

引文格式:高伟,侯聪毅,许万旻,等.室内导航定位技术研究进展与展望[J].导航定位学报,2019,7(1):10-17.(GAO Wei,HOU Congyi,XU Wanyang,et al. Research progress and prospect of indoor navigation and positioning technology[J]. Journal of Navigation and Positioning,2019,7(1):10-17.)DOI:10.16547/j.cnki.10-1096.20190102.

室内导航定位技术研究进展与展望

高伟,侯聪毅,许万旻,陈玄
(天津城建大学地质与测绘学院,天津 300384)

摘要: 为了进一步研究室内导航定位的方法和技术,在分析室内定位方法和分类的基础上,总结室内导航定位技术的研究进展与应用现状,并对室内定位技术发展前景和难点进行探讨,最后给出室内定位技术与方法的研究趋势。

关键词: 室内导航;室内定位技术;应用进展

中图分类号: P228

文献标志码: A

文章编号: 2095-4999(2019)02-0010-08

Research progress and prospect of indoor navigation and positioning technology

GAO Wei, HOU Congyi, XU Wanyang, CHEN Xuan

(School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to further study on the methods and technology of indoor navigation and positioning, the paper summarized the research progress and application status of indoor navigation and positioning technology based on the analysis of indoor positioning methods and classification, and discussed the development prospect and difficulties of the technology. Finally, the research trend of indoor positioning technology and methods was given.

Keywords: indoor navigation; indoor positioning technology; application progress

0 引言

室内导航与定位系统是指在各种室内空间中采用不同技术来实现人员室内导航以及对人员、物体的定位与跟踪。随着物联网技术的发展,人员、物体在经济行为、个人活动、军事等应用领域的定位需求越来越多。在室外有全球卫星导航系统(global navigation satellite system, GNSS),是一种普适且成熟的方案可以让人们在室外实现导航与定位;但是在室内空间越来越庞大的今天,各个工厂车间、大型购物中心、办公楼、地铁站的不断建设,基于室内的导航与定位对人员、物体的安全与监测是必不可少的,人们在室内环境中的位置服务需求已经日趋显著,国内外学者进行了大量探索与研究。目前室内导航定位系统大都基于临近探测、三角、多边定位、指纹定位法来实现,或

者为了提高精度采取组合定位的方法。但是由于多路径效应影响,室内环境易变、复杂,尚未有一种普适的解决方案;所以如何提升精度、实时性、安全性,提高可扩展能力,降低成本仍然是研究的热点,使得人们无论在生活还是工作环境中可以随时随地获取位置信息,享受基于位置服务带来的便捷。

本文在综述国内外室内导航定位技术的研究进展与应用现状的基础上,对室内定位技术的发展趋势和难点进行分析与探讨,结合自己的思考,给出室内定位方法与技术的研究趋势。

1 方法与分类

1.1 方法

多数室内定位技术的原理是根据接收设备对信号的接收,从而判断接收机与已知信号点的相对距离。另外,利用特征比对和定位对象对信号

收稿日期:2018-07-06

第一作者简介:高伟(1968—),男,山东宁阳人,博士,教授,研究方向为卫星导航和室内定位。

的遮蔽也是常用的技术方法^[1]。主要室内定位方法的对比与分析如表 1 所示。

表 1 主要室内定位方法对比

定位方法	应用案例	优点	缺点
邻近探测法	基站定位	布设成本低, 易于搭建	只能提供大概的定位信息, 精度依赖于参考点的分布密度
质心法	基站定位	计算量小	精度取决于信标的布设密度
极点法	激光扫描	使用方便	应用不广泛
三角定位法	蓝牙定位	原理简单	设备复杂度比较高, 定位效果不太理想
多边定位法	超声波定位	精度较高, 应用广泛	可扩展性不高
航位推算法	惯性导航	数据稳定	时间累积误差, 定位精度逐渐变差
指纹法	地磁定位	不太需要参考点, 精度比较高	工作量极大, 可扩展性不高
遮蔽法	基站定位	高精度定位	成本太高

表 1 中列举了基于室内环境的各种定位方法与特点, 其中基于航位推算法和指纹法的改进算法研究颇多: 文献 [2] 提出了一种用室内地图来消除行人航位推算过程中漂移误差的定位方法; 文献 [3] 的 DREDR (dead-reckoning enhanced with activity recognition) 室内定位方法是针对行人航位推算中漂移误差的累积提出的, 利用零速度更新技术对每一步操作结果进行校正^[4]; 文献 [5] 提出了在指纹法的基础上将确定型算法和概率分布算法结合的新方法, 该方法可以减小算法空间复杂度; 文献 [6] 提出了改进的位置指纹定位算法, 可以较好地滤除噪声干扰、优化定位阶段的估算坐标, 从而提高准确性, 有更高的精度、稳定性。

1.2 分类

文献 [7] 于 2001 年提出了室内定位分类体系, 其中根据定位的位置类型、定位的覆盖范围、精度、所用信号, 以及绝对/相对定位、主动/被动定位进行分类, 为了让位置服务开发者更全面地了解它们的性能。文献 [8] 提出了 3 种分类方法: 基于位置感知技术、基于信号测量技术、基于传感器类型的分类。文献 [9] 又依据定位算法分成基于几何、指纹定位法、成本最小化、贝叶斯技术法。文献 [10] 按照定位方式分成卫星、基站、感知定位 3 类。文献 [11] 提出可以按照定位原理和传输信号的不同进行分类, 同时武汉大学陈锐志教授还根据定位源的不同进行分类。这些分类研究促进了室内定位技术的发展。

2 研究进展

2.1 基于传感器的室内定位技术

1) 红外线定位

红外线定位系统一般由装有红外发射器的

移动站和基站 2 个部分组成。先有 Olivetti 研究实验室, 然后由剑桥 AT< 实验室开发的 Active Badge 系统是比较经典的应用红外线技术的系统^[12], 适用于中小型房间, 定位精度平均可达 6 m。红外线发射器携带轻便, 但是红外线穿透力差, 不能穿透固体墙壁, 它们只能提供房间级的位置传感功能^[13]; 且传播只有几米的有效范围, 容易受到光照或者荧光灯的影响而产生盲区, 定位效果不理想^[14]。因此红外线定位技术主要是跟其他技术组合来实现室内定位; 利用手机红外线 LED 来实现室内定位是当前研究的热点。

2) 超声波定位

超声波技术采用的测距方法大都是反射式测距法, 通过计算时间差从而得到待测距离。当然, 也可以采用单向测距法直接测定超声波发生到被测物体的距离。这 2 种方法一般都是采用多边形定位等方法来确定被测物体位置。

1997 年开发的 Active Bat 系统^[15]就是基于超声波技术, 比以红外线定位为基础的 Active Badge 系统定位精度要高, 定位精度达到 3 cm。2000 年麻省理工学院在 Active Bat 系统基础上改造成的 Cricket 室内定位系统^[16], 不需要布置固定传感器, 而是利用超声波的传输时间和射频控制信号, 最终实现三维定位。在硬件布设方面超声波定位技术要求比较高, 所以成本比较高, 不过其结构简单、定位精度高, 平均能达到厘米级^[13]。

3) 惯性导航定位

惯性导航定位是利用惯性传感器如加速度计、陀螺仪或磁力计采集物体的一些参数信息^[17], 从而确定位置信息。一般采用航位推算法, 已广泛应用于一些军事安全领域, 传感器质量和传感器

的安放位置影响着其定位精度^[18]。

文献 [19] 基于惯性器件构建了一套适用于军警的定位系统, 并且建设性地提出了用户之间联合定位的想法; 但是惯性导航定位技术带来的累积误差的影响无法忽略, 所以一般和其他定位系统结合来实现高精度定位。比如前期使用无线局域网(wireless local area networks, WLAN)定位系统来为其提供初始化和矫正的方法, 或者在无缝定位研究与应用中, 惯性导航定位系统常常与 GNSS 系统结合定位^[20]。还有目前微机电系统(micro electro mechanical system, MEMS)日趋成熟, 基于智能手机平台的加速度计、陀螺仪、倾斜仪、气压计和磁力计等这些低成本运动传感器都可用于行人航迹推算(pedestrian dead reckon, PDR)。目前, PDR 跟地磁匹配或与无线保真(wireless fidelity, WiFi)的融合越来越受到重视。

4) 视觉定位

日本在视觉领域的研究是世界领先的, 相对来说中国起步比较晚, 计算机视觉常用于机器人定位, 机器人安装摄像机拍摄附近环境, 根据所拍摄图像处理与分析相关数据并进行机器人定位^[21]。视觉定位的方式有很多种: 基于手机设备的单目摄像头多数用的定位方法是图像匹配; 而基于相机交会的定位方法主要依据密度匹配和运动恢复结构(structure from motion, SFM)的原理, 第一步基于众包图像的图像特征库的建立, 发现和求解显著图像的特征目标, 第二步基于单张照片的相机交会定位系统, 这种方法相对复杂^[22]。计算机视觉定位技术的优势在于信号探测范围宽、获取信息完整等, 但是相对而言对处理器的要求更高^[23]。

EasyLiving 系统是基于计算机视觉的定位系统, 采用高性能的照相机, 准确性比较高; 但当室内环境复杂时, 很难一直保持高精度^[13]。通过移动机器人同步定位和制图(simultaneous location and mapping, SLAM)的原理, 可以引入视觉传感器^[24]。文献 [25] 通过基于参考图像使用低分辨率相机实现 SLAM 算法, 从而精度可以到亚米级。2012 年提出的 EV-Loc 室内定位系统是一个以视觉信号作为辅助定位来提高精度的定位系统^[26]。基于视觉定位原理的谷歌视觉定位服务(visual positioning service, VPS)技术, 其理论精度可达厘米级别。

2.2 基于射频信号的室内定位技术

1) WiFi 定位

人们的生活已经被无线局域网包围, WiFi 定

位因其低成本而成为受众广泛的技术, 百度、高德、WiFiSLAM、Sensewhere、图聚智能等一些公司都投身其中。其定位的优势在于无需额外的设备, 部署成本低、功耗低, 用户随时随地就能使用手机开启 WiFi、蜂窝网络, 定位成本低、适用性强, 所以最早实现了规模化。

WiFi 室内定位技术一般分 2 种: 一种是基于接收信号强度指示(received signal strength indication, RSSI)距离交会的定位方法, 由于在不同的环境的条件下信号衰减和距离的关系都有改变, 结果达不到理想的精度; 另一种是基于 RSSI 位置指纹法, 信号的匹配是其研究的主要部分, 定位精度在于校准点密度, 不需要部署过多硬件设施, 是目前用得较多的 WiFi 定位方法。由 Microsoft 公司开发的 RADAR 室内定位系统, 在空旷的室内环境中精度可达到 2~5 m^[27]。HORUS 系统提高精度的方法是以无线信号数据的概率模型作为定位特征参数, 但前期需要大量的指纹采集作为基础来确定准确的指纹概率分布^[28]。Mole、EPE 系统虽然精度可以达到要求, 但是算法极其复杂, 所以满足不了定位的快速性。另外, 美国的 WiFiSLAM 和我国的“翼周边”等系统对数据库的运行和维护要求高, 一般用在重要地点的布设^[29]。随着定位方案的不断改进, 2010 年微软研究院在 WiFi 技术支持下又提出了一种基于 EZ 算法的室内定位系统, 该系统不需要前期大量的调研, 只需在比较强大的中心处理器上进行大量复杂的计算^[30]。

2) 蓝牙(Bluetooth)和紫蜂(ZigBee)定位

蓝牙定位和 ZigBee 定位技术二者均基于短距离低功耗通讯协议, 实现的方法可以是质心定位法、指纹定位和邻近探测法; 且二者都具有功耗低, 近距离、运用广泛等优点, 但同时稳定性差、受环境干扰大。

蓝牙定位技术是根据测量信号强度进行定位, 苹果公司开发了一个基于低功耗的精确的微定位技术 iBeacon, 我国的“寻鹿”定位系统也使用该模式进行定位。2016 年发布的蓝牙 5.0 协议将为实现高精度室内定位提供技术支持^[31-32]。目前蓝牙技术较多使用的指纹定位法, 其改进的方法也大都基于这个方法。ZigBee 室内定位的实现是通过每个盲节点之间相互协调通信^[1], 基于的方法是邻近探测法。目前 ZigBee 定位技术通过模糊聚类等方法改进, 定位精度可达到米级^[14]。

3) 蜂窝网络定位

蜂窝网络定位主要用于智能手机的定位, 依

靠检测传播信号的特征参数来实现定位,常用的定位方法有邻近探测法、以及基于观测到达时间差(observed time difference of arrival, OTDOA)来实现定位。该定位技术的优势在于可以形成普适化的室内定位方案,但缺点是由于受系统设计、时间同步精度差等影响,精度一般较低,约为 $50\sim 300\text{ m}$ ^[33]。爱立信公司采用 OTDOA 的方法达到 50 m 的精度^[34]。有的采用多天线 MIMO + TDOA 技术,定位精度可达 $5\sim 10\text{ m}$ ^[31]。未来的发展如基于 5G 通信网络的技术有望达到更高的精度。

4) 射频识别定位

射频识别技术(radio frequency identification, RFID)是一种利用射频信号实现对物体的自动识别并获得相关信息的技术。RFID 技术是二战时被英国用来识别飞机作为雷达改进的一部分,结合智能传感器技术,RFID 技术已成为物联网核心技术^[35]。其具有辐射距离远、可以绕过障碍物传输、设备低成本、高可携性、易维护性、定位精度高等特点,但是作用距离短、接收信号强度可能不稳定。

具有代表性的 RFID 系统定位系统有微软公司的 RADAR 系统^[36],是基于 RSSI 测量的室内定位解决方案,不过易扩展性不高因其对环境有很大的依赖性。华盛顿大学的 SpotON 系统^[37]是运用聚合算法进行反复的迭代计算,但是其计算量极大。密歇根州立大学提出的基于主动射频识别校验的动态识别系统(location identification based on dynamic active RFID calibration, LAND-MARC),其算法的核心是通过邻近法来实现定位;之后的研究者们在此算法基础上进行了很多改进。目前,科研人员对算法的研究一直持续,从而使得射频识别技术日趋成熟。

5) 超宽带定位

超宽带(ultra wideband, UWB)定位在美国空军中最早得到应用,到 2002 年,美国 FCC 才通过了超宽带定位可以运用于民用的提案。其具有结构简单、实现成本低、发射信号功耗低、信号的穿透力强、安全性高、信号速率高,具大通信通道容量等优点,且定位精度可以达到厘米级别。UWB 相对于其他的无线通信技术,很容易做到定位与通信互为体,所以比较适合繁杂的室内空间。

在应用研发方面,芯片 Driver2 和 Aether5 具有体积小、穿透力强、功耗低等优点。Ubisense

公司的 UWB 实时定位系统产品工作频段为 $5.8\sim 7.2\text{ GHz}$,采用的方法为多边定位法和三角定位法,定位精度可达 15 cm 。DecaWave 研发的 Scene-Sor 系列无线室内定位芯片,其中产品中最小的定位误差在 10 cm 以内,但是由于其成本比较高,所以还未得到广泛的应用^[38]。为了更好地优化室内定位服务,超宽带技术与 RFID 技术的结合可用于室内精确定位。

2.3 融合定位技术

不同传感器进行位置信息融合,称为融合定位。融合多种定位技术进行室内定位是目前研究的热点。武汉大学的陈锐志教授把融合定位方法分为紧耦合和松耦合^[22],北京邮电大学的邓中亮教授提出室内融合 WiFi、蓝牙、惯性、视觉等多种手段创建多元紧耦合定位模型,同时结合室外的 GNSS 实现大型建筑物内外人的“米”级无缝定位^[33]。把多种技术的优势结合以达到更高的精度从而提高定位的鲁棒性,是融合定位的一大优势。

现有的室内定位融合研究方案有多种。文献^[39]提出结合 WiFi、磁场强度和蜂窝信号来构建混合定位系统。文献^[40]中 WiFi 测量结合 PDR 来实现更高的准确性。文献^[41]使用蓝牙 RSSI 测量和智能手机上的加速度计和气压计进行融合室内三维定位。文献^[42]实现了地磁场定位和惯性传感器结合的方案,提供不需要基础设施的可靠的定位方法。文献^[43]提出只根据自身携带的惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)、气压计、超声波、摄像头,采用开发粒子滤波的方法而不需要基础设施进行融合,实验结果精度可达到 3 m 。这些都可以说明不论是稳定性还是精度方面,融合后的定位系统均优于单一的定位系统。

2.4 其他定位技术

地磁定位技术确定室内位置是利用室内环境中不同点位地磁场强度不同的特点,与 WiFi 指纹方法相似。芬兰奥卢大学的 IndoorAtlas 是应用地磁定位技术的代表系统,精度可达到 $0.1\sim 2\text{ m}$ ^[17]。NFC 技术是通过距离接近的方法来实现定位的,通过布设感应标签,得知感应标签的位置从而确定移动设备的位置,优势在于简单快速,劣势在于无法感知行人在各个标签之间的状态,要实现广域覆盖必须跟运动传感器融合^[22]。LED 可见光通信采用的主要技术有相机技术、图像捕获技术、移动终端等。基于终端的 LED 光定位技术是该领

域的研究热点,主要有光网技术以及多模式融合技术。Bytelight 定位系统就是基于对光源调制特定光信号来实现定位的,可达米级的定位精度^[44],Ubeacon 系统也是采用 LED 定位研发的。多用户协同定位指用户之间通过接受信号强度进行互相测量,从而获取相互距离,可以把信息利用得更充分,稳定性更好^[42]。

2.5 室内定位技术精度对比分析

室内定位技术精度对比分析如表 2 所示。

表 2 室内定位技术对比

技术	精度	功耗	覆盖范围
WiFi 接收信号强度的距离交会法	10~20 m	高	覆盖广
WiFi 接收信号强度的位置指纹法	1~5 m	高	小范围覆盖
射频识别	0.05~5 m	低	150 m
超宽带技术	6~10 cm	低	150 m
低功耗蓝牙技术	<10 m	低	120 m
ZigBee 技术	1~2 m	低	150 m
红外线技术	5~10 m	高	15 m
超声波技术	1~10 cm	低	210 m
视觉定位	0.01~1 m	高	110 m
惯性导航	2~10 m	中等	广泛适用

3 应用进展

室内导航与定位技术已经逐渐应用于经济社会、国防和人类的日常生活中,随着对其进一步的深入研究和应用拓展,其应用将渗透到人类社会与生活的方方面面。

1) 在企业管理中的应用

各种类型的厂矿企业,其内部均包含庞大的设施以及复杂的室内空间,需要对人员安全、设施安全、移动物体的运动轨迹、产品制造安全等方面进行严格的管理与监控。首先采用基于邻近探测法自动识别系统对员工的上下班时间进行记录,然后通过 ZigBee 传感器技术,在室内环境中布置参考节点,接受参考节点的信号强度来获取员工自身位置从而记录员工所在位置的变化,同时 REID 人员定位系统结合门禁系统,可以有效管理不同权限人员进出相应的区域^[45],这对于员工内部的管理是相当重要的。同时可对所有设备安装 RFID 电子标签,通过识别器对物品进行动态监控,以实现自动化的安全管理。

2) 对特殊人群的监护服务

室内导航定位技术可对幼儿、病人和犯人等

提供有效的定位监护。在幼儿园中设立电子围栏,实时把数据以消费推送的方式发送给家长,这样家长可以通过智能手机移动终端 APP 了解孩子的行程轨迹从而知晓孩子的安全状态。在医院中,室内定位服务通过配置连入网络的 WiFi 有源标签可以动态监测医院贵重设备,查询设备类型、数量、状态;同时让一些特殊病人携带指标监视器,如果病人发生突发状况,医生能够第一时间知道其位置,有效开展救援。在监狱中需要知道犯人是否在其应该在的活动区域,室内定位服务可为监狱管理人员提供犯人的行为轨迹。

3) 在应急安全救援中的应用

当发生一些无法控制的紧急事件时,消防人员在烟雾弥漫且复杂的室内很难准确开展救援,此时室内导航定位的作用就会凸显出来:由于基于射频信号的技术瘫痪,大多数情况可应用惯性导航技术来确定人员位置;一般消防员身上携带有传感器,以便观察消防人员的位置、身体状况,及时对消防员实施路线指令,可以更好地开展救援,保障人员安全。文献 [46] 分析了在应急逃生导航路径规划方面的常用算法,然后提出了基于优化模型的路径规划算法,并验证了其优越性。

4) 在大型室内旅游景点的应用

在博物馆、画展、图书馆这些人群密集的场所,可以在人们常驻足的地方布置 RFID 有源标签等设备^[47],当游客携带导游设备走进该点时,通过识别 RFID 标签可对不同游客的游览路线进行分析得到不同的解说信息,并且根据停留时间感知游客感兴趣的画作,并向其推荐更详细的内容,同时也可以进行导航服务,让游客获得更好的游览体验。也可以采用无源定位导航技术方案,如文献 [48] 提出的 QR-Code 方案,用户直接可以通过手机扫码功能扫描附近的 QR-Code 来获得游览路线,从而全面提高导览服务水平。

5) 在智慧养老服务中的应用

通过智慧养老云中心将服务需求方与提供方连接起来,通过安装在老人身上的指标监视器,可以及时了解身体的各项指标,实时将生理指标参数传到养老服务中心的电脑上,通过给老人配置智能手机、智能腕表、定位传感器等,来实现定位以及紧急救助。当老人离家外出时,发送实时的位置信息给照顾者,减少老年人走丢的概率,方便家人和社区服务人员对老人的照顾。

6) 在物品管理和运输中的应用

生活中对物品也可以进行定位服务,在大型

仓库中,对物品的分类及寻找极其重要,可以在不同种类的物品上安置传感器,并且实时更新这些数据,这样分拣员根据手持终端可以快捷方便地找到物品,提高工作效率。文献[49]用PDC算法,加入物品自动分拣功能,完成RFID仓库物流管理系统实现。所以从物品的整理到运输以及后续的防盗问题,室内导航与定位服务都可发挥非常重要的作用。

4 面临的挑战与发展趋势

4.1 室内导航定位面临的挑战

室内导航定位技术的研究与应用虽然迅猛,但仍面临很多挑战。

1) 动态性太强

室内环境容易发生变化,比如因为重新装修导致商场里整个格局会发生变化,或者是简单的一些桌子的移动都会影响室内定位的精度。如何能让其对环境的自适应能力增强、实现数据信息库的自动更新,是室内定位的挑战和难点。

2) 成本和复杂性较高

一些技术必须要有配套的基础设备来提供技术支撑,还要匹配定位终端设备才能发挥作用,同时前期需要采集数据库作为支撑,需要大量的人力和物资以及后期的维护,这限制了室内定位技术的推广和普及。

3) 可扩展性不高

有很多的室内定位处理方案是针对特定的环境提出的针对性方案,所以可扩展性比较低,不能很好地应用于其他的环境中^[32]。

4) 用户终端供电能力有限

对于使用电池的移动设备来讲,室内定位所产生的功耗对用户来说影响很大,智能手机虽说性能越来越高,不过还要满足其他的一些主流功能,所以定位功能只占据小部分,如果开启定位功能而使设备电池消耗过快,那么用户可能就不会开启,这样就限制了用户的使用。

4.2 室内导航定位发展趋势

室内导航定位技术的发展日新月异,但仍存在很多难题急需解决,未来仍有很多理论与技术方法需要深入研究和探讨。

1) 寻找新的多技术融合方案以及信息融合算法的优化

开发低成本、可靠的室内定位系统的一个新兴解决方案是使用混合系统,多个传感器和多个技术集成可以优势互补,从而弥补单个技术比较

单一的缺点,通过集成技术提供更可靠和更准确的位置^[35]。目前已有一些定位源的融合,平均精度达到2~5 m。但是要想实现高精度、低成本、实时性强和广域覆盖的室内定位技术,仍然需要寻求新的完整解决方案^[22]。为确保它的可靠性和稳定性,还需要权威性的标准来促进室内定位技术的发展。

2) 低功耗优化

通过对技术的低功耗优化,可以避免产生额外功耗,节省时间、提高效率。苹果公司采用的iBeacon,因其低功耗蓝牙技术而受到广大关注,可避免用户开启定位功能而产生额外的高功耗,从而用户随时随地都能享受定位服务。通过分出特定的处理器来处理分析室内定位运动数据,降低使用其应用处理器,达到降低功耗的目的^[32];预计未来低功耗蓝牙室内技术将获得更加广泛的应用。

3) 寻找新的定位源和定位方法

依靠传统定位源的定位只能达到2~5 m的精度,所以未来寻求新的定位源来实现高精度定位,探索新的基于视觉、音频信号和射频信号的技术来进行研究是实现更高精度定位的方向^[22]。在算法上可以把其他领域的一些成熟算法引入进来,如神经网络、遗传算法等,可以增强室内定位的精度和稳定性^[47]。

4) 重点突破5G网通信网络的室内定位

全球5G时代即将来临,我国在推进5G方面也属于领跑地位,5G的发展为室内定位技术的研究提供更好的技术支撑。未来的5G网络会大大提高移动终端的通信带宽,具备多天线、密集组网等优点,可为实现1 m以内精度提供技术支撑^[31],为实现室内外无缝定位提供支持。

5) 注重室内定位数据安全与隐私问题

关于WiFi中的个人隐私问题引起了很多人的重视,如何能保证在不侵犯用户隐私的情况下对终端周围的WiFi热点进行采集是目前急需解决的问题,同时在人工智能和大数据下,人们通过智能设备得到的位置信息是否会被泄露,定位服务的安全性是否可以得到保障,是未来的重要研究方向。

5 结束语

室内导航定位技术的研究日益得到关注和重视,其应用逐渐得到普及,未来智能城市的建设等都将离不开室内导航定位技术,未来发展精度

性高、成本低、普适性的室内导航定位技术以及实现室内外无缝导航定位始终是国内外研究的热点与难点。本文从室内导航定位方法出发,对室内导航定位技术的发展趋势和难点进行了分析与探讨,结合自己的研究与思考,给出了室内导航定位技术与方法的研究趋势。

参考文献

- [1] 刘梦君,曾帅.室内定位导航技术[J].科技展望,2017,27(6):140-141.
- [2] DANG C,SEZAKI K,IWAI M,DECL:a circular inference method for indoor pedestrian localization using phone inertial sensors[C]//The Institute of Electrical and Electronic Engineers(IEEE).Processing of 2014 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU).Singapore:IEEE,2014:117-122.
- [3] TÖRÖK A, NAGY A, KOVATS L, et al. DREAR-towards infrastructure-free indoor localization via dead-reckoning enhanced with activity recognition [EB/OL]. [2018-03-27]. https://www.researchgate.net/publication/270793418_DREAR-Towards_Infrastructure-free_Indoor_Localization_via_Dead_Reckoning_Enhanced_with_Activity_Recognition.
- [4] 席瑞,李玉军,侯孟书.室内定位方法综述[J].计算机科学,2016,43(4):1-6,32.
- [5] 王忠民,陈振,潘春华.一种改进的位置指纹智能手机室内定位算法[J].西安邮电大学学报,2014,19(1):17-20.
- [6] 吴雨,杨力,孔港港.一种改进的位置指纹定位算法[J].导航定位学报,2017,5(4):16-20.
- [7] HIGHTOWER J, BORRIELLO G. Location systems for ubiquitous computing[J]. IEEE Computer,2001,34(8):57-66.
- [8] 梁元诚.基于无线局域网的室内定位技术研究与实现[D].成都:电子科技大学,2009.
- [9] SECO F, JIMENEZ A R, PRIETO C, et al. A survey of mathematical methods for indoor localization[EB/OL]. [2018-03-27]. <https://people.eecs.berkeley.edu/~johnw/cs294-97/papers/A%20Survey%20of%20Mathematical%20Methods%20for%20Indoor%20Localization.pdf>.
- [10] 娄路.面向移动LBS的智能手机室内定位技术探讨[J].电信科学,2012,28(6):98-103.
- [11] 邓中亮,余彦培,袁协,等.室内定位现状与发展趋势研究(英文)[J].中国通信(英文版),2013,10(3):50-63.
- [12] WANT R, HOPPER A, FALCAO V, et al. The active badge location system[J]. ACM Transactions on Information Systems,1992,10(1):91-102.
- [13] 邹金平.超宽带室内定位研究[D].昆明:昆明理工大学,2008.
- [14] 高业,何敏.室内定位技术研究综述[C]//江苏省测绘地理信息学会、江苏省测绘工程院.2017年度江苏省测绘地理信息学会GPS、大地专业委员会学术年会暨JSCORS技术交流大会论文集.南京:江苏省测绘地理信息学会、江苏省测绘工程,2017:5-10.
- [15] WARD A M, JONES A, HOPPER A, et al. A new location technique for the active office[J]. IEEE Personal Communications,1997,4(5):42-47.
- [16] PRIYANTHA N B, CHAKRABORTY A, BALAKRISHNAN H, et al. The Cricket location-support system[EB/OL]. [2018-03-27]. <http://nms.lcs.mit.edu/papers/cricket.pdf>.
- [17] 阮陵,张翎,许越,等.室内定位:分类、方法与应用综述[J].地理信息世界,2015,22(2):8-14,30.
- [18] QIAN Jiuchao, PEI Ling, MA Jiabin, et al. Vector graph assisted pedestrian dead reckoning using an unconstrained smart-phone[J]. Sensors,2015,15(3):5032-5057.
- [19] RANTAKOKKO J, RYDELL J, STROMBACK P. Accurate and reliable soldier and first responder indoor positioning: multisensor system and cooperative localization[J]. IEEE Wireless communication,2011,18(2):10-18.
- [20] 邹德岳.异构无线系统室内外无缝定位技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [21] 张恒.基于ARM的视觉定位技术研究[D].广州:广东工业大学,2007.
- [22] 陈锐志,陈亮.基于智能手机的室内定位技术的发展现状和挑战[J].测绘学报,2017,46(10):1316-1326.
- [23] 朱敏.室内定位技术分析[J].现代计算机(专业版),2008(2):79-81.
- [24] FARLEY G, COLLINS R, CHAPMAN M. An alternate approach to GPS denied navigation based on monocular SLAM techniques[C]//The Institute of Navigation(ION). Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of the Institute of Navigation. San Diego, CA: ION,2008:810-818.
- [25] KRAGIC D. Object search and localization for an indoor mobile robot[J]. Journal of Computing & Information Technology,2009,17(1):67-80.
- [26] ZHANG Boying, TENG Jin, ZHU Junda, et al. EV-Loc: integrating electronic and visual signals for accurate localization [EB/OL]. [2018-03-27]. http://web.cse.ohio-state.edu/~xuan.3/papers/12_mobihoc_ztjlxz.pdf.

- [27] BAHL P. An in-building RF-based user location and tracking system[J]. Proc IEEE Infocom, 2000, 2: 775-784.
- [28] YOUSSEF M. The horus WLAN location determination system[EB/OL]. [2018-03-27]. http://www.cs.umd.edu/~moustafa/papers/horus_usenix.pdf.
- [29] 徐素素, 谢宏. 基于 Android 平台和位置指纹算法的 WiFi 定位系统设计[J]. 微型机与应用, 2017, 36(18): 80-83.
- [30] CHINTALAPUDI K, PADMANABHA I A, PADMANABHAN V N. Indoor localization without the pain[EB/OL]. [2018-03-27]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/ez-mobicom.pdf>.
- [31] 裴凌, 刘东辉, 钱久超. 室内定位技术与应用综述[J]. 导航定位与授时, 2017, 4(3): 1-10.
- [32] 马静宜. 室内定位技术现状和发展趋势[J]. 电子产品世界, 2014, 21(11): 15-17, 25.
- [33] 邓中亮, 林文亮. “星地一体”室内外高精度定位技术引领导航科技创新[J]. 海峡科技与产业, 2016(12): 17-21.
- [34] Ericsson Research Blog. Indoor positioning in LTE[EB/OL]. (2015-07-09)[2018-03-27]. <http://www.ericsson.com/research-blog/lte/indoor-positioning-in-lte/>.
- [35] BAI Y B, WU S, WU H, et al. Overview of RFID-based indoor positioning technology[EB/OL]. [2018-03-27]. http://ceur-ws.org/Vol-1328/GSR2_Bai.pdf.
- [36] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system[EB/OL]. [2018-03-27]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/infocom2000.pdf>.
- [37] HIGHTOWER J. SpotON: an indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength[EB/OL]. [2018-03-27]. https://www.researchgate.net/publication/228541557_SpotON_An_Indoor_3D_Location_Sensing_Technology_Based_on_RF_Signal_Strength.
- [38] 李富民. 基于超宽带的室内服务机器人定位技术研究与应用[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [39] KIM B, KMAK M, LEE J, et al. A multi-pronged approach for indoor positioning with WiFi, magnetic and cellular signals [C]//The Institute of Electrical and Electronic Engineers(IEEE). Proceedings of the 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN). Busan, South Korea: IEEE, 2014: 723-726.
- [40] KARLSSON F, KARLSSON M, BERNHARDSSON B, et al. Sensor fused indoor positioning using dual band WiFi signal measurements[C]//The Institute of Electrical and Electronic Engineers(IEEE). Proceedings of the 2015 European Control Conference. Linz, Austria: IEEE, 2015: 1669-1672.
- [41] JEON J S, KONG Y, NAM Y, et al. An indoor positioning system using bluetooth RSSI with an accelerometer and a barometer on a smartphone[C]//The Institute of Electrical and Electronic Engineers(IEEE). Proceedings of the 10th International Communication and Applications(BWCCA). Krakow, Poland: IEEE, 2015: 528-531.
- [42] 郭伟龙. 融合多源信息的室内定位算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [43] RUOTSALAINEN L, KIRKKOJAANKOLA M, RANTANEN J, et al. Error modelling for multi-sensor measurements in infrastructure-free indoor navigation[J]. Sensors, 2018, 18(2): 590-595.
- [44] 刘振宇. 全球 LED 可见光通信室内定位技术专利分析[J]. 高科技与产业化, 2017(11): 78-84.
- [45] 石火财. 室内定位导航技术在医院的应用与部署[J]. 电脑编程技巧与维护, 2014(24): 126-127.
- [46] 陈奕宇. 基于 BIM 的室内应急逃生导航技术的研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2017.
- [47] 余扬, 赵凯飞, 沈嘉. 室内定位技术应用、研究现状及展望[J]. 电信网技术, 2014(5): 46-49.
- [48] 袁海涛, 刘岩. 源室内定位导航技术服务平台设计与应用[J]. 北京测绘, 2017(增刊 1): 61-64.
- [49] 段宇峰. 基于 RFID 的物流定位技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.