

文章编号: 2096-1618(2019)03-0251-06

WiFi 定位技术在地下停车场管理系统中的应用

陈晓玉, 张新有, 张紫嫣

(西南交通大学信息科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘要:为提高地下停车资源的利用率,有效缓解城市停车难问题,采用基于位置指纹的 WiFi 定位方法,设计出一套适用于地下停车场的车辆实时定位系统。该系统同时与手机 APP 结合能够准确判断停车位置,方便用户及时查看停车信息,提高地下车位利用率。实验结果表明,系统满足在地下停车场对车辆进行定位的要求,并且把 WiFi 定位技术用在地下停车场管理系统中有着较强的实用性。

关键词:WiFi 定位技术;地下停车场;位置指纹定位法;WKNN;最强 AP 法

中图分类号:TP311.52

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.008

0 引言

随着人们经济收入增加,私有汽车数量不断增多。汽车拥有量快速增长,一方面给人们出行带来了便捷,另一方面却造成城市停车位不足、停车难及交通拥堵等问题。如今人们对车位的需求量越来越大,地上停车位供不应求,乱停乱放随处可见。然而许多地下停车场由于结构复杂、地形陌生等因素,严重影响了地下停车资源的利用率。传统的停车场管理模式已跟不上现代化智慧停车^[1]的发展,建设智能停车场已是必然趋势,智能停车场已成为智慧城市建设中的一部分。

智能停车系统的使用,不仅能提高停车场的利用率、管理水平,还能减少人工操作的干预,使停车更加智能化、便捷化。其中对车辆进行实时定位是智能停车场系统研发的关键问题之一,这正是基于位置服务^[2]的一类重要应用。

鉴于此,为了缓解城市停车难问题,同时提高地下停车资源的利用率,把 WiFi 定位技术应用到地下停车场管理系统中,采用基于位置指纹的 WiFi 室内定位方法^[3],设计出适用于地下停车场的车辆实时定位系统,并把系统与手机 APP 结合,为用户提供准确的停车信息,提升用户体验,提高地下车位利用率。

1 系统概述

近年来“停车难”逐渐成为人们的出行困扰,为有效缓解停车难,避免车辆乱停乱放,提高地下车位利用率。将充分利用物联网及移动互联网技术,把基于位

置指纹的 WiFi 室内定位技术应用到地下停车场管理系统中,推动地下停车场的智能化建设。

针对地下停车场管理系统的实际需求,该系统有如下功能:(1)通过 APP 实时向司机公布停车场车位使用情况;(2)结合停车场结构图,为进入停车场的车辆提供空余车位位置信息;(3)采用基于位置指纹的 WiFi 定位法,对地下停车场的车辆进行实时定位跟踪并记录车辆行车轨迹;(4)根据停车位置信息和停车场结构,为用户的反向寻车提供线索。

2 室内定位技术

全球定位系统^[4](global positioning system, GPS)广泛应用于户外环境,定位技术成熟。但由于室内环境复杂干扰 GPS 信号传播,因此 GPS 不能用于室内定位。寻找一种低成本、易部署的室内定位技术,成为当前研究热点。目前主流的室内定位技术有:蓝牙、红外线、射频识别、超宽带、超声波等。其中蓝牙定位^[5]技术是通过测量信号强度进行定位,是一种短距离低功耗的无线传输技术,主要应用于小范围定位;红外线定位对时间同步的精度要求较高且只能视距传播^[6],部署成本较高;射频识别定位作用距离近,无接触通信^[7],需要部署 RFID 标签;超宽带定位兼容性不好^[8]不能在手机上使用,且基础设备造价昂贵;超声波定位技术受环境因素影响大,容易出现误差且对硬件要求高。而目前无线 WiFi 已覆盖了各大公共场所,WiFi 路由器和移动终端广泛普及,利用 WiFi 进行室内定位无需额外部署硬件设备,降低了实施难度。表 1 从 5 个方面对现有的几种室内定位技术进行了比较。

表 1 几种室内定位技术性能比较

定位技术	传输距离	建设成本	抗干扰	穿透性	布局复杂度
蓝牙	近	低	差	好	较高
红外线	近	高	好	差	很高
射频识别	近	高	差	差	较高
超声波	近	高	好	差	较高
超宽带	较近	较高	好	较好	较高
WiFi	远	低	差	差	低

通过上述几种室内定位技术的比较,发现基于 WiFi 的室内定位技术具有传输距离远、建设成本低、布局复杂度低、终端多的优点,恰好满足地下停车场的定位需求,因此将 WiFi 定位技术应用到地下停车场中,不仅能提高地下停车场的车位利用率,而且可以改善用户体验。

通常一个 WiFi 系统由许多固定的接入点 AP(access point)组成,基于 WiFi 的室内定位技术利用无线接入点 AP 的无线信号信息作为参考信息进行室内定位。按照信号测量方法的不同可分为基于信号到达时间 TOA(time of arrival)^[9]的定位、基于信号到达时间差 TDOA(time difference of arrival)的定位、基于信号到达角度 AOA(arrival of angle)的定位以及基于信号接收强度 RSSI(received signal strength indication)的定位。其中,基于信号接收强度 RSSI 的定位方法有两种,分别是基于信号传播模型和基于位置指纹的定位法。表 2 从 5 个方面对上述几种定位方法的性能进行了对比。TOA、TDOA、AOA 等 3 种定位方法均需安装额外的硬件设备,成本较高,同时在室内环境中很难准确建立无线信号的传播模型。而基于位置指纹的 WiFi 定位法部署成本低、抗干扰能力强,定位精度较高,并且不需要知道各 AP 的位置,不需要建立模型,可扩展性好,因此采用位置指纹定位法。

表 2 WiFi 定位方法的性能对比

定位方式	TOA/TDOA	AOA	位置指纹法	传播模型法
硬件成本	高	高	低	低
AP 位置	需要	需要	不需要	需要
样本数据	不需要	不需要	需要	需要
抗干扰力	强	强	强	强
定位精度	高	高	较高	较低

3 基于 RSSI 的位置指纹定位法

基于 RSSI 的位置指纹定位法的原理如图 1 所示,

位置指纹定位法包括离线采集和在线定位两个阶段。

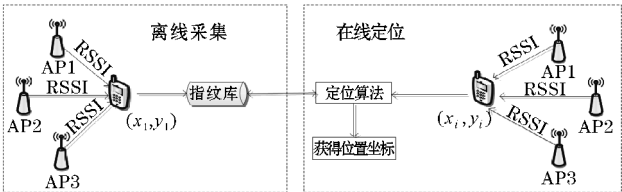


图 1 位置指纹定位原理图

3.1 离线采集阶段

离线采集是整个定位系统的核心,这一阶段的主要任务是建立位置指纹数据库,具体工作包括选取参考点、采集无线信号信息、处理信号信息、创建位置指纹数据库。

首先将待定位区域按照某一标准划分成若干子区域,然后在每个子区域上选择参考点,并给每个参考点分配一个坐标 (x_i,y_i) (其中 $i=0,1,2,3,\cdots N$),接下来在每个参考点上采集该点接收到的每个 AP 的 RSSI 指纹特征^[10],将采集到的 RSSI 信息,连同其对应的位置坐标及相应 AP 的 MAC(media access control)地址共同存入数据库,直到采集完所有参考点上的数据信息,便形成位置指纹数据库。

3.2 在线定位阶段

这一阶段的工作主要是采集无线信号信息和计算定位位置。在待定位区域上采集各 AP 的信号强度信息(RSSI),然后采用一定的算法把采集到的数据与指纹数据库中的位置指纹进行比较计算,得出定位结果。

在线定位阶段常用的匹配算法有最近邻法 NN(nearest neighbor)、K 近邻法(KNN)和 K 加权近邻法(WKNN)。

3.3 定位匹配算法

3.3.1 最近邻法(NN)

算法是最基础的位置指纹定位法,通过计算出待定位点与位置指纹数据库中各参考点之间的欧式距离,然后选取最小距离所对应的位置坐标作为结果输出。使用该算法不仅计算量大而且耗费时间,甚至可能会出现多个相同的最小值,导致无法精确定位。

3.3.2 K 近邻法(KNN)

KNN 是 NN 算法的改进,即选取 K 个最小距离位置信息的平均值作为结果输出^[11],当 $K=1$ 时,该算法就是最近邻法 NN。KNN 算法在精确度方面并没有明显优于 NN 算法,其定位精度受到 K 值的影响,在一些情况下 KNN 算法计算出的定位结果比 NN 算法的误

差大。

3.3.3 K 加权近邻法(WKNN)

WKNN 针对 KNN 算法进行了一些改进,为欧氏距离最小的前 K 个点赋予一定的权重,根据每个点的权重计算其在最终定位点中所占的权重比例,然后进行加权计算得出最终结果。采用 WKNN^[12] 匹配公式计算待定位点的位置坐标。

$$\begin{cases} X = \sum_{i=1}^k W_i X_i & (i=1,2,\cdots,k) \\ Y = \sum_{i=1}^k W_i Y_i & (i=1,2,\cdots,k) \end{cases} \quad (1)$$

其中, W_i 表示第 i 个指纹点对应的权值,选取的指纹点欧氏距离越小 W_i 越大。 X_i 表示第 i 个指纹点的横坐标, Y_i 表示第 i 个指纹点的纵坐标。关于 W_i 的计算方式有许多种,选择公式(2)^[13] 的方式进行计算。

$$W_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{d_i}} \quad (i=1,2,\cdots,k) \quad (2)$$

其中, d_i 表示待定位点与第 i 个指纹点间的欧氏距离。

3.3.4 基于最强 AP 法的 WKNN 定位算法

在实际定位过程中,需要把待定位点采集到的无线信号信息与指纹数据库中存储的指纹信息一一对比计算,最后得出定位点的坐标。一旦指纹库中的指纹信息过多,逐一比较则耗时较长,严重影响定位效率和定位的实时性,为解决该问题,采用基于最强 AP 法的改进算法^[14]。

在相邻位置上接收到的信号强度最强的 AP 应是同一个,因此利用这一特征比较待定位点与各个指纹点的最强 AP,过滤掉距离较远的指纹数据。在实际定位过程中先采用最强 AP 法对指纹点进行筛选,然后再利用 WKNN 算法计算当前定位点坐标。通过把最强 AP 法与 WKNN 算法相结合,既减少了计算工作量,又提高了定位精度。

4 系统设计与实现

系统采用 C/S 架构模式,Server 端位于 PC,一方面负责处理离线阶段采集的数据并创建指纹数据库,另一方面对在线定位阶段传来的数据进行计算并得出实时位置;Client 端则安装利用 Android 平台开发的 Android 应用程序。管理员在离线阶段采集指纹信息并传入 Server 端进行处理;普通用户进行实时信息采集并传入 Server 端进行数据处理,然后接收 Server 端

返回来的定位结果,最终在 Client 端显示出当前所在位置,系统客户端与服务端的交互示意图如图 2 所示。

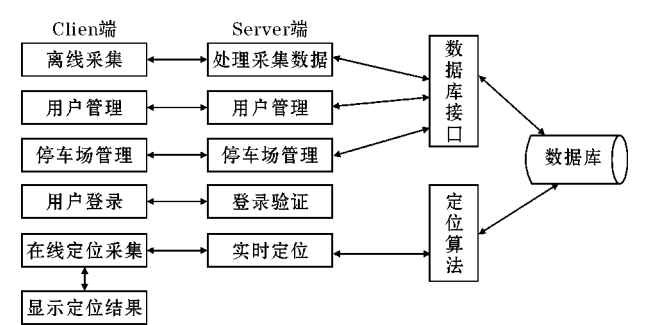


图 2 客户端与服务交互示意图

4.1 客户端设计与实现

根据系统的实际需求把客户端划分为两大模块,一是管理员离线采集模块,二是用户在线定位模块。

4.1.1 离线采集模块

这一模块主要完成的功能包括指纹数据的采集和指纹数据库的创建。首先选择一处停车场地,接着在每个停车位上选取合适的参考点,然后在每个参考点上采集数据,具体的采集流程如图 3 所示。当选择了停车场并选取参考点后,打开手机上的 WiFi,启动离线采集程序,逐一在每个参考点上采集该点对应的每个 AP 接收的信号强度 RSSI 信息。每个参考点采集 20 次,每次将信号强度最强的前 4 个 AP 发送至服务器,然后在服务器端对接收到的指纹数据进行处理,最后将处理后的结果保存到指纹数据库中。

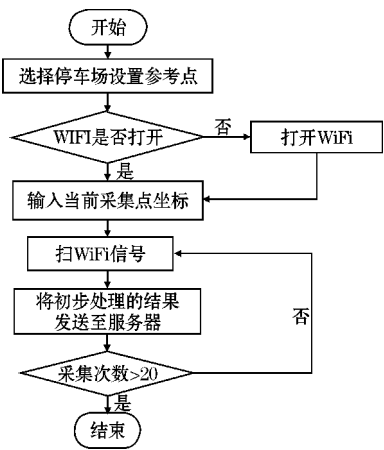


图 3 离线采集流程图

4.1.2 在线定位模块

在线阶段:用户打开手机端安装好的定位程序,在停车场入口处扫码进场,定位程序会自动检测手机端是否开启 WiFi,WiFi 确认打开后,自动扫描 WiFi 信号,并且每 2 秒向服务器发送一次采集到的数据,发送

的数据信息为当前采集到的 WiFi 信号强度最强的前 4 个 AP 的 MAC 地址及相应的信号强度值。服务器端采用基于最强 AP 法的改进算法,利用当前采集到的最强 AP 的 MAC 地址对指纹数据库中的数据进行一次筛选,把完全不可能的指纹点过滤掉,随后逐一计算出待定位点和筛选得到的指纹数据之间的欧氏距离,接下来对得到的欧氏距离进行排序,选出欧氏距离最小的前 3 个指纹点,再采用 WKNN 算法计算出待定位点的坐标,最后把计算出的坐标与数据库中存储的停车位信息进行比较,得出待定位点的位置,然后修改相应的停车位状态,对应的定位流程图如图 4 所示。

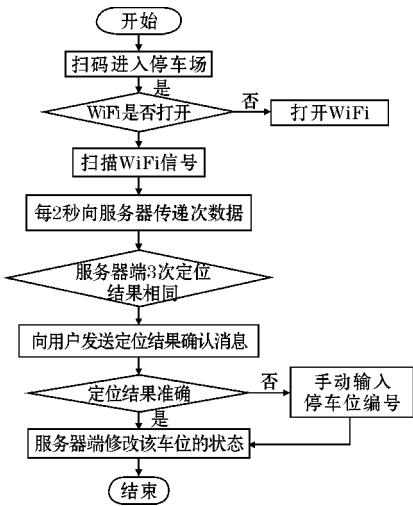


图 4 实时定位流程图

4.2 服务器端设计与实现

服务器端主要包含 2 大功能模块,第一个模块主要是为管理员提供服务,包括管理员的注册登录、普通用户的管理以及对停车场信息的查看;另一模块主要负责后台功能完成服务器与客户端之间的交互。管理员服务模块主要是管理员在服务器端进行登录查看自己管理的停车场信息、监测车辆实时进出信息、查看停车场平面图,以及对普通用户管理。

后台功能主要是实现 Android 端与服务器端之间的通信,采用 Socket 进行通信。利用 WiFi 指纹信息处理模块,对离线阶段采集到的指纹数据做均值处理;对于在线定位,首先利用最强 AP 法筛选模块对指纹数据进行筛选,再使用 WKNN 算法模块计算当前定位点的坐标,最后与数据库中的停车位信息对比,确定停车位置。

5 系统测试与优化

由于目前学校的地下停车场还未部署 WiFi 环境,

在地下停车场采集到的 WiFi 信号波动较大,且不稳定,所以实验环境选择在教学楼旁边的地上停车场,图 5 为该停车场的车位分布图,其中每个车位长 5 米,宽 2.5 m。为防止人员走动对采集数据的干扰,采集时间选在晚上 9 点半以后,这时教学楼周围的人流量较少,并且停车位上无车辆停放。

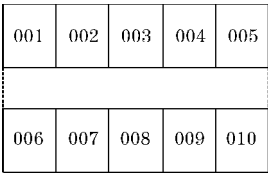


图 5 停车场车位分布图

停车场地确定后,首先进行离线阶段的指纹数据采集。在每个停车位上选取参考点,每个参考点间隔 2.5 m,在每个点上采集 20 次数据,每次采集信号最强的前 4 个 AP 的信息,依次将采集的数据发送至服务器。服务器端将采集到的数据进行均值处理,然后得到一条指纹数据并存入数据库,待指纹数据库创建完成后,利用安装了定位程序的 Android 手机进行定位测试,在每个车位上定位 10 次并记录下定位结果如表 3 所示。

表 3 定位结果

测试次数	车位编号	准确次数	错误次数	准确率 %
10	001	10	0	100
10	002	7	3	70
10	003	8	2	80
10	004	7	3	70
10	005	8	2	80
10	006	7	3	70
10	007	7	3	70
10	008	9	1	90
10	009	8	2	80
10	010	7	3	70

5.1 系统优化

从上述的定位结果分析可知,在实验的测试条件下,系统的整体定位精度只有 78%,效果并不理想。为了提高定位精度,采取控制变量法来改变测试条件,通过做对比实验找出最优的测试条件,并且以此来优化定位精度。

测试优化主要是分别改变离线阶段每个参考点上数据采集的次数、每次截取的 AP 数量、存储到数据库中的 AP 数量以及各指纹点间相隔的距离,具体的测

试条件如下表 4 所示。

表 4 测试条件				
	离线采 集次数	截取的 AP 数量	保存的 AP 数量	指纹点 间距
1	20	4	4	2.5
2	20	4	4	1.25
3	50	6	6	2.5
4	50	6	6	1.25
5	50	8	6	2.5
6	50	8	6	1.25

采用以上 6 种测试条件分别做了定位测试,得到的定位结果如表 5 所示。

表 5 定位结果					
第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次
78%	80%	82.5%	84%	85.5%	87%

通过多次实验发现,适当增加参考点数量并且增加采集次数,指纹密集度高,定位精度就会相对提高。

5.2 误差分析

由于把 RSSI 无线信号强度作为参考点上的特征值,即影响 RSSI 稳定的因素是影响位置指纹的因素。综合考虑各方面原因,实验误差主要有以下 2 方面:

(1)随机误差:在理想情况下 WiFi 的无线信号在自由空间中的传播符合一定规律,由于现实中空间环境复杂,造成 WiFi 信号传播的多径效应^[15],所以离线阶段采集的数据可能由于各种因素的干扰会出现一定的误差,因此会对后期的定位结果造成一定影响。

(2)实验环境误差:首先实验环境中的路由器没有严格按照 WiFi 定位的需求进行部署。通过路由器测量结果图 6 可知,在任意一个位置,距离该位置 18 m 之内的路由器信号才是有效信号,18 m 之外信号变化趋势不明显且信号强度波动较大,所以定位点距离无线路由器的有效距离是 18 m 之内。因此路由器的位置部署对实验结果也会造成一定误差,同时实验环境中的路由器型号各不相同,路由器之间的信号强度也存在相应的干扰,最终也会影响定位结果。

5.3 减小误差的措施

对于在离线阶段产生的随机误差,系统采用的是采集多次数据然后取平均值,当然还可以对多次采集后的数据进行高斯滤波,并把高斯滤波与取平均值联合使用。同时对在线定位阶段采集的数据也做上述处理,以此来减小随机误差的影响。

对于实验环境带来的误差,则按照 WiFi 定位的需求部署路由器,同时尽量保证部署相同品牌且相同型号的路由器。由图 6 中所用的路由器 TP-LINK TL-WR802N 无天线,TP-LINK TL-WR841N 有 2 个天线,NETGEAR R7000 有 3 个天线的测量结果发现, WiFi 定位应该挑选带天线的信号稳定性较好的路由器。

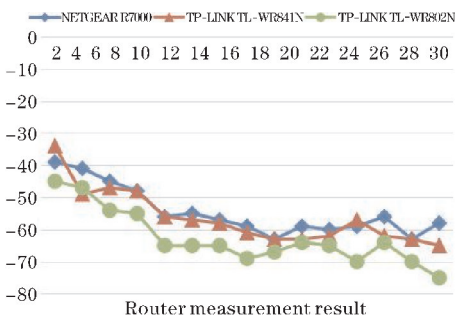


图 6 路由器测量结果

6 结束语

采用基于位置指纹的 WiFi 室内定位方法设计出一套适用于地下停车场的车辆实时定位系统,并将该系统与手机 APP 结合,帮助用户准确判断停车位置,及时查看停车信息,同时保存定位结果,为后续反向寻车提供依据。最后通过多次定位测试发现,适当增加参考点数目和增多每个点的采集次数,指纹密度增大,相应的定位精度也会随之提高。WiFi 定位技术应用在地下停车场管理系统中,实现了对车辆的实时定位,克服了用户找车难的困扰,同时提高了地下停车资源的利用率。

参考文献:

[1] 周赤忠. 基于静态交通大数据系统下的智慧停车平台创新与应用[J]. 计算机应用与软件, 2018(2):330-333.

[2] Zhou Y, Zeng G, Huang Y, et al. INDOOR SPACE LOCATION MODEL BASED ON LOCATION SERVICE[J]. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017, XLII-4/W7:49-53.

[3] 王淑婷. 基于位置指纹的 WiFi 定位算法研究[D]. 吉林:吉林大学, 2015.

[4] Nagaoka T, Hatano H, Fujii M, et al. A study on estimation method of pedestrian's walking status for GPS positioning correction[C]. International Conference

- on Its Telecommunications. IEEE, 2017:1-7.
- [5] Faragher R, Harle R. Location Fingerprinting with Bluetooth Low Energy Beacons [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2015, 33(11):1.
- [6] 张胜军, 林若琳. 浅谈室内定位技术现状[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(7):128-131.
- [7] 刘鹏, 卢潭城, 高翔. 基于射频识别的室内定位技术综述[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(2):195-201.
- [8] 杨狄, 唐小妹, 李柏渝, 等. 基于超宽带的室内定位技术研究综述[J]. 全球定位系统, 2015, 40(5):34-40.
- [9] Pradhan S, Shin S, Kwon G R, et al. The advanced TOA trilateration algorithms with performance analysis [C]. Conference on Signals, Systems & Computers. IEEE, 2017:923-928.
- [10] 张建平. 基于 WiFi 的室内定位系统设计和算法研究[J]. 自动化技术与应用, 2016, 35(12):53-56.
- [11] Ge X, Qu Z, Ge X, et al. Optimization WIFI indoor positioning KNN algorithm location-based fingerprint [C]. IEEE International Conference on Software Engineering & Service Science. IEEE, 2017:135-137.
- [12] 康静怡, 韩中豪, 何玉美, 等. 一种基于 WKNN 定位的改进算法[J]. 成都信息工程大学学报, 2018(1):8-12.
- [13] 杨小亮, 叶阿勇, 凌远景. 基于阈值分类及信号强度加权的室内定位算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(10):2711-2714.
- [14] 罗利. 基于 Android 的 WIFI 室内定位技术研究 [D]. 西南交通大学, 2014.
- [15] 鲁勇, 吕绍和, 王晓东, 等. 基于 WiFi 信号的人体行为感知技术研究综述[J]. 计算机学报, 2018:1-23.

The Application of WiFi Location Technology in Underground Parking Management System

CHEN Xiaoyu, ZHANG Xinyou, ZHANG Ziyang

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In order to improve the utilization rate of underground parking resources and effectively alleviate the problem of urban parking, this paper uses a location fingerprint based WiFi positioning method to design a real-time vehicle positioning system for underground parking lots. At the same time, the system combined with mobile APP can accurately judge the parking location, so that the users can view the parking information in time. This system improves the utilization rate of underground parking space. The experimental results show that the system satisfies the requirement of vehicle location in underground parking lot, and WiFi positioning technology has strong practicability in underground parking management system.

Keywords: WiFi location technology; underground parking lot; location fingerprint method; WKNN; Strongest AP method