

基于 Wi-Fi 指纹定位技术的智能停车场系统的设计与实现

黄 旭^{1,2} 范 婧² 吴茂念¹ 顾永跟¹

(湖州师范学院信息工程学院 湖州 313000)¹ (浙江大学控制科学与工程学院 杭州 310027)²

摘 要 为解决城市停车难问题,通过 Wi-Fi 指纹定位技术实现大型地下停车场智能系统的低成本部署、免取卡操作、智能化导航,设计了一套智能停车场系统。该系统同时提供智能反向寻车指引和自动缴费功能,以提高停车场资源管理效率,改善用户体验,促进信息技术在停车场管理中的进一步应用。实验表明,所提方案能够在低成本部署前提下,实现适合停车场定位精度的定位需求。

关键词 Wi-Fi 指纹,室内定位,指纹匹配,智能停车场,系统设计

中图法分类号 TP311 文献标识码 A

Design and Implementation of Intelligent Parking System Based on Wi-Fi Fingerprint Location Technology

HUANG Xu^{1,2} FAN Jing² WU Mao-nian¹ GU Yong-gen¹

(School of Information Engineering, Huzhou University, Huzhou 313000, China)¹

(College of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)²

Abstract An intelligent parking system was designed in this paper. It solves the problem of urban parking difficulty through the Wi-Fi fingerprint positioning technology to implement low cost deployment, card free operation, and intelligent navigation. The system also provides intelligent reverse seeking guidance and automatic payment in order to improve the efficiency of parking management and user experience. And it promotes the further application of information technology in parking management. Experiments show that this scheme can achieve the positioning requirements of the positioning accuracy for the intelligent parking system on the condition of low cost deployment.

Keywords Wi-Fi fingerprint, Indoor positioning, Fingerprint match, Intelligent parking system, System design

1 引言

随着经济的发展,我国汽车保有量不断增加,汽车行业爆发性增长引发了一系列交通问题,城市停车难已成为制约城市发展的关键因素^[1,2]。目前城市地下停车场一般采用 RFID 卡作为车辆身份识别,因此在停车场入口、出口处的取卡、还卡及人工缴费等操作限制了车辆通行,影响了停车场运行效率,成为解决拥堵问题的瓶颈,而且多数停车场的智能化引导功能相对薄弱,停车场内视野局限较大,汽车通行、车位定位、车辆搜寻都成为困扰人们的新问题。

智能化停车场软硬件管理平台已成为目前的研究热点。大型地下停车场管理主要涉及车辆身份识别、计费与收费方式、反向寻车、车位管理等方面。其中,寻找车位、停车场缴费是制约停车场运行效率的主要瓶颈。在寻找车位方面,目前主要侧重于场内电子标牌^[3,4]或与手机 APP 相结合等诱导方式的研究^[5],但此类研究多着眼于传统指示标牌的电子化、信息化、动态化,以及诱导内容的灵活展现模式,没有从人机交互本质上对寻找车位这一动作进行信息化提升。在停车场缴费方面,目前多采用人工缴费,有研究提出采用 NFC(Near

Field Communication)技术^[6,7]实现直接支付。而随着手机支付手段的日益成熟,利用现有第三方支付平台实现快捷在线支付^[8,9]将给用户带来更好的支付体验,同时可缩短缴费排队时间,提高通行效率。

免取卡停车是现代智能停车场的基本要求之一。武汉市利用车牌识别技术和现有的 ETC(Electronic Toll Collection)资源,通过在停车场出入口部署摄像头和 ETC 天线对车辆进行双重识别,在一定程度上解决了免取卡停车问题^[10]。但用该方法实现免取卡停车,对基础 ETC 设施的依赖程度高,而重新部署 ETC 系统将大幅提高部署成本。

智能停车场系统研发的关键是对车位、车辆、车主、出入口等实体进行精确定位,这是基于位置服务^[11]的一类重要应用。而实现精确定位与追踪是位置服务的基础,本文将采用 Wi-Fi^[12]技术实现定位。目前基于 Wi-Fi 的室内定位技术^[12,13]已成为学术界和企业的研究热点。其中 Wi-Fi 指纹研究^[14,15]不需要建立复杂的传播模型,且精度也高于传播模型,同时还具有开放接入、低成本的特点^[16],因此国内外研究多集中于位置指纹定位方法^[12,17]。但 Wi-Fi 指纹识别方面存在由 RSS 信号时间特性引起的 Wi-Fi 定位精度差的问题。

本文受国家自然科学基金项目(61202290,61370173)资助。

黄旭(1977—),男,博士,讲师,主要研究方向为数据融合、高性能计算、生物信息计算等,E-mail:hx@hutc.zj.cn;范婧(1986—),女,博士生,讲师,主要研究方向为粗糙集、数据融合等;吴茂念(1975—),男,博士,教授,主要研究方向为信念推理、城市计算等;顾永跟(1968—),男,博士,教授,主要研究方向为机制设计、博弈论及其应用等。

将时间序列的 RSS 信号指纹转化为基于滑动窗口的数据模型,能显著提高定位精确性和鲁棒性^[18]。

2 系统总体设计

应用 Wi-Fi 指纹定位技术和室内导航技术,围绕智能停车场实际需求,构建一个具有免取卡停车、智能导航、反向寻车、自动缴费功能的智能停车场系统,实现低成本建设、高效率运行,为挖掘公共车位资源、缓解城市交通压力提供支持。结合系统需求,智能停车场的基本功能包括车位查询、停车预约、车位预定、室外导航、车牌识别、场内定位、场内导航、反向寻车、自动缴费、数据分析等功能。

系统将对传统停取车流程进行 3 方面优化:1)全面信息认知,确保用户提前知道目标车位状态,避免漫无目的的寻找过程;2)减少手工操作,不需要进行取卡、还卡、手工缴费等操作,避免漫长的排队过程;3)提供场内引导,通过智能引导的场内行车和反向寻车,缩短用户及车辆在场逗留时间。这 3 方面优化简化了停取车流程,节约了用户时间,提高了车位利用率,减少了拥堵现象,能够有效提升城市交通水平。业务流程如图 1 所示。

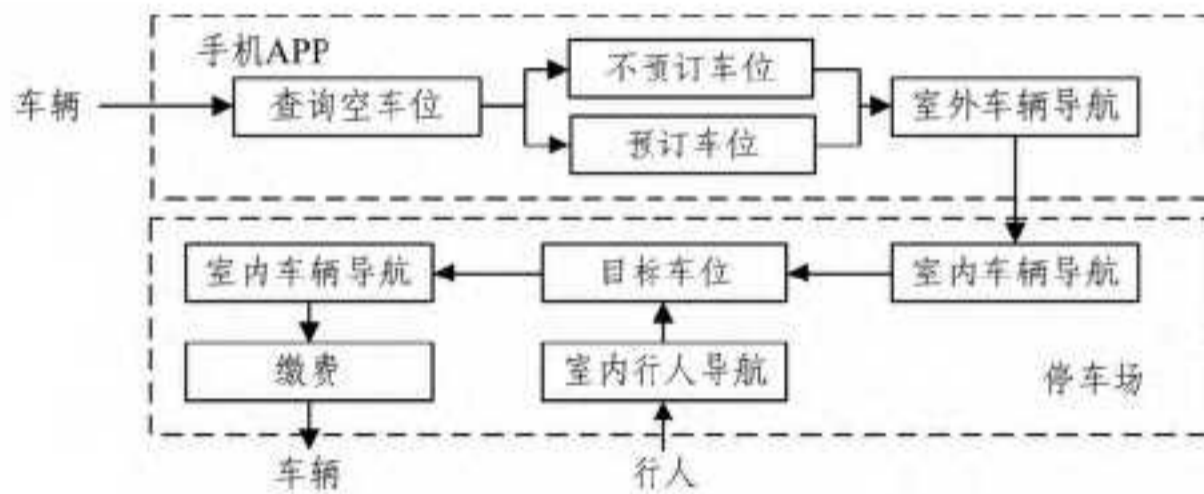


图 1 智能停车场业务流程及系统构成

该图反映了所规划的智能停车场业务流程。前期下载手机 APP 后,通过 APP 查询车位、实现导航,并最终实现免取卡停车与缴费。该智能停车场系统由 3 个基本部分构成,图中展示了两个部分:1)停车场系统,主要是指无线覆盖系统,结合低成本部署、高定位效率的要求,研究科学合理的 Wi-Fi 部署方案;2)手机 APP,基于主流手机操作系统 Android 或 iOS 开发 APP,集成车位查询、预约停车、预定车位、导航、结算等功能。此外,还应有一个计算中心,主要承担指纹识别算法、室内导航算法、高性能计算以及后续大数据处理等任务。无线部署是硬件基础,指纹识别与室内导航是核心技术,高性能计算是效率保证,手机 APP 是表现形式。此外,还将整合目前较为成熟的第三方支付平台等技术,将来进一步研发后台数据分析平台等。系统保留传统闸机,已预约停车或预定车位的车辆、已缴费的车辆分别可以通过闸机进、出停车场,以避免不经系统控制自由进出停车场的现象。其中预约停车不计费,预定车位低费率计费。

3 技术方案

为达到上述目标,详细分析了系统实现所涉及的技术要点,制定了包括室内无线定位技术、室内导航技术在内的技术方案,并在算法高效执行、数据挖掘与后期应用等方面做了规划。系统技术架构如图 2 所示。

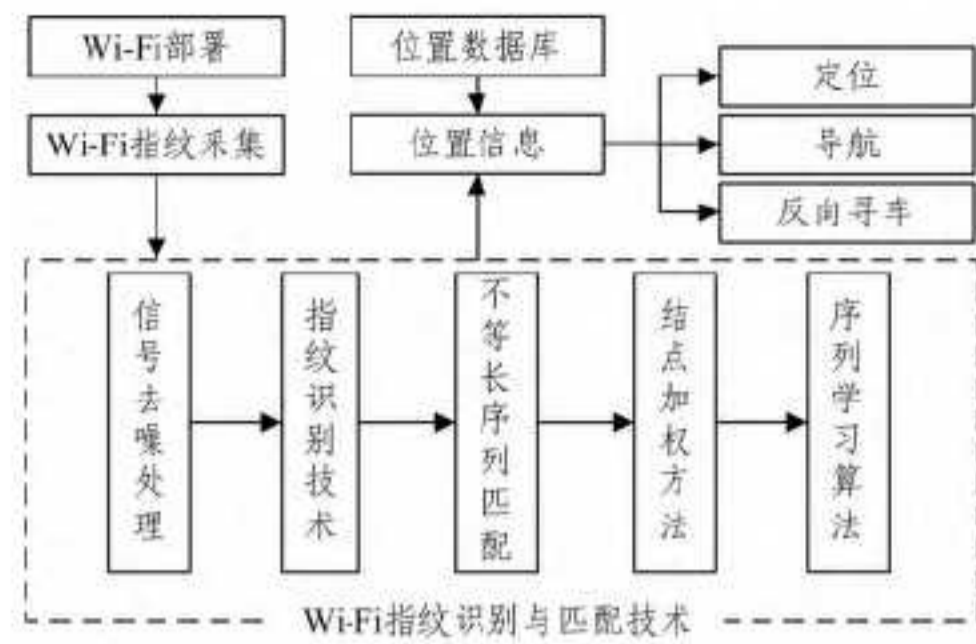


图 2 系统技术架构

本文研究涉及 Wi-Fi 指纹识别与匹配、环境 Wi-Fi 部署、计费与支付、APP 开发等方面的技术,其中重点是研究基于 Wi-Fi 指纹识别与匹配技术。

由于 Wi-Fi 序列受环境影响较大,且个别结点稳定性较差,增大了序列识别及相似性计算的难度。该项研究主要包括序列识别中信号抗干扰计算、同一地理位置的 Wi-Fi 序列识别计算、不等长序列相似性计算、Wi-Fi 序列匹配、易失性结点误差消除等内容。其核心是 Wi-Fi 指纹序列相似性计算,主要解决不等长、易变序列的识别及不同序列相似性计算等问题。

3.1 候选序列确定

随着部署热点数量的增加,指纹匹配需搜索的热点序列数量巨大。在真实应用场景下,对某点的位置识别具有局部性,即局限于一个相对狭小的目视范围内。在该范围内,总会有一定数量的热点信号共同出现在待识别序列和候选序列中。因此,没有必要对序列库中的所有序列执行匹配,确定包含此热点信号的序列作为候选序列可大大减小下一步匹配的计算量。准备候选序列分两个步骤进行:

1) 将待测序列中的信号按强度排序,选择其中强度最大的 N 个信号。由于 Wi-Fi 基站自身稳定性及传播通道状态的变化,待测序列中的信号强度、数量都有可能发生变化。移动终端收到信号后,首先按强度进行排序,并取出强度最大的 N 个信号,得到待识别信号序列 AP_1, AP_2, \dots, AP_N 。

2) 分别以这 N 个信号为索引,从指纹库中筛选包含信号 AP_i 的指纹序列。信号索引事先在离线状态下做好,这样可快速获得包含这些信号的候选序列。

理论上,索引数量 (Index) 与部署的无线热点数量相同,而由于 Wi-Fi 具有局部性,即指纹序列所包含的信号一般来自附近热点,因此索引长度可以设置得较短(一般可取 10~20)。假设索引长度为 k ,整个索引过程相当于一次映射,其时间消耗可视作常数。

具体过程如算法 1 所示。

算法 1 获取候选序列

Input: Signals (from Sensors), FingerPrintDataBase

Output: Sequences

Process:

1. Vector Sequences=NULL
2. Vector Signals=GetSignals() //from Sensors
3. Signals=SortByStrength(Signals)
4. Signals=GetTheFirstNSignals(Signals,N)

5. For Each $API \in \text{Signals Do}$
6. Sequences = Index(API, FingerPrintDataBase)
7. End For

算法目标是获取与待识别序列相关的一组候选序列,作为下一步计算相似性、确定待测点位置标签的序列集合。

3.2 不等长序列相似性计算

将 Wi-Fi 指纹相似性计算抽象为不等长易变序列的等价计算问题。设 $s_1 = (r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1m})$, $s_2 = (r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n})$ 分别表示两个 Wi-Fi 序列中的热点强度, m 和 n 是热点个数, 则 Wi-Fi 指纹相似性可表示为 s_1 和 s_2 的相似性。由于 m 和 n 未必相同, 因此采用序列同类属性比和属性值均方差加权融合的方法进行计算。

算法关键是将不等长序列转换为等长序列, 然后计算等长序列均方差。按以下步骤进行:

1) 首先构造 s_1 和 s_2 中热点的并集, 并按热点名称或 ID 号重新排列为新序列 p , 设 p 的大小为 t 。该序列包含在 s_1 和 s_2 中出现过的所有 Wi-Fi 热点。

2) 将原来在 s_1 和 s_2 中的热点强度值标记到序列 p 上, 分别形成两个序列 $p_1 = (r'_{11}, r'_{12}, \dots, r'_{1t})$, $p_2 = (r'_{21}, r'_{22}, \dots, r'_{2t})$ 。其中, 原序列中没有的热点强度标为 0。 r'_{1i} 和 r'_{2i} 分别表示第 i 号热点在两个序列中的强度。通过这种方式将不等长序列转化为等长序列, 将计算 s_1 和 s_2 的相似性转化为计算 p_1 和 p_2 的相似性。

序列变换如图 3 所示。



图 3 序列变换

3) 计算两个序列热点强度的均方差, 即:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (r'_{2i} - r'_{1i})^2} \quad (1)$$

这样, 既能体现原序列同时拥有的热点强度差异, 也能反映当热点仅出现在一个序列中对序列相似性的影响, 这是一种简单快速的计算方法。均方差是一种可选方案, 接下来还将针对计算序列相似性的其他方法做对比研究。

具体过程如算法 2 所示。

算法 2 不等长序列相似性计算

Input: Vector V, Sequences

Output: Result // Sequences 中与 V 最相似序列

Process:

1. Double Min=0
2. Vector Result=NULL
3. For Each $S_i \in \text{Sequences Do}$
4. Vector Temp = V - S_i // 扩展 V
5. Set Temp. signals=0
6. $V = V \cup \text{Temp}$

7. Temp = $S_i - V$ // 扩展 S_i
8. Set Temp. signals=0
9. $S_i = S_i \cup \text{Temp}$
10. Double Sim = Similarity(V, S_i)
11. If Sim < Min Then
12. Min = Sim
13. Result = S_i
14. End If
15. End For

该算法实现了在候选序列中找出与待检序列最接近的序列。此结果将用于从后台数据库中查找位置信息。

3.3 方法应用示例

具体实现中, 首先将各采集点的指纹信息存入数据库, 并以室内地理符号系统位置标签为指纹库索引。定位时, 将实测位置的 Wi-Fi 指纹与指纹库记录进行比较, σ 值最小的指纹数据位置标签作为待测位置的定位参考值。以智能停车场中的汽车定位为例, 指纹获取与匹配过程如图 4 所示。

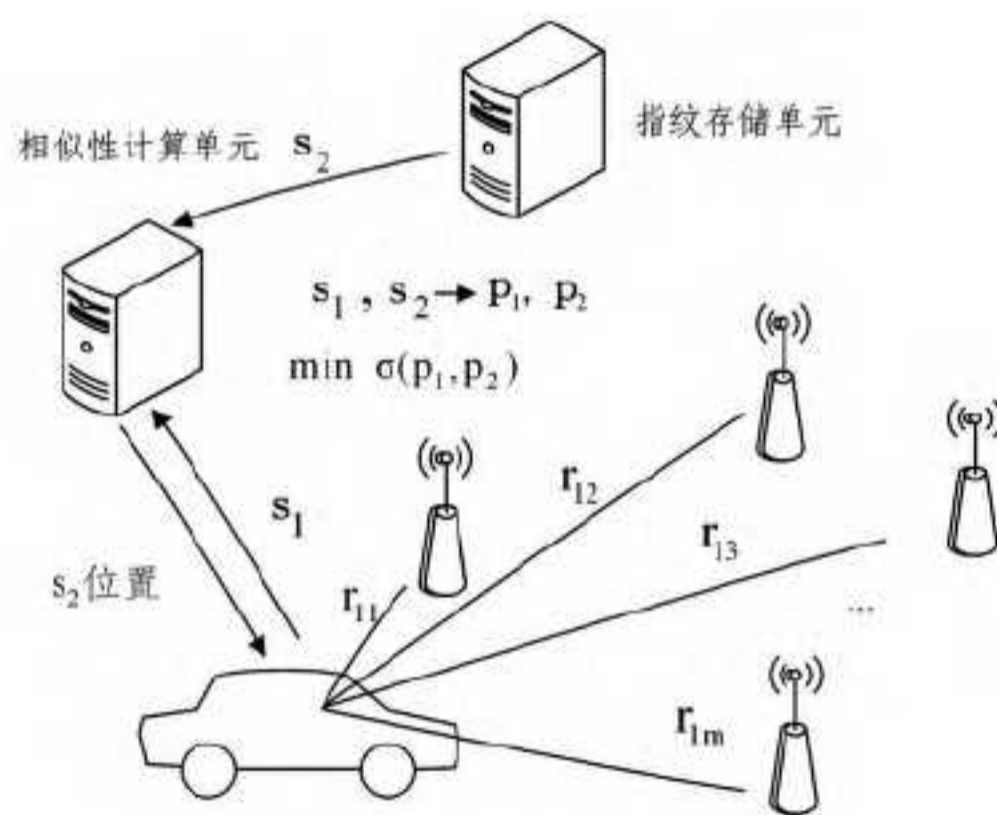


图 4 指纹获取与匹配

图 4 中, 指纹存储单元记录了定位基点 ID、物理位置标识、Wi-Fi 序列强度信息, 相似性计算单元实现了不等长序列归并及相似性计算。首先汽车实时获取附近 Wi-Fi 热点信息, 并将其封装成 s_1 发往相似性计算单元, 相似性计算单元从已知指纹数据库中依次取得参考点的 Wi-Fi 序列 s_2 , 然后转换为等长序列 p_1 和 p_2 并计算相似性。最后将具有最小相似性的序列 s_2 对应的位置信息返回汽车。该过程实现了从 Wi-Fi 热点序列到汽车位置的映射计算。寻找车位、反向寻车、室内导航过程中的位置确定与该图类似。

3.4 数据更新及容错处理

在定位过程中, 初步实现了 Wi-Fi 指纹动态更新策略。受低端 Wi-Fi 热点稳定性、停车场环境变化等因素影响, 参考点处的 Wi-Fi 序列强度将发生漂移。本文认为在需要用户确认定位的情况下, 用户确认可作为 Wi-Fi 序列更新的触发机制, 用最新采集的序列更新指纹数据库。更新过程如图 5 所示。

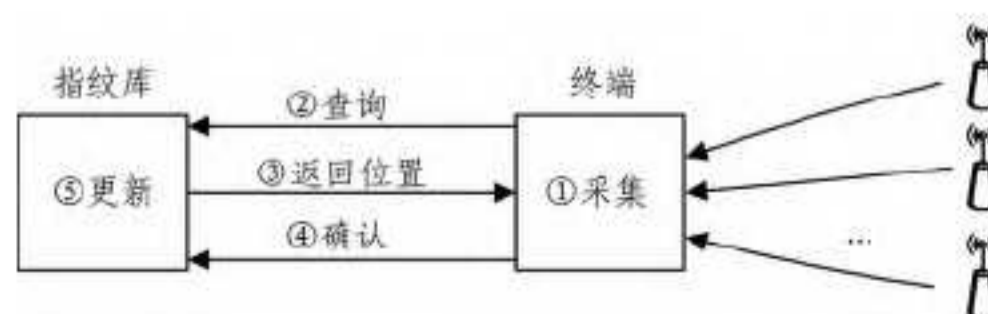


图 5 指纹库动态更新过程

更新过程分为5步。前3步与图4所示过程类似。对于有用户确认的情况,当用户发出确认信息后,指纹库系统就用当前采集的指纹信息进行替换,保证了指纹库的动态更新。具体包括:1)移动端采集当前位置的Wi-Fi指纹;2)根据指纹信息查询指纹库;3)获取该指纹所对应的位置信息;4)如果该位置与移动端所在位置相同,则由用户发出确认命令;5)收到确认命令后,系统对原指纹记录进行更新。系统设计对于一定时间内未执行更新的位置参考点给出报警信息,由管理人员现场采集并更新。通过这种方式,将用户行为引入指纹更新过程中,能有效克服传统Wi-Fi设备稳定性差的问题。

提升系统潜在价值是系统优化更深层次的需求。充分利用停车行为数据挖掘技术,对车辆及车位状态信息进行分析。根据对用户停车习惯、车位资源利用率等方面的分析、挖掘,建立用户行为模型,以指导商业推广,具体包括公共车位资源分析、停车场规划分析、用户行为分析、城市道路规划分析、公共交通规划分析和城市功能区规划分析,以期对城市公共停车位资源管理、停车场建设、城市道路规划、城市功能区域规划等提供决策支持。

4 系统部署与实验

力求在实验基础上研究算法执行、用户体验、管理效率等问题,以最终实现能够满足现实需求,且高效、可靠、稳定的智能停车场系统。

针对Wi-Fi指纹定位技术研究,实地测绘了某大型超市地下停车场布局,根据实际地理数据设计了Wi-Fi部署平面图,并在模拟120个车位、约2500m²的范围内非均匀部署了12台Wi-Fi热点,每台间距约10~20m。同时基于Android系统开发了Wi-Fi检测模块,用于实时检测Wi-Fi信号。在此基础上,检测了部署范围内的Wi-Fi信号谱图。考虑到在寻找车位与反向寻车过程中人们对定位精度要求低的特点,确定了以2m为单位进行检测,共测绘620个Wi-Fi定位基点。定位基点示例数据如表1所列。

表1 定位基点示例数据(dBm)

位置ID	AP001	AP002	AP003	AP004	AP005
1	-78	-69	-36	-90	-93
2	-75	-81	-36	-81	-87
3	-63	-72	-66	-81	-84
4	-48	-54	-81	-81	-93
5	-51	-45	-90	-87	-85
6	-48	-51	-90	-87	-85
7	-48	-54	-81	-87	-84
8	-75	-87	-39	-93	-87
9	-72	-87	-69	-84	-90
10	-66	-78	-57	-75	-90

信号强度表示为负数,且与距离单调相关。实际测试中分别对620个基点收集了5-12维强度数据。表1仅列出了其中10个定位基点的数据示例,每个定位基点信号向量选取了5个Wi-Fi热点信号。

在测试过程中,分别测试了恒定功率和随机扰动功率两种情况下,保持Wi-Fi热点全开,以及随机开10热点、8热点的情况,来模拟不等长序列的情况。精度为2m的定位测试结果如表2所列。

第(1)组实验表明,在固定发射功率前提下,测试区域内热点数在10个以上时体现了良好的效果。第(2)组实验中,在随机降低发射功率模拟信号强度变化的情况下,正确率有较大幅度的下降。在停车场车位定位的应用背景下,目的是使车主在视域范围内能够发现车位或车辆,而由于车主有至少几十米的目测范围,且遥控钥匙有效寻车信号也能覆盖此范围,因此定位精度达10~20m足以解决问题。实际上,在停车场、大型商场、展会等应用场景下,定位精度在此范围内都是可以接受的。本文定位精度完全能满足智能停车场的定位需求。

表2 定位基点示例数据(dBm)

组别	热点数	测量点数	正确数	正确率
(1)	12	50	50	100%
	10	50	49	98%
	8	50	44	88%
(2)	12	50	43	86%
	10	50	41	82%
	8	50	33	66%

实验表明,该方案通过部署Wi-Fi热点实现定位功能,大大降低了定位系统硬件开销,实现了低成本部署,在功率恒定情况下能够获得较高的定位正确率,尽管在功率可变情况下效率并不理想,但在实际工程过程中,可通过增加冗余结点、确保信号稳定等形式保证信号覆盖的稳定性。

结束语 文中针对城市停车难问题,提出了基于Wi-Fi指纹定位等技术构建智能停车场系统的方案,既创新了停取车流程,减少了等待时间,又降低了部署成本,有利于系统推广,同时系统还实现了室内外导航的无缝对接、免取卡操作、自动计费缴费等。该系统的广泛使用将会显著改善城市停车难现状,对充分挖掘现有车位资源价值、缓解城市交通问题具有重要意义,对提升车主停车体验、提高城市生活质量具有积极影响。在目前手持信息终端系统高度普及的情况下,采用低成本硬件搭建高效无线覆盖系统,构建基于Wi-Fi指纹定位与室内导航技术的智能停车场系统可有效缓解停车难题,提升用户停车体验。该系统适用于广场、超市、写字楼等具有高密度停车需求的场合,具有广阔的应用前景。接下来将进一步优化序列匹配、场内导航的相关算法,强化数据分析技术研究,以进一步提升系统性能。

参考文献

- [1] 2014 中国主要城市汽车保有量[OL]. <http://info.xcar.com.cn/201405/news-1585413-1.html>
- [2] 李开国. 特大城市机动车增长与分布特征研究[J]. 交通与运输(学术版), 2013(2):1-4
- [3] 邓中亮,李斌. 基于J2EE的终端管理系统设计[J]. 软件导刊, 2010,9(3):33-34
- [4] 赵崧崧. 区域停车诱导系统诱导标志布局及设计[D]. 北京:北京交通大学, 2014
- [5] 陈耀. 城市停车诱导信息系统[D]. 杭州:浙江大学, 2013
- [6] 蒋欣辰. 基于Android平台的NFC服务框架的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2014
- [7] 吴惠惠. 智能停车引导及NFC支付系统的设计与分析[J]. 电子科技, 2015,28(8):122-125

(下转第541页)

0.04%, 个股的交易成本为 0.26%。表 5 列出了该系统生成的遗传编程(GP)最优技术交易策略在相应测试期的收益率、

“买入_持有”策略(B&H)收益率以及表 4 所列的流行技术分析指标收益率的统计结果。

表 5 测试品种的遗传编程策略 GP、“买入_持有”策略 B&H、流行技术指标的收益率统计结果(%)

测试品种	GP	B&H	DMAC	RSI	WPR	CCI	FSTO	SSTO	MACD
上证综指	13.6	8.5	-8.2	3.4	-6.6	-4.0	8.6	8.0	-1.3
000002	58.2	36.0	3.2	-35.3	-21.3	15.6	9.2	13.5	-11.2
000623	17.5	-36.0	40.4	27.5	13.5	-38.6	7.7	36.2	10.4
600000	17.6	-17.9	3.0	1.3	-2.6	-0.5	2.7	-3.0	-13.6
600019	9.6	-22.4	4.0	2.8	-1.5	-19.2	-1.6	3.3	-9.5
601318	20.5	-8.2	12.2	14.2	-42.3	-6.7	-14.3	-2.3	18.5
平均值	22.8	-6.7	9.1	2.3	-10.1	-8.9	2.1	9.3	-1.1

从表 5 统计结果可以看出,在所有测试品种中,遗传编程算法(GP)生成的技术交易策略均获得了正收益,平均收益率高达 22.8%,远优于其他策略的收益率;流行技术指标中,DMAC 和 SSTO 收益较好,在测试期内,各测试品种的平均收益率分别达到 9.1%和 9.3%,所有流行技术指标的收益率波动较大,遗传编程算法生成的技术交易策略与“买入_持有”策略相比较,获得了 29.5%的超额收益。以上结果表明了基于遗传编程算法生成的技术交易策略的有效性,从而说明了我国股票市场并未达到弱式有效。

结束语 尽管影响股票市场的因素很多^[6],宏观因素包括政策法规、利率调整、国际金融市场的变化、重要人物的讲话等,微观因素包括行业发展、区域经济、公司发展等,但市场的有效性与投资者的利益直接相关,并深远地影响着资本资产配置和定价的效率^[7,8]。长期以来,技术交易规则的有效性与有效市场假说之间的关系一直是学术界的讨论热点。因为可以通过检验技术分析的有效性间接检验股票市场的有效性,所以文中构建了基于遗传编程算法的中国股票市场的有效性检验系统。该系统以历史交易数据(训练集)作为系统的输入,通过遗传编程算法进化生成最优交易策略,并在测试集中检验最优交易策略的盈利能力,从而间接检验市场的有效性。系统采用移动检验的方法,在测试集中每次检验完最优技术交易策略后,测试集中的部分数据将转变成训练集数据。

最后利用该算法对上证综合指数和 5 个沪深股市个股进行实证检验,回测结果表明,提出的方法相对于“买入_持有”策略能够获得超额收益,并且优于常用的流行技术指标,这说明我国股票市场并未达到弱式有效。

参 考 文 献

- [1] 魏玉根. 技术交易系统与我国股票市场有效性的实证分析[J]. 经济科学, 2000(2): 56-63
- [2] 邓杰, 唐国兴. 中国股票市场技术交易规则有效性的实证研究[J]. 华东经济管理, 2009, 23(5): 135-140
- [3] 林赵华. 股票投资周 CCI 指标策略收益的检验分析[J]. 广西财经学院学报, 2009, 22(2): 64-69
- [4] 曾劲松. 技术分析与中国股票市场有效性[J]. 财经问题研究, 2005(8): 27-30
- [5] Koza J R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection [M]. Cambridge: The MIT Press, 1992
- [6] 朱振国, 宋军, 乜堪雄. 基于 Vague 集相似度量的股票选择[J]. 计算机科学, 2008, 35(7): 199-212
- [7] 瞿慧. 基于遗传编程的上证 50 指数技术交易规则研究[J]. 管理科学, 2010, 23(5): 103-113
- [8] 瞿慧, 刘焯, 李娟. 基于遗传编程的中国股票市场有效性新检验[J]. 控制与决策, 2011, 347(23): 137-142

(上接第 515 页)

- [8] Leavitt N. Payment applications make e-commerce mobile [J]. Computer, 2010, 43(12): 19-22
- [9] Gu Rui-jun, Yao Juan, Wang Jia-cai. Research on mobile payment technology and business models in China under e-commerce environment[J]. Future Generation Information Technology, 2010, 6485: 334-343
- [10] 程斌, 雷明海. 地下停车场停车智能化方案介绍[J]. 智能建筑电气技术, 2014, 8(5): 84-86
- [11] Gressmann B, Klimek H, Turau V. Towards ubiquitous indoor location based services and indoor navigation[C]//Workshop on Positioning Navigation and Communication(WPNC), 2010: 107-112
- [12] 蔡朝晖, 夏溪, 胡波, 等. 室内信号强度指纹定位算法改进[J]. 计算机科学, 2014, 41(11): 178-181
- [13] Schulcz R, Varga G, Toth L. Indoor location services and context-sensitive applications in wireless networks[C]//2010 Inter-

- national Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN), 2010: 1-10
- [14] Kushki A, Plataniotis K N, Venetsanopoulos A N. Intelligent Dynamic Radio Tracking in Indoor Wireless Local Area Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(3): 405-419
- [15] Cheng Y Y, Lin Y Y. A new received signal strength based location estimation scheme for wireless sensor network[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(3): 1295-1299
- [16] Wu K S, Xiao J, Yi Y W, et al. CSI-based indoor localization[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2013, 24(7): 1300-1309
- [17] 毛勤, 曾碧, 叶林锋. 改进的室内移动机器人模糊位置指纹定位研究[J]. 计算机科学, 2015, 42(11): 170-173
- [18] 张明洋, 陈剑, 闻英友, 等. 基于滑动窗口最长公共子序列 Wi-Fi 指纹定位算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2014, 35(10): 1390-1394