采用建立指纹数据库的方式是一种可行的手段。此方式的缺点是需要离线对其指定室内环境进行 RSS 样本采集,但针对已知环境

到稿日期:2016-02-29 返修日期:2016-04-11 本文受国家电网重庆市电力公司科技研究资助项目(201566)资助。

唐 洋 硕士,副教授,主要研究方向为网络优化技术与网络通信安全;白 勇 硕士,副教授,主要研究方向为计算机软件与理论、系统集成、计算机网络;马 跃 硕士,讲师,主要研究方向为计算机软件应用、网络与多媒体, E-mail: mayue@cqu.edu.cn(通信作者);蓝章礼 博士,教授,主要研究方向为图像处理、交通信息。

来讲,实现此环节是简单可行的。需要说明的是,RSS的样本信息量可根据不同的定位精度需求进行选定。

在典型的室内定位系统中,手机用户有限的处理能力及电池供给限制了算法的计算量。因此,本文提出了一种指纹簇快速搜索策略,旨在保证高定位精度的同时,降低指纹匹配算法的复杂度及搜索空间。本文首先简要概述传统指纹算法,重点介绍提出的指纹簇搜索算法;其次设计实验,对算法进行验证;最后对实验结果进行总结分析。

2 指纹搜索算法

2.1 传统指纹搜索算法

指纹算法是特定范围内基于某信息参数的互异性进行匹配识别的技术。针对本文是基于某点测定不同 APs 的 RSS 值进行指纹匹配识别的,执行指纹算法分为两个阶段:离线阶段和在线阶段,如图 1 所示。在离线阶段,一个 $n \times m$ 指纹阵被建立。其中, RSS_{ij} ($i=1,2,\cdots,n; j=1,2,\cdots,m$) 表示第 j

个 APs 在第 i 检测点的 RSS 值。将所有检测点对 APs 热点的 RSS 值存储在数据库中,以为在线阶段提供匹配数据库,如表 1 所列。在线阶段采用特定的匹配算法来比较手机用户测定的可测 RSS 值的强度与存储指纹数据库,以最小的匹配误差作为检测函数来寻找最优的位置解,这里匹配算法采用的是指纹算法中较为常用的最佳邻近法 (K-nearest neighbors, KNN),它是一种简单有效的匹配算法^[8]。KNN 的核心是遍历可检测到 APs 的所有在数据库中的 RSS 值,来获取一个最接近用户位置的点。KNN 算法可以表示为:

$$P_t = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \cdots + \alpha_k P_k$$

$$\alpha_i = \frac{e^{-(RSS_t - RSS_i)^2}}{\sum_{z=1}^k e^{-(RSS_t - RSS_z)^2}} \tag{1}$$

其中, α_i 为检测点权值系数,为 RSS 误差均方根的函数,最小的 RSS 误差均方根具有最大的权值系数; P_t 是手机用户的位置,由可检测点加权 and 估计得到; $2 \leq k \leq n$ 。

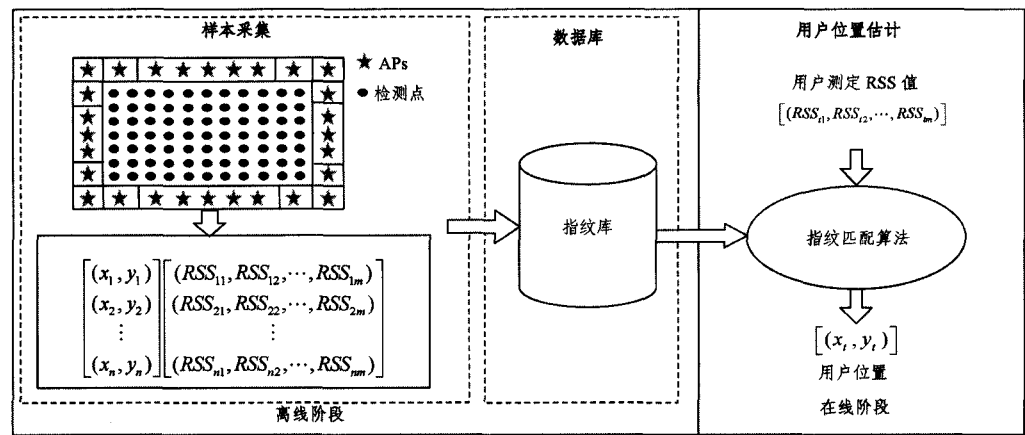


图 1 基于传统指纹搜索算法的室内定位流程图

表 1 数据库的存储方式

| | AP ₁ | AP ₂ | ... | AP _m |
|----------------|-------------------|-------------------|-----|-------------------|
| P ₁ | RSS ₁₁ | RSS ₁₂ | ... | RSS _{1m} |
| P ₂ | RSS ₂₁ | RSS ₂₂ | ... | RSS _{2m} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| P _n | RSS _{n1} | RSS _{n2} | ... | RSS _{nm} |

该传统搜索算法需要遍历所有可检测 APs 的指纹点,势必会增加估计时间和计算量。如果数据库容量庞大,将影响

定位系统的实时性。为解决此问题,提出了指纹簇搜索算法,其目的是保证室内定位精度的同时,减少搜索点数,降低估计时间和计算量。

2.2 改进的指纹搜索算法

为了在不损失定位精度的前提下减少搜索数目,本文提出了一种指纹簇搜索模式,其采用逐级搜索的策略。系统具有的工作模式如图 2 所示。

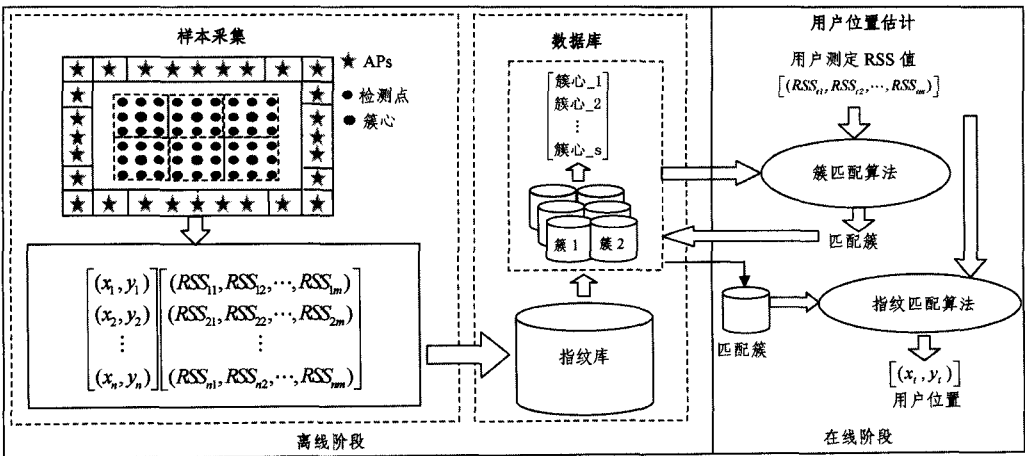


图 2 基于改进的指纹簇搜索算法的室内定位流程图

其工作模式与传统模式是一致的,分为离线阶段与在线阶段。与之不同的是,在处理离线阶段时,将指纹库依据不同

的簇形对指纹点进行分组成簇,其簇容量由指纹库容量与定位精度需求而定。每一簇设定中间点作为簇心,并作为簇的特征选择点。在在线阶段,采用分级搜索的策略,首先以簇为搜索范围,通过 KNN 算法匹配出最优的簇号,然后将搜索范围锁定在最优簇号中,进一步通过 KNN 算法获得最优估计解。这样能节省大量不必要的搜索点,通过理论分析能够说明算法的可行性。考虑到不同簇形会影响其定位精度和覆盖范围,本文选择了 3 种簇形:三角簇、方形簇、蜂窝簇,如图 3 所示。其目的是通过不同簇形所得的定位精度和计算时间来选定最优簇形。

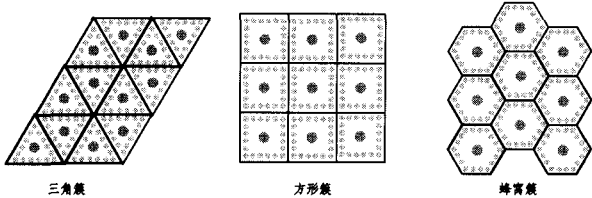


图 3 不同的簇形

3 实验设计及结果分析

为了评估所提出的指纹簇搜索算法的性能,选择面积为 314m² 的办公区作为实验场地,其办公区的平面设计如图 4 所示。实验场地共布设了 8 个 APs 点,每隔 1m 设定 1 个检测点,共有 100 个。在离线阶段,对所有 APs 在检测点的 RSS 值进行检测并写入系统的指纹数据库,指纹库的容量达到 800 个采样点。根据图 3 所示的簇形进行分区,选定半径为 1m 作为每种簇形分组的依据,并确定簇心点。本文设定了 4 组实验:传统全面搜索方式(FC)、三角簇搜索方式(TC)、方形簇搜索方式(SC)、蜂窝簇搜索方式(BC)。FC 与 TC/SC/BC 方式进行比较,以验证簇搜索方式的定位性能;TC/SC/BC 方式进行比较,以进一步验证不同簇形对定位性能的影响。

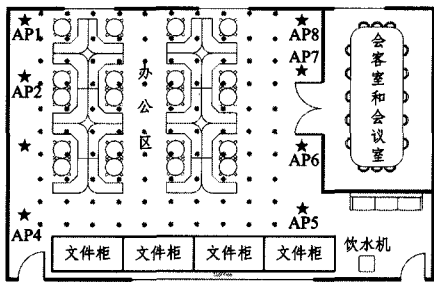


图 4 实验场地的平面图

图 5 展示了不同实验的实验结果,统计绘制了不同的误差量所对应的概率值。由图中可以看出,4 种结果定位精度达 2m 的统计量均在 75% 以上;传统模式的定位精度均高于改进模式 3% 左右。表 2 对 4 组实验的定位精度和搜索数目进行了更为详尽的描述。从表 2 中可以看出,FC 与 TC/SC/BC 比较,精度较指纹簇模式的高出 0.4m,但搜索数目增加了 60%。TC/SC/BC 模式比较,三者精度相当,搜索数目也具有相同的量级,但通过比较可以看出,其蜂窝簇的搜索数目较小,原因在于 3 种分区方式,如果半径相同时,假定为 1m,其面积 $TC(m^2) < SC(m^2) < BC(m^2)$,所以蜂窝簇的覆盖面积更大,这也是它能减少搜索数目的原因。但考虑到对检测点簇与数据库管理的简便性,采用方形簇是合理的。

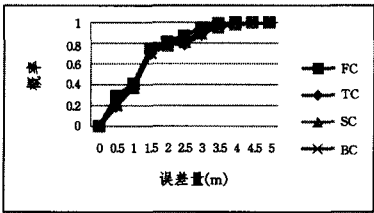


图 5 4 种实验针对不同误差的概率统计

表 2 4 种实验的精度与搜索数目的统计

| 模式 | 精度(RMS,m) | 搜索数目(%) |
|----|-----------|---------|
| FC | 0.84 | 100 |
| TC | 1.21 | 36 |
| SC | 1.20 | 34 |
| BC | 1.21 | 30 |

结束语 本文以提高室内定位性能为研究目标,通过分析传统指纹搜索算法的特点和缺陷,提出了基于指纹簇搜索方案的室内定位方案。通过设计 4 组实验验证了所提算法的可行性,并通过设计不同簇形的定位方案得到了以下结论:

- (1) 指纹簇搜索算法在不损失定位精度的同时,减少了约 60% 的搜索数目,极大地提高了计算效率与实时性。
- (2) 通过比较不同簇形的定位结果,得到了蜂窝簇能极大地减少搜索数目,其原因与覆盖面积有关。但考虑到分簇和数据库管理的简便性,建议采用方形簇。

参考文献

- [1] Zhou A Y, Yang B, Jin C Q, et al. Location-Based Services: Architecture and Progress [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(7): 1155-1171 (in Chinese)
周傲英, 杨彬, 金澈清, 等. 基于位置的服务: 架构与进展 [J]. 计算机学报, 2011, 34(7): 1155-1171
- [2] 张雪松. 细说北斗卫星导航系统 [J]. 太空探索, 2012(11): 10-13
- [3] Yang Y, Xiao H J, Liu Z, et al. Indoor Three-Dimensional Positioning System Based on Ultrasonic [J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2012, 30(3): 267-271 (in Chinese)
杨阳, 肖金红, 刘智, 等. 基于超声波的室内三维定位系统 [J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2012, 30(3): 267-271
- [4] Oh J H, Kim D, Lee B H. An Indoor Localization System for Mobile Robots Using an Active Infrared Positioning Sensor [J]. Journal of Industrial and Intelligent Information, 2014, 2(1): 35-38
- [5] Han X H, Xia W L, Zhou Y P. Bluetooth Indoor Positioning Based on Linear Weighted [J]. Computer Systems Applications, 2015, 24(1): 119-122 (in Chinese)
韩旭海, 夏文龙, 周渊平. 基于线性加权的蓝牙室内定位算法 [J]. 计算机系统应用, 2015, 24(1): 119-122
- [6] Karimi H A. Advanced location-based technologies and services [M]. CRC Press, 2013
- [7] Luo J, He Z Y, Zhang Y X, et al. Indoor cooperation localization algorithm based grid in wireless networks [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science), 2015, 43(5): 114-118 (in Chinese)
罗娟, 贺赞贻, 张玉玺, 等. 基于网格的无线网络室内协作定位算法 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(5): 114-118
- [8] Ma J, Li X, Tao X, et al. Cluster filtered KNN: A WLAN-based indoor positioning scheme [C] // 2008 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008 (WoWMoM 2008). IEEE, 2008: 1-8