



引用格式:张宁,付炜平,孟荣,等.室内空间定位方法研究综述[J].科学技术与工程,2022,22(3):882-892.

Zhang Ning, Fu Weiping, Meng Rong, et al. Review on the indoor space positioning methods[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(3): 882-892.

电子技术、通信技术

室内空间定位方法研究综述

张宁¹, 付炜平¹, 孟荣¹, 李光¹, 赵智龙¹, 杨家骏^{2*}, 王淳灏²

(1. 国家电网河北省电力有限公司检修分公司, 石家庄 050000; 2. 保定云深电子科技有限公司, 保定 071000)

摘 要 随着物联网技术、智能移动终端技术、移动计算技术的飞速发展,当今社会对室内定位服务的需求也日益强烈,传统的卫星定位、基站定位等室外定位技术已不能适应当今社会的应用需求。因此,在当今时代背景下,开展室内空间定位技术的研究、推进室内空间定位技术的行业应用对于社会的智能化发展与进步具有十分重要的意义。鉴于此,首先概述了超宽带定位、蓝牙定位、超声波定位等主流室内定位技术以及测距和非测距两类室内空间定位算法;而后,论述了室内空间定位技术在公共安全、人资物资管理、智能交通、室内定位服务、大数据关联分析以及社交网络等典型场景中的应用研究现状;最后,探讨了现阶段室内空间定位技术发展所面临的挑战,并对未来的主要研究方向进行了展望。

关键词 物联网技术;智能移动终端技术;移动计算技术;室内空间定位技术;行业应用

中图法分类号 TN929.5;

文献标志码 A

Review on the Indoor Space Positioning Methods

ZHANG Ning¹, FU Wei-ping¹, MENG Rong¹, LI Guang¹, ZHAO Zhi-long¹,
YANG Jia-jun^{2*}, WANG Chun-hao²

(1. State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China;

2. Baoding DeepCloud Electronic Technology Co., Ltd., Baoding 071000, China)

[Abstract] With the rapid development of Internet of Things technology, smart mobile terminal technology, and mobile computing technology, the demand for indoor positioning services in today's society is also increasing. Traditional outdoor positioning technologies such as satellite positioning and base station positioning can no longer meet the application needs of today's society. Therefore, under the background of the current era, it is of great significance to carry out the research of indoor space positioning technology and promote the industrial application of indoor space positioning technology for the intelligent development and progress of society. Firstly, mainstream indoor positioning technologies such as ultra-wideband positioning, bluetooth positioning, and ultrasonic positioning, as well as two types of indoor space positioning algorithms, ranging and non-ranging were summarized. Then, the status quo of application research of indoor space positioning technology in typical scenarios such as public safety, human resources and material management, intelligent transportation, indoor positioning services, big data association analysis, and social networks were discussed. Finally, the challenges faced by the development of indoor space positioning technology at the present stage were discussed, and the main research directions in the future were prospected.

[Keywords] Internet of Things technology; intelligent mobile terminal technology; mobile computing technology; indoor space positioning technology; industry application

随着现代社会的不断进步,物联网技术、智能移动终端技术、移动计算技术也飞速发展^[1]。现如今,大型建筑日益增多,室内则是群众活动的主要场所^[2]。此外,当今的公共安全、人员管理及监护、物流配送、智慧城市建设等领域也需要精准的室内外定位信息^[3]。随着当今社会对室内定位服务需

求的日益强烈,需要实现广泛、不间断且高效的室内空间定位,满足与日俱增的室内定位服务应用需求^[4]。

在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中,“导航与位置服务”被列为中国长期发展需重点关注的战略性新兴产业,“全方位

收稿日期:2021-07-02; 修订日期:2021-09-24

基金项目:国网河北省电力有限公司科技项目(kj2020-026)

第一作者:张宁(1980—),男,汉族,河北石家庄人,硕士,高级工程师。研究方向:电力系统及其自动化技术。E-mail:zhning00@126.com。

*通信作者:杨家骏(1998—),男,汉族,山西阳泉人,工程师。研究方向:高电压与绝缘技术。E-mail:807049290@qq.com。

投稿网址:www.stae.com.cn

精确定位和信息获取技术”已成为信息安全等领域的重点研究内容^[5]。此外,由中国科研团队自主研发的室内高精度定位导航系统——“羲和系统”作为“北斗系统”的室内配套工程,也反映了中国对这一研究领域的支持与鼓励^[6]。

鉴于此,结合当今社会对室内定位服务的应用需求,总结室内空间定位技术的应用现状与发展方向。首先,概述当今主流室内定位技术以及测距和非测距两类室内空间定位算法;而后,论述室内空间定位技术在公共安全、人资物资管理、智能交通、室内定位服务、大数据关联分析以及社交网络等典型场景中的应用研究现状;最后,探讨现阶段室内空间定位技术发展所面临的挑战,并对未来的主要研究方向进行了展望。

1 室内空间定位技术及算法

1.1 主流室内空间定位技术

近十几年以来,室内空间定位技术飞速发展,逐渐突破了“特定设备,特定技术,高成本”的技术和应用限制,且逐渐向普适性定位、低成本定位、高精度定位^[7]的方向发展。目前,常见的室内空间定位技术如表1所示。

表1 室内空间定位技术
Table 1 Indoor space positioning technology

类型	室内空间定位技术
主流定位技术	超宽带定位技术
	蓝牙定位技术
	超声波定位技术
	红外线定位技术
	射频识别定位技术
	WIFI 定位技术
	ZigBee 定位技术
单一定位技术	⋮
	基于计算机视觉定位技术
	基于光跟踪定位技术
其他定位技术	基于磁场定位技术
	⋮
	WIFI/地磁混合定位技术
混合定位技术	WIFI/MEMS/BT/RFID/气压
	传感器/光传感器混合定位技术
	WIFI/ RFID/GPS 混合定位技术
	⋮

1.1.1 超宽带定位技术

超宽带技术(ultra wide band,UWB)是近年来新兴一种传输数据速度快、发射能耗小、穿透力大、安全性好、基于极窄脉冲的无线技术^[8-9]。与传统通信不同的是,UWB 不需载波,其是借助极窄脉冲来传输数据,因而其具有 GHz 量级的带宽。

UWB 技术可用于室内精确定位。近年来,

UWB 技术在变电站工作人员监管、战场士兵的位置发现、机器人运动跟踪^[10]、矿井巷道定位^[11]、火灾消防员定位^[12]以及车辆地下精准定位等场景中,得到了应用。文献[10]结合 UWB 技术,研发了一套应用于导购机器人的室内空间无线定位系统,该系统抗干扰能力强、误差较小,可较好地满足导购机器人的定位服务与导航应用需求。针对矿井巷道的特殊环境特点,并结合系统组网模型和 UWB 精确定位算法,文献[11]设计了一种基于 UWB 技术的精度高、并发容量大、安装便捷的矿井精确定位系统,满足了智能矿山建设的精准定位需求。文献[12]充分利用目标到 UWB 基站以及到其他目标的测距信息,提出基于 UWB 技术的消防员室内协同定位算法,该算法在强弱非视距(non line of sight,NLOS)环境下都拥有较高的定位性能,为复杂火场环境下消防员的定位问题提供了参考。

UWB 技术的物理特性使得其可以在无完全遮掩的复杂室内环境中实现高效精准定位;近年来,基于 UWB 的空间定位技术在多个军民领域中实现了广泛应用。

1.1.2 蓝牙定位技术

蓝牙技术(Bluetooth)是一种数据传输距离短、功耗低的无线通信技术。蓝牙技术运用于定位时需要测量信号的强度信息^[13]。蓝牙室内定位系统设备具有体积小、易集成等特点,因此较容易推广应用^[14]。结合城市轨道交通环境以及所面向的用户群体,从定位精度、经济性、工程量等多角度出发,文献[15]以某城市轨道交通车站为试点,在站厅、站台、电梯处部署蓝牙设备,设计了基于蓝牙定位技术的城市轨道交通室内导航系统,该系统为乘客目的地指引提供了便利,满足轨道交通室内定位导航的应用需求。

蓝牙技术应用于室内环境下较短距离的定位时,信号的传输一般不受视距的影响。蓝牙技术最大的缺陷是信号传输距离短;此外,蓝牙定位网络建设的成本较大,且在复杂的定位环境下,定位的效果较差。综上,蓝牙定位技术适用于数据传输距离短、功耗小、环境相对简单、定位精度要求低的应用场景。

1.1.3 超声波定位技术

目前,超声波定位技术大都采用反射式的测距方法^[16]。目前,比较常用的基于超声波的室内空间定位大概有两种:一种为将超声波技术与射频识别技术结合进行定位,这种技术成本不高,能耗较低,定位精准;另一种为多超声波的空间定位技术,该技术的抗干扰能力强,定位精度高。文献

[17]提出了一种融合无线射频识别技术和超声波技术的室内空间定位系统,该系统结构较为简单、能耗较小,可实现单辆自动导引运输车(automated guided vehicle, AGV)小车在单一小空间中的实时定位,为AGV小车的路径实时规划提供了参考方案。文献[18]提出了一种基于多超声波传感器的移动机器人目标定位新方法,该方法是根据测得的渡越时间比值来计算待测目标的坐标,避免了对超声波声速的依赖以及环境温度对定位精度的影响,为基于超声波传感器的移动机器人高精度定位提供了新的借鉴。

超声波定位技术的精度可达厘米级别,相对于其他室内定位技术而言,精度较高;但超声波在信号传输过程中的衰减情况较为明显,因而会影响超声波定位的覆盖范围,且超声波定位易受环境干扰。综上,超声波定位技术适用于定位精度要求高、数据传输距离短、环境相对简单的应用场景中。

1.1.4 红外线定位技术

红外线是电磁波的一种,其波长介于无线电波和可见光波之间。在红外线应用于室内空间定位时,红外线的标识首先发射调制的红外射线,布设于室内空间的光学传感器可接收到红外射线,而后通过定位算法可实现定位^[19]。红外线定位技术可实现较高精度的室内定位,但是由于红外射线不能透过障碍物传播的性质,使得只能利用红外线定位技术在视距范围内定位;此外,红外线定位技术还有传输距离短的缺陷。综上,使得红外线定位技术在实际工程应用中的定位效果较差^[20]。

总体而言,红外线定位技术因其功耗较大、易受障碍物影响、传输距离短、定位复杂等缺点,在可用性和实用性上与其他定位技术有较大差距,在实际工程中应用较少^[21]。

1.1.5 射频识别定位技术

射频识别技术(radio frequency identification, RFID)是一种操控简易、适用于自动控制领域的技术^[22]。射频识别技术应用于识别和定位时主要通过射频的方式进行非接触式的双向通信^[23]。文献[24]利用RFID技术,通过研究RFID读卡器和标签的安装位置,给出了充电装置自动充电的控制流程图,最后验证了充电装置的自动充电功能,实现了三亚市某有轨电车的精准定位。文献[25]以物联网技术为基础,设计了一种矿用智能安全头盔智能终端系统,该系统利用RFID高性能室内定位技术实现矿井复杂环境下人员的监控和定位。

射频识别定位技术的作用距离最长为几十米;

其可在较短时间内得到厘米级定位精度的位置信息,且信号传输范围很大,定位系统成本较小。RFID定位设备相对稳定,且RFID定位终端、RFID标签的价格较低,所以可以进行大规模的推广使用。近年来,RFID定位技术在物资人员管控中有着成熟的应用和良好的使用前景。

1.1.6 WIFI定位技术

在无线局域网(wireless local area networks, WLAN)中,收集无线访问接入点(wireless access point, AP)或网卡处测得信号的强度信息,而后可通过匹配信号强度算法可实现多应用领域内复杂大空间环境中的定位、监察和追踪^[26-27]。WIFI技术由于在室内传输距离远、使用方便等优点,已成为无线以太网的一种室内定位解决方案。基于WIFI定位技术,文献[28]提出了一种加权K近邻(weighted K-nearest neighbor, WKNN)算法与改进粒子群算法相结合的混合定位算法,该混合定位算法在定位精度上相比传统的位置指纹算法有显著的提高。

目前,WIFI定位技术的覆盖范围有限,只适用于小空间范围内的室内定位,且较容易受到其他信号的干扰,从而影响其精度,且定位系统的能耗也较高^[29]。

1.1.7 ZigBee定位技术

ZigBee技术是一种新型的数据传输距离短、传输速率低的无线通信技术^[30],也可以用于室内定位。文献[31]提出一种应用于消防机器人的捷联惯性导航系统与ZigBee定位系统相融合的组合定位方法,该组合定位方法精度相比常规的定位方法有明显的提高,且较为稳定可靠,可以满足消防机器人的实时精准定位。

ZigBee技术主要应用于无线个人区域网,其具有距离近、功耗小、成本低等特点^[32],可以很好地满足室内空间定位系统的应用需求;此外ZigBee定位技术对于网络稳定性的要求较高,且易受周围环境的影响。综上,ZigBee定位技术适用于网络稳定、环境简单、空间相对较小的室内空间定位场景。

1.1.8 其他室内空间定位技术

现如今,除了上述提及的室内空间定位技术外,还有基于计算机视觉^[33-35]、光跟踪定位^[36-37]、图像分析^[38]、磁场^[39-40]、信标定位^[41]的单一室内空间定位技术以及WIFI/地磁^[42]、WIFI/MEMS/BT/RFID/气压传感器/光传感器、WIFI/RFID/GPS等多源混合定位技术;这些技术大都处于研究试验阶段,稳定性和实用性都有待提高。文献[34]以交通视频中的行人为研究对象,结合计算机视觉理论,实现了运动目标的识别与定位,为中国行人交通流

数据智能采集工作提供了新的借鉴。文献[37]提出一种基于激光跟踪定位的运动目标检测方法,其利用激光通过“粗定位”和“精准定位”等步骤,实现了针对运动目标的迅速锁定与精准定位。文献[42]提出了一种 WIFI/地磁相融合的室内空间定位算法,使用 WIFI 定位结果矫正地磁粒子滤波算法中存在的不足,降低地磁定位时的系统误差,从而提高了室内空间定位的精度。

1.2 主流室内空间定位算法

当前的室内空间定位技术所用的定位算法大致分为两类,如表 2 所示。

(1) 基于无需测距的空间定位算法,主要包括接近度定位^[43]和位置指纹匹配定位^[44];此类定位算法是依靠待测点与锚节点的连通性进行场景分析进而得到位置信息^[45]。

(2) 基于测距的空间定位算法,主要包括测距离^[46]、测角度^[47]和测时差^[48];此类定位算法是依靠待测点与锚节点之间的距离或角度求取位置信息^[49]。

表 2 室内空间定位算法

Table 2 Indoor space positioning algorithm

类型	室内空间定位算法
基于无需测距的空间定位算法	质心定位算法
	APIT 定位算法
	DV-Hop 定位算法
	ROCRSSI 定位算法
	⋮
基于测距的空间定位算法	RSSI 定位算法
	TOA 定位算法
	AOA 定位算法
	TDOA 定位算法
	⋮

1.2.1 基于无需测距的空间定位算法

常见的基于无需测距的空间定位算法有:质心定位算法^[50]、近似三角形内点测试(any point in time, APIT)定位算法^[51-52]、距离向量跳跃(distance vector-hop, DV-Hop)定位算法^[53-55]和基于接收信号强度比较的环重叠(ring overlapping based on comparison of received signal strength indication, ROCRSSI)定位算法^[56-57]等。此类算法都是使用由参考节点和待测节点所组成的分布式异构网络模型,因而不需增加额外硬件设备。

(1) 质心定位算法。质心定位算法的定位精度较为一般,且参考节点数对定位精度的影响较大,但质心定位算法的通信成本小。

(2) APIT 定位算法。APIT 定位算法的定位精度较为良好,且参考节点数对定位精度的影响较

小,但 APIT 定位算法的通信成本是最大的。

(3) DV-Hop 定位算法。DV-Hop 定位算法的定位精度较为良好,且 DV-Hop 定位算法的通信成本较小,但参考节点数对定位精度的影响较大。

(4) ROCRSSI 定位算法。ROCRSSI 定位算法的定位精度为最好,且 ROCRSSI 定位算法的通信成本为最小,但参考节点数对定位精度的影响较大。

通过对以上 4 种定位算法性能的总结分析对比,可得各种定位算法在不同的应用需求下,定位性能也不相同,虽然在定位中不需要增添额外硬件设备,但总体而言,通信成本较大。

1.2.2 基于测距的空间定位算法

基于测距的空间定位算法主要有接收信号强度指示(received signal strength indication, RSSI)定位算法^[58-60]、基于信号到达时间(time of arrival, TOA)定位算法^[61-62]、基于信号到达角度(angle of arrival, AOA)定位算法^[63-64]以及基于信号到达时间差(time different of arrival, TDOA)定位算法^[65-67]等。

(1) RSSI 定位算法。RSSI 定位算法是已知在待测节点处接收到的信号的强度值;而后通过已知的距离损耗模型求取得待测节点到参考节点的实际距离;最后,利用所求得距离计算出待测节点的实际位置^[58-60]。

RSSI 定位算法与 TOA、AOA、TDOA 等定位算法相比,不需要额外的硬件设备的支持,且比获得 TOA、AOA、TDOA 等定位算法的多径特征信息要较容易。

(2) TOA 定位算法。TOA 定位算法在使用时需要已知至少三个参考节点的实际位置坐标信息;而后,通过测量信号从参考节点到待测节点所经历的时间进而求取得待测节点的实际位置^[61]。图 1 为 TOA 定位算法示意图。

实际的室内环境存在着非视距(NLOS)以及多径效应(multipath)等问题^[62],这些问题都使得 TOA 定位算法的测量值与实际值之间会存在较大的差

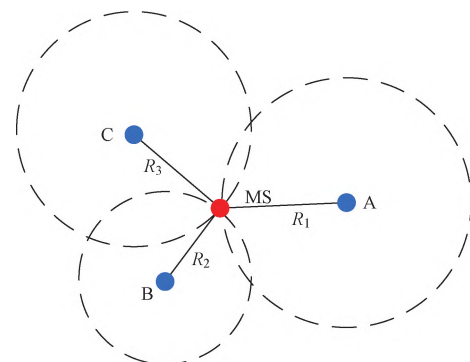


图 1 TOA 定位算法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of positioning algorithm of TOA

距,所以在 TOA 定位系统中要求待测节点与参考节点计算无线信号开始传输的时间要保持一致。要满足上述要求,需要硬件设备来保证时间的同步一致性,这往往会增加定位系统的成本。

(3) AOA 定位算法。AOA 定位算法是通过测量待测节点与参考节点之间的角度来求取待测节点的实际位置信息,其算法原理如图 2 所示。

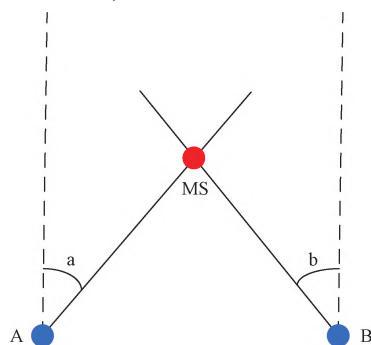


图 2 AOA 定位算法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of positioning algorithm of AOA

AOA 定位算法的使用过程中,待测节点处可以获取参考节点发射的无线信号,而后根据待测节点接收到无线信号的方位和角度对待测节点的实际位置信息进行估算^[63]。

AOA 定位算法较容易受到噪声、非视距(NLOS)等外界环境因素的影响;且该算法的定位性能随着待测节点与参考节点之间距离的增大而降低^[64];此外, AOA 定位算法在工程应用时需要额外硬件设备的支持,增加了定位系统的成本。

综上所述, AOA 定位算法在工程推广应用中有较大的局限性,所以该算法通常应用于辅助定位。

(4) TDOA 定位算法。在一定程度上, TDOA 定位算法可以看作 TOA 定位算法的改进版。

在 TDOA 定位算法的使用过程中,定位系统中的参考节点会在同时刻发送两个拥有不同传播速度的无线信号;而后,待测节点处可以根据接收到两个无线信号的时差以及两个无线信号的传播速度来求取待测节点与参考节点之间的实际距离;最后,利用所求取的距离使用定位算法求取待测节点的实际位置信息^[65-67]。

TDOA 定位算法的定位精度与其他算法相比,相对较高;但无线信号的传播距离对此类定位系统的推广应用有较大影响。

2 室内空间定位技术的场景应用

2.1 公共安全场景应用

室内空间定位技术在事关公共安全的紧急救援、消防安全、执法安全等方面具有重要作用。文

献[68]对比分析了当下主流定位技术,按照不同工作性质将公共安全领域的工作分为应急救援工作、室内日常勤务工作以及临时性勤务工作 3 大部分,并分析不同性质工作对定位技术的具体应用需求。

当群众的人身安全遭受威胁时,需要快速确定被困人员的位置信息,而室内空间定位技术可以为救援工作的顺利进行提供强而有力的技术支持,为救援工作人员以及被困人员的生命安全提供保障。

2.2 人资物资管理场景应用

室内空间定位技术在人员的智能化管控中得到了广泛应用,在石油化工、工贸制造、电力能源、智慧校园、智慧医院、智慧养老、智慧监所以及工程建设等产业中发挥着重要作用^[69]。

特别地,随着智能电网建设的不断推进,能源电力行业对于电力工作人员以及电力设备的管控提出了更加智能化、精细化的需求,开展室内空间定位技术在能源电力行业中的研究对于推进电力管控的成熟化、精细化、智能化以及智能电网的发展具有十分重要的意义^[70-71]。文献[71]开展变电站室内定位算法研究,改进了 RSSI 测距算法,并将卡尔曼滤波算法与拉伊达检验法进行了结合,解决了 RSSI 信号强度值中的误差问题,为变电站室内定位技术应用提供了参考。图 3 为室内定位技术在电力行业管控中的技术应用流程框图。

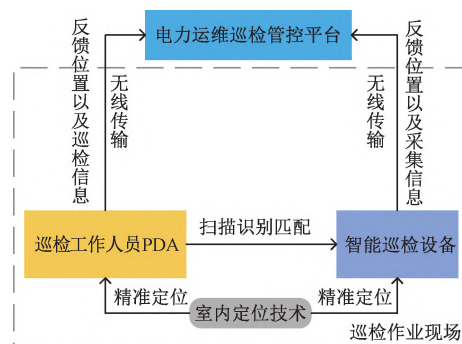


图 3 室内定位技术在电力行业管控的应用流程

Fig. 3 Application process of indoor positioning technology in power industry management and control

此外,室内空间定位技术也可以为仓储物流行业提供物资的定位服务;利用室内空间定位技术可以提供物资全程的位置信息记录,极大地便利了物资的防盗、管理、运输等实际需求。

2.3 智能交通场景应用

室内空间定位技术可与传统的室外定位技术联合,从而实现室内室外无死角全方位定位。利用该方案可为行车提供全程无缝的定位以及导航服务。此外,利用室内空间定位技术也可解决复杂环

境及地下区域的寻车难题。文献[72]在解决室内停车问题时,引入车联网与室内定位等技术,并设计了一种智能车辆-停车场协同的室内停车系统架构,对于提高停车系统的信息化和智能化程度、解决停车巡航问题、提高停车效率、降低资源消耗和交通压力等具有重要的研究意义与实用价值。

2.4 室内定位服务场景应用

现如今,利用室内空间定位技术可在大型商场^[73]、超市^[74]、会展中心、飞机场^[75]、旅店等较大型室内区域提供室内定位服务。

在大型商场中,室内位置服务可以帮助购物者查寻自己感兴趣的商店和文娱地;商家也可以对购物者推送有指向性的广告。

在空间布局比较复杂的大型超市中,室内位置服务可以帮助购物者查找感兴趣商品的所在位置。文献[74]针对用户需导购的实际需求,将蓝牙技术和 iBeacon 定位技术结合,构建了一个基于 iBeacon 的室内空间定位导购系统,为解决大型超市购物中出现的“短板”问题提供了参考。

在会展中心、机场及酒店中,利用室内空间定位技术可以提供全方位的定位导航服务。文献[75]针对大型机场候机楼定位环境的特点,提出一种基于即谱回归核判别分析-加权 K 近邻(spectral regression kernel discriminant analysis-weighted K -nearest neighbor, SRKDA-WKNN) 的室内定位算法和基于接收信号强度(received signal strength, RSS)特征扩展的室内定位算法,具有较高的定位准确率和较好的定位效果。

2.5 大数据关联分析场景应用

利用室内空间定位技术还可以实现用户活动轨迹的完整记录;而后,可以利用这些商业行为数据进行大数据分析从而将用户的位置信息与行为特征及其背后隐含的兴趣偏好联系起来。文献[76]提出一种基于用户商业行为数据的采集分析方案,通过对痕迹数据进行分类采集,利用即定评价指标进行数据挖掘,与关联规则库进行匹配等步骤,最终为用户推荐满意的商品。

综上,利用室内空间定位数据进行数据分析与挖掘具有极其可观的商业价值和推广应用前景。

2.6 社交网络场景应用

社交网络是人们日常生活的核心组成部分,而位置信息则是社交网络的核心。

在日常生活中,人们大部分时间生活在室内环境下,利用室内空间定位技术获得的真实位置信息可以将朋友与活动关联起来,这对于个人社交网络的维护与拓展发挥着重要作用^[77]。

3 挑战与展望

3.1 室内空间定位技术面临的挑战

实际的工程应用中,在设计室内空间定位的解决方案时,需要同时满足一些应用需求,包括:定位精度、覆盖范围、系统可靠性、定位成本、系统功耗、系统可扩展性和响应时间等。

3.1.1 定位精度

不同的应用场景对室内空间定位系统的定位精度要求差别很大。

若在大型商场或超市中寻找特定的商品可能需要 1 m 甚至更高的精度要求;若在地下停车场中寻找车辆则 2~5 m 的精度要求即可满足应用。

3.1.2 覆盖范围

覆盖范围是指该技术解决方案能够在多大的区域内提供满足定位精度要求的定位服务。

在一些场景应用中,室内空间定位系统终端需要相应基础设施的支持配合;在此情形下,室内空间定位系统的覆盖范围则会受到相应的制约。

3.1.3 系统可靠性

一般而言,室内环境具有很强的实时性和多变性。例如,大型超市中的人流以及商场中的隔断等会经常发生变化。

此外,室内空间定位系统所依赖的基础设施也会经常发生变化。

3.1.4 定位成本

室内空间定位成本一般包含两部分。

一部分是室内空间定位系统终端的成本;在工程应用中,需要考虑是否可用已有的定位终端硬件设备而不添加额外的硬件设备。

另外一部分是室内空间定位系统布局和维护的成本及复杂度,包含系统布局和维护所需的配套设施及需求。

3.1.5 系统功耗

室内空间定位系统的功耗是衡量该系统是否可推广应用的重要因素。尤其针对使用电池供电的定位设备终端,若功耗很大,则定位系统的待机时间就成为限制该系统推广应用的致命缺陷。

据调查分析,功耗大是大部分用户关闭实时定位功能的主要因素。

综上,若要将室内空间定位系统推广应用,实现实时全方位的定位服务,降低室内空间定位所增加的功耗是目前急需解决的问题。

3.1.6 系统可扩展性

室内空间定位系统可扩展性是指该技术解决方案可以拓展到更大范围并提供满足精度要求的

定位服务的能力以及更加便捷地移植到不同应用场景的能力。

3.1.7 响应时间

响应时间是指定位系统更新一次位置所需的时间。

不同应用场景对于响应时间的需求有较大差异。例如,在大型商场和超市中,对于商品位置的实时更新要求较低;但对于移动用户和定位导航则需要较高的位置刷新率。

3.2 室内空间定位技术发展展望

室内空间定位技术是当前热门研究领域之一,也是推进智能化社会进程中的重要组成部分。为推进室内空间定位技术的行业应用,下一步室内空间定位的研究工作可以向以下几个方向进行。

3.2.1 室内定位技术的普适化

目前的室内定位技术普适性不足,在解决室内外空间的融合实现无缝定位以及未知环境中的定位时仍存在问题。但随着人工智能、计算机视觉、物联网以及 5G 通信网络等技术的发展作为技术支撑,广域普适化的室内定位技术必将出现,以满足不同室内环境、不同行业、不同应用场景的应用需求。

3.2.2 室内定位技术的优化更新

针对当前室内空间定位技术所存在的缺点进行优化也是一个重要发展方向。可以针对各技术的定位精度、覆盖范围、抗干扰性、功耗、定位成本等实际问题进行优化改善,从而提升该技术的实用性。

当前的室内空间定位技术大部分都是建立在邻近信息、场景分析和几何特征三种基础定位方法的基础之上。寻找新型定位源,并引入人工智能、神经网络等相关算法,从而形成创新性的室内定位算法也是未来的一个重要发展方向。

3.2.3 多源混合定位技术的发展

鉴于当前单一室内空间定位技术各自的特性,将多个室内空间定位技术进行融合,从而实现优势互补是当今的一个重要发展方向。现如今,该发展方向仍面临着一些问题亟待解决,如各技术数据模型和通信标准的统一化,各技术之间的融合衔接以及多技术融合后的成本、功耗、响应时间等问题。

4 结论

(1) 随着物联网技术、智能移动终端技术、移动计算技术的飞速发展,当今社会对室内定位服务需求日益强烈。通过全面开展超宽带定位、蓝牙定位、超声波定位等为代表的主流室内空间定位技术

在当今社会中的行业工程应用与研究,对于推进当今社会的智能化发展与进步具有十分重要的意义。

(2) 根据当今的社会应用需求,针对室内空间定位技术的应用研究可归纳为公共安全、人资物资管理、智能交通、室内定位服务、大数据关联分析以及社交网络等典型应用场景。

(3) 目前,在实际的行业应用中设计室内空间定位的解决方案时,需要同时满足一些应用需求,包括:定位精度、覆盖范围、系统可靠性、定位成本、系统功耗、系统可扩展性和响应时间等;这些问题一定程度上限制了室内空间定位技术的工程推广应用。未来,室内空间定位技术的发展方向应在室内定位技术的普适化、室内定位技术的优化更新以及多源混合定位技术的发展等相关研究热点,从而进一步推动室内定位技术的推广应用。

参 考 文 献

- [1] 刘金华, 李琳, 刘建宇, 等. 基于移动互联网及物联网技术的居民用电智能化的设计与应用[J]. 电子设计工程, 2017, 25(9): 157-161.
Liu Jinhua, Li Lin, Liu Jianyu, et al. The design and application of intelligent mobile Internet based on the mobile Internet and Internet of Things[J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(9): 157-161.
- [2] 张宴龙. 室内定位关键技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
Zhang Yanlong. Research on the key techniques of indoor localization [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
- [3] 饶文利. 室内三维定位分类、方法、技术综述[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(3): 164-169.
Rao Wenli. Overview of indoor 3D positioning classification, methods and techniques[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2021, 44(3): 164-169.
- [4] 周宁, 秘金钟, 李得海, 等. 室内位置服务通用 App 设计研究[J]. 无线电工程, 2021, 51(6): 476-482.
Zhou Ning, Mi Jinzhong, Li Dehai, et al. Study on general App design for indoor location services[J]. Radio Engineering, 2021, 51(6): 476-482.
- [5] 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年): 2002 年第 9 号[R]. 中华人民共和国国务院公报, 2006: 7-37.
National medium and long-term science and technology development plan (2006—2020): No. 9, 2002[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2006: 7-37.
- [6] 柴军兵, 易昌华, 杨金梁, 等. 羲和系统的实时动态精密单点定位技术及其应用[J]. 物探装备, 2017, 27(2): 76-79.
Chai Junbing, Yi Changhua, Yang Jinliang, et al. Xihe real-time PPP technology and its application[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2017, 27(2): 76-79.
- [7] 李婉清, 傅其祥, 刘倍典, 等. 低成本高精度定位技术研究进展[J]. 测绘通报, 2020(2): 1-8.
Li Wanqing, Fu Qixiang, Liu Beidian, et al. Review of low-cost

- and high-precision positioning technology[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(2): 1-8.
- [8] 边江南. UWB 室内定位算法的研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2013.
- Bian Jiangnan. The research on UWB indoor localization algorithm [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2013.
- [9] 王一强, 孙罡, 侯祥博. UWB 超宽带技术研究及应用[J]. 通信技术, 2009, 42(3): 70-72, 75.
- Wang Yiqiang, Sun Gang, Hou Xiangbo. UWB technology and its applications[J]. Communications Technology, 2009, 42(3): 70-72, 75.
- [10] 李龙委. 基于 UWB 定位技术的导购机器人研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2018.
- Li Longwei. Study on shopping guide robot based on UWB indoor localization[D]. Suzhou: Soochow University, 2018.
- [11] 王飞. 基于 UWB 技术的矿井精确定位系统[J]. 煤矿安全, 2021, 52(7): 99-102.
- Wang Fei. Accurate positioning system for mine based on UWB technology[J]. Safety in Coal Mines, 2021, 52(7): 99-102.
- [12] 杨刚, 朱士玲, 李强, 等. 基于 UWB 的消防员室内协同定位算法[J/OL]. 计算机工程与应用: 1-16(2021-01-268) [2021-07-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20210127.1621.020.html>.
- Yang Gang, Zhu Shiling, Li Qiang, et al. UWBbased Indoor collaborative positioning algorithm for firefighters[J/OL]. Computer Engineering and Applications: 1-16(2021-01-28) [2021-07-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20210127.1621.020.html>.
- [13] 王益健. 蓝牙室内定位关键技术的研究与实现[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- Wang Yijian. Research and implementation on key technologies of Bluetooth indoor positioning[D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [14] 罗辑, 高家利, 秦正. 蓝牙技术的应用现状及发展趋势[J]. 四川兵工学报, 2006(3): 36-37, 43.
- Luo Ji, Gao Jiali, Qin Zheng, et al. Application status and developing trend of the Bluetooth technique[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2006(3): 36-37, 43.
- [15] 张立东, 孙煜, 万明俊. 基于蓝牙技术的城市轨道交通室内定位导航及应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(5): 166-170, 177.
- Zhang Lidong, Sun Yu, Wan Mingjun. Indoor location and navigation of bluetooth and the application in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5): 166-170, 177.
- [16] 代森. 基于超声波室内定位系统的设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- Dai Sen. The design and implementation of indoor positioning system based on ultrasonic[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [17] 顾明星, 张皓, 陈海洋, 等. 基于无线射频和超声波的室内定位装置[J]. 北京印刷学院学报, 2019, 27(10): 113-117.
- Gu Mingxing, Zhang Hao, Chen Haiyang, et al. Indoor positioning device based on radio frequency and ultrasonic[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2019, 27(10): 113-117.
- [18] 沈明琪. 基于多超声波传感器的移动机器人目标定位新方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- Shen Mingqi. Research on a new method of target positioning for mobile robot based on multiple ultrasonic sensors[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [19] 孔尧. 基于红外线定位的桥梁吊装监测算法的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2020.
- Kong Yao. Research on bridge lifting monitoring algorithm based on infrared positioning[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2020.
- [20] 卢家璋, 包陆君, 谢才兰, 等. 红外线水平定位仪引导在侧脑室额角穿刺术中的应用价值[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2013, 34(12): 1727-1730.
- Lu Jiazhang, Bao Lujun, Xie Cailan, et al. Value of ultrared position indicator to guide lateral ventricle puncture of frontal angle [J]. Journal of Qiqihar University of Medicine, 2013, 34(12): 1727-1730.
- [21] 顾钊源. 基于粒子滤波的微型移动机器人红外定位方法研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- Gu Zhaoyuan. Research on infrared localization method of micro-mobile robot based on particle filtering[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.
- [22] 陈华君, 林凡, 郭东辉, 等. RFID 技术原理及其射频天线设计[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005(S1): 312-315.
- Chen Huajun, Lin Fan, Guo Donghui, et al. Principle of RF antenna and design for RFID[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2005(S1): 312-315.
- [23] 陈龙鹏. 基于 RFID 技术的室内定位方法研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2020.
- Chen Longpeng. Research on indoor positioning method based on RFID technology[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2020.
- [24] 邱亮, 戎琳, 王晓. 基于 RFID 定位的现代有轨电车自动充电装置研究[J]. 电气传动, 2020, 50(8): 125-128.
- Qiu Liang, Rong Lin, Wang Xiao. Research on automatic charging device of modern tram based on RFID position[J]. Electric Drive, 2020, 50(8): 125-128.
- [25] 孔丽丽, 易春求. 矿用智能安全头盔的设计[J]. 中国矿业, 2020, 29(12): 95-98, 115.
- Kong Lili, Yi Chunqiu. Design of mine intelligent safety helmet [J]. China Mining Magazine, 2020, 29(12): 95-98, 115.
- [26] 张淇治, 张鑫鹏. 无线局域网技术发展现状及未来趋势[J]. 电子技术与软件工程, 2019(1): 9.
- Zhang Qizhi, Zhang Xinpeng. Development status and future trend of wireless local area network technology[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(1): 9.
- [27] 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.
- Jiang Li. Research on the key technologies of indoor location based on WiFi[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [28] 杨桂华, 符士宾, 刘志毅, 等. 基于 WIFI 的室内机器人新型定位算法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(36): 190-194.
- Yang Guihua, Fu Shibin, Liu Zhiyi, et al. New location algorithms for indoor robots based on WIFI[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(36): 190-194.
- [29] 潘立波. 基于 WIFI 技术的无线定位算法研究与实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

- Pan Libo. Implementation study of wireless location algorithm over WIFI technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [30] 赵景宏, 李英凡, 许纯信. ZigBee 技术简介[J]. 电力系统通信, 2006(7): 54-56.
- Zhao Jinghong, Li Yingfan, Xu Chunxin. Introduction of ZigBee technology[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2006(7): 54-56.
- [31] 杨帅, 薛岚. 基于惯性导航与 ZigBee 的消防机器人定位系统[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(6): 837-840.
- Yang Shuai, Xue Lan. Positioning system of fire fighting robot based on inertial navigation and ZigBee[J]. Fire Science and Technology, 2019, 38(6): 837-840.
- [32] 蒲泓全, 贾军营, 张小娇, 等. ZigBee 网络技术研究综述[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(9): 6-11.
- Pu Hongquan, Jia Junying, Zhang Xiaojiao, et al. A survey on ZigBee network technology research[J]. Computer Systems & Applications, 2013, 22(9): 6-11.
- [33] 李明熹, 林正奎, 曲毅. 计算机视觉下的车辆目标检测算法综述[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(24): 20-28.
- Li Mingxi, Lin Zhengkui, Qu Yi. Survey of vehicle object detection algorithm in computer vision[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(24): 20-28.
- [34] 王爱丽. 基于计算机视觉的行人交通信息智能检测理论和关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- Wang Aili. Research on key theories and technologies for detecting pedestrian traffic information based on computer vision[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [35] 杭元元. 基于计算机视觉的铁路扣件检测算法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- Hang Yuanyuan. Research on the detection algorithm of railway fastener based on computer vision[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [36] 张武刚. 智能工作面综采设备激光跟踪实时定位方法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2020.
- Zhang Wugang. Research on laser tracking and real-time positioning approach of fully mechanized equipment for intelligent coal mining face[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2020.
- [37] 程昕, 张跃进. 基于激光跟踪定位的运动目标检测[J]. 激光杂志, 2017, 38(6): 38-42.
- Cheng Xin, Zhang Yuejin. Moving target detection method based on laser tracking study[J]. Laser Journal, 2017, 38(6): 38-42.
- [38] 杨雪丹. 基于图像分析的车牌与车标定位及识别技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- Yang Xuedan. Study on the location and recognition of license plate and vehicle logo using image analysis[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.
- [39] 赵钟伟. 基于磁场信息的定位原理及应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- Zhao Zhongwei. Principle and application of navigation based on magnetic field information[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [40] 齐小康. 基于地球和人工磁场空间信息的新概念导航和定位[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- Qi Xiaokang. New-concept navigation and localization based on the spatial information of geomagnetic and artificial magnetic fields [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [41] 王燕, 苏钰, 齐滨, 等. 单基阵三维纯方位水下信标声学定位方法[J]. 声学学报, 2021, 46(3): 375-386.
- Wang Yan, Su Yu, Qi Bin, et al. 3D bearing-only acoustic positioning method for underwater beacon[J]. Acta Acustica, 2021, 46(3): 375-386.
- [42] 宋世铭. 融合 WiFi/地磁信息的室内混合定位技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
- Song Shiming. Research on indoor hybrid positioning technology based on WiFi and geomagnetic information[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2020.
- [43] 孟颖辉, 闻英友, 陈剑, 等. 无线传感器网络中基于接近度的无需测距定位算法[J]. 电子学报, 2014, 42(9): 1712-1717.
- Meng Yinghui, Wen Yingyou, Chen Jian, et al. Range-free localization algorithm based on proximity for wireless sensor networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(9): 1712-1717.
- [44] 杜恒. 异构网络环境下的位置指纹定位方法研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2017.
- Du Heng. Research on fingerprint positioning technology in heterogeneous network environment[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2017.
- [45] 袁风鹏. 无需测距的无线传感器网络定位算法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- Yuan Fengpeng. The research on range-free localization algorithms for wireless sensor networks[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2010.
- [46] 文举, 金建勋, 袁海. 一种无线传感器网络四边测距定位算法[J]. 传感器与微系统, 2008(5): 108-110, 113.
- Wen Ju, Jin Jianxun, Yuan Hai. Quadrilateral localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2008(5): 108-110, 113.
- [47] 左燕, 刘雪娇, 彭冬亮. 距离相关噪声 AOA 协同定位下无人机路径优化方法[J]. 电子与信息学报, 2021, 43(4): 1192-1198.
- Zuo Yan, Liu Xuejiao, Peng Dongliang. UAV path planning for AOA-based source localization with distance-dependent noises[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2021, 43(4): 1192-1198.
- [48] 刘洋, 孙秀斌, 卢舟, 等. 基于测向测时差云定位精度分析及布局优化[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(5): 496-502.
- Liu Yang, Sun Xiubin, Lu Zhou, et al. Location accuracy analysis and layout optimization for intracloud lightning based on AOA jointed TDOA[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2014, 29(5): 496-502.
- [49] 刘瑾. 基于测距的无线传感器网络的定位算法的研究[J]. 航空计算技术, 2009, 39(6): 124-126.
- Liu Jin. Research on range-based localization algorithm of wireless sensor networks[J]. Aeronautical Computing Technique, 2009, 39(6): 124-126.
- [50] 李牧东, 熊伟, 梁青. 无线传感器网络质心定位算法研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(23): 5778-5783.
- Li Mudong, Xiong Wei, Liang Qing. Study on centroid localization algorithm for wireless sensor network[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(23): 5778-5783.
- [51] 唐明虎, 张长宏, 咎凤彪. 无线传感器网络 APIT 定位算法

- [J]. 微型机与应用, 2010, 29(21): 1-4.
- Tang Minghu, Zhang Changhong, Zan Fengbiao. APIT localization algorithm in wireless sensor networks[J]. Information Technology and Network Security, 2010, 29(21): 1-4.
- [52] 戴天虹, 李昊. 基于改进 APIT 算法的无线传感器网络节点定位[J]. 传感器与微系统, 2016, 35(1): 135-138.
- Dai Tianhong, Li Hao. Node localization of wireless sensor networks based on improved APIT algorithm[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2016, 35(1): 135-138.
- [53] 张佳, 吴延海, 石峰, 等. 基于 DV-HOP 的无线传感器网络定位算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(2): 323-326.
- Zhang Jia, Wu Yanhai, Shi Feng, et al. Localization algorithm based on DV-HOP for wireless sensor networks[J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(2): 323-326.
- [54] 张震, 闫连山, 刘江涛, 等. 基于 DV-hop 的无线传感器网络定位算法研究[J]. 传感技术学报, 2011, 24(10): 1469-1472.
- Zhang Zhen, Yan Lianshan, Liu Jiangtao, et al. Research of positioning technology in wireless sensor network based on DV-hop[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2011, 24(10): 1469-1472.
- [55] 尚小航. 基于 DV-Hop 的无线传感器网络定位算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- Shang Xiaohang. Research on wireless sensor network localization algorithms based on DV-Hop[D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [56] 吴艳红. 一种改进型 ROCRSSI 算法——IROCRSSIGC 算法[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2013, 30(2): 55-60.
- Wu Yanhong. An advanced ROCRSSI algorithm: the IROCRSSIGC algorithm[J]. Journal of Guangxi Teachers Education University(Natural Science Edition), 2013, 30(2): 55-60.
- [57] 吴艳红. 无线传感器网络定位技术的研究[D]. 成都: 四川大学, 2011.
- Wu Yanhong. Study of localization algorithm for wireless sensor network[D]. Chengdu: Sichuan University, 2011.
- [58] 蒋志洋. 基于 RSSI 的无线传感器网络节点定位算法研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2019.
- Jiang Zhiyang. Research on node location algorithm based on RSSI in wireless sensor network[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2019.
- [59] 程超, 蒋志洋, 韩青山, 等. 基于自适应基准值改进的 RSSI 加权质心定位算法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2019, 57(2): 352-356.
- Cheng Chao, Jiang Zhiyang, Han Qingshan, et al. Improved RSSI weighted centroid localization algorithm based on adaptive reference value[J]. Journal of Jilin University(Science Edition), 2019, 57(2): 352-356.
- [60] 邹胜男. 基于 RSSI 测距的室内定位算法研究与实现[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2017.
- Zou Shengnan. Research and implement of indoor positioning technology based on RSSI[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2017.
- [61] 王沁, 何杰, 张前雄, 等. 测距误差分级的室内 TOA 定位算法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(12): 2851-2856.
- Wang Qin, He Jie, Zhang Qianxiong, et al. Ranging error classification based indoor TOA localization algorithm[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(12): 2851-2856.
- [62] 刘正波, 朱亮. LOS/NLOS 混合环境下的基于 TOA 测距的定位算法[J]. 火箭与制导学报, 2021(2): 78-81.
- Liu Zhengbo, Zhu Liang. Location algorithm based on TOA ranging in LOS/NLOS mixed environment[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2021(2): 78-81.
- [63] 诸燕平, 黄大庆, 李勃. 基于 AOA 的无线传感器网络节点定位算法[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(1): 98-101, 104.
- Zhu Yanping, Huang Daqing, Li Bo. Node localization algorithm based on AOA for WSNs[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2010, 29(1): 98-101, 104.
- [64] 毛永毅, 张颖. 非视距传播环境下的 AOA 定位跟踪算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(2): 317-319.
- Mao Yongyi, Zhang Ying. AOA location and tracking algorithm in non-line-of-sight propagation environment[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(2): 317-319.
- [65] 史小红. 基于 TDOA 的无线定位方法及其性能分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2013, 43(2): 252-257.
- Shi Xiaohong. TDOA-based wireless positioning method and its performance[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2013, 43(2): 252-257.
- [66] 韩霜, 罗海勇, 陈颖, 等. 基于 TDOA 的超声波室内定位系统的设计与实现[J]. 传感技术学报, 2010, 23(3): 347-353.
- Han Shuang, Luo Haiyong, Chen Ying, et al. The design and implementation of a TDOA-based ultrasonic indoor localizing system[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23(3): 347-353.
- [67] 蒋康荣. 蜂窝网络中基于 TDOA 的定位算法研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2016.
- Jiang Kangrong. Study on positioning algorithms based on TDOA in cellular networks[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2016.
- [68] 施绍鑫. 室内定位技术在公共安全领域的研究[J]. 通信电源技术, 2020, 37(12): 55-57.
- Shi Shaoxin. Research on indoor positioning technology in the field of public safety[J]. Telecom Power Technologies, 2020, 37(12): 55-57.
- [69] 韩翌. 定位技术在弱电工程中的应用[J]. 现代建筑电气, 2020, 11(7): 62-66.
- Han Yi. Application of positioning technology in weak current engineering[J]. Modern Architecture Electric, 2020, 11(7): 62-66.
- [70] 蒋金容, 曾垂栋, 徐博, 等. 室内定位技术在电厂设备巡检中的应用探究[J]. 安全, 2019, 40(12): 65-69.
- Jiang Jinrong, Zeng Chuidong, Xu Bo, et al. Study on the application of indoor positioning technology in equipment inspection of power plant[J]. Safety, 2019, 40(12): 65-69.
- [71] 郭苏, 邱继芸, 余江涛, 等. 变电站室内导航系统蓝牙定位技术与算法研究[J]. 信息技术, 2020, 44(8): 141-145, 156.
- Guo Su, Qiu Jiyun, Yu Jiangtao, et al. Bluetooth positioning technology and algorithm of substation indoor navigation system[J]. Information Technology, 2020, 44(8): 141-145, 156.
- [72] 陈柏果. 智能车辆与停车场协同的室内停车方法[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2019.
- Chen Boguo. Indoor parking method based on cooperation of intelligent vehicle and parking lot[D]. Chongqing: Chongqing University, 2019.

- sity of Posts and Telecommunications, 2019.
- [73] 石晟铭, 蔡抒凝, 苑佳凝. 基于位置指纹的 Wi-Fi 室内定位商场导航易购系统定位方法[J]. 软件, 2019, 40(9): 196-198.
Shi Shengming, Cai Shuning, Fan Jianing. Location method of Wi-Fi indoor positioning shopping-mall navigation and purchase system based on location fingerprint[J]. Computer Engineering & Software, 2019, 40(9): 196-198.
- [74] 席稳学. 基于室内定位的超市移动导购系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
Xi Wenxue. Design and implementation of supermarket mobile shopping guide system based on indoor positioning[D]. Xi'an: Xidian University, 2017.
- [75] 穆涛. 基于 WLAN 的大型机场候机楼室内定位方法研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2019.
Mu Tao. Research on indoor positioning method of large airport terminal building based on WLAN[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2019.
- [76] 卞琛, 英昌甜, 修位蓉. 一种基于用户商业行为的数据采集分析方案[J]. 电脑编程技巧与维护, 2015(7): 57-60.
Bian Chen, Ying Changtian, Xiu Weirong. The utility model relates to a data collection and analysis scheme based on user business behavior[J]. Computer Programming Skills & Maintenance, 2015(7): 57-60.
- [77] 董广捷. 基于社交物联网的室内定位方法研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2020.
Dong Guangjie. Research on indoor positioning method based on social Internet of Things[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2020.