

引文格式: 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.

室内定位: 分类、方法与应用综述

阮 陵^{1,2,3}, 张 翎^{1,2,3}, 许 越^{1,2}, 郑星雨^{1,2,3}

(1.南京师范大学 地理科学学院; 江苏 南京 210023; 2.南京师范大学 虚拟环境教育部重点实验室; 江苏 南京 210023;
3.江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心; 江苏 南京 210023)

基金项目:

国家自然科学基金项目
(41301144); 数字制图与
国土信息应用工程国家
测绘地理信息局重点实
验室开放研究基金项目
(Gc wd201411); 江苏省高
校哲学社会科学基金项目
(2013SJB790042)资助

作者简介:

阮陵(1990-), 男, 安徽铜
陵人, 地图学与地理信息
系统硕士研究生, 主要研
究方向为室内外定位、时
空数据分析。

E-mail:

rl_ling@163.com

收稿日期: 2015-03-10

【摘要】近年来, 面向需求越来越迫切的室内位置服务, 室内定位技术发展迅速, 是移动互联时代的研究热点, 逐步在各行各业发挥作用, 给人们的日常生活带来了一定的影响。本文对国内外室内定位技术的研究现状进行了分析与总结, 首先详细介绍了目前主流的室内定位技术的定位原理与最新发展, 对比分析了定位精度、相对成本与优缺点, 然后总结与分析室内定位技术的分类体系与定位方法, 最后对室内定位技术的应用场景进行了详细的描述。

【关键词】室内定位; 定位技术; 定位算法

【中图分类号】P208

【文献标识码】A

【文章编号】1672-1586(2015)02-0008-07

Indoor Positioning: Classification, Methods and Applications

RUAN Ling^{1,2,3}, ZHANG Ling^{1,2,3}, XU Yue^{1,2}, ZHENG Xingyu^{1,2,3}

(1.School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023; 2.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023; 3.Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023)

Abstract: In order to satisfy the requirements of indoor location-based service, indoor positioning technology has developed rapidly and become a hot research topic in recent years. Indoor positioning technology is gradually applied to various industries, and influences people's daily life to some extent. This paper reviews the research work on indoor positioning technology comprehensively. First, the main indoor positioning principles are introduced, and compared their advantages and disadvantages on the aspects of accuracy and cost. Then, the classification system of indoor positioning technologies are summarized. Finally, this paper makes a detailed description of the application scene of indoor positioning technology.

Key words: indoor positioning; positioning technology; positioning method

0 引言

随着基于用户位置信息的相关技术的应用和发展, 位置服务(LBS)已经成为人们日常工作、生活所必须的一项基本服务需求^[1-2], 尤其在大型复杂的室内环境中, 如博物馆、机场、超市、医院、地下矿井等区域, 人们对位置服务有迫切需求。在移动互联网迅速发展和位置服务应用需求的推动下, 当前室内定位技术处于较快的发展阶段, 研究者们提出了众多室内定位技术的理论与方法。定位技术可以分为室外定位技术和室内定位技术两种, 在室外环境下, 全球定位系统(GPS)、北斗定位系统(BDS)等全球导航卫星系统(GNSS)为用户提供米级的位置服务, 基本解决了在室外空间中进行准确定位的问题, 并在日常生活中得到了

广泛的应用。然而, 在占人类日常生活时间80%的室内环境中, 受到建筑物的遮挡和多径效应的影响^[3], GNSS定位精度急剧降低, 无法满足室内位置服务需要, 但室内定位在一些特定场合的迫切需求已经日趋显著, 因此, 室内定位技术成为专家学者的研究重点。

室内定位技术提出早、发展快且成果显著。室内定位技术相比而言起步较晚, 该领域还有很多空白, 但人们对室内定位技术的关注从未中断。美国联邦通信委员会FCC(Federal Communications Commission)在1996年制定了E-911^[4]定位标准, 然后在各行业应用需求的推动下, 室内定位技术得到了快速的发展。目前, 国内外研究者们提出了蓝牙、红外线、RFID、WLAN、超宽带、超声波等室内定位技术及应用系统, 但是不同的室内定位技术根据其定位性能有一定的应用局限, 还没有

一种普适化技术能满足当前所有的室内定位服务需求。

本文总结了目前国内外各种主流的室内定位技术的最新进展,首先详细阐述了各种主流室内定位技术的定位原理,然后归纳室内定位技术分类体系和定位方法,论述了室内定位技术的应用领域,最后讨论室内定位技术应用存在的问题和发展前景,为室内定位技术的研究者与应用人员提供有价值的参考。

1 室内定位技术

随着通信技术和无线网络的不断发展与普及,室内定位技术层出不穷,其定位精度在几米到几十米的范围内,并在特定的行业内得到了一定的应用。

1.1 主流室内定位技术

1) A-GPS

A-GPS (Assistant-GPS, 辅助全球定位技术) 由美国高通公司提出,利用手机基站信号,辅以连接远程服务器,配合接收机来实现快速定位,广泛应用于具有GPS功能的手机上^[5]。A-GPS定位的速度快、精度较高,但是要与服务器进行多次网络通信,占用了大量的通信资源,在使用手机密集的区域,受到网络堵塞的影响,因此,没有得到广泛推广与应用^[6]。

2) 红外线定位

红外线定位通过室内的光学传感器接收到的红外线发射器发射出的特定红外线(Infrared Ray)后进行定位。Cambridge大学AT&T实验室开发的红外线室外定位系统Active Badge System被称为第一代的室内定位系统^[7];Ambiplex在2011年提出了IR.Loc系统通过测量热辐射进行定位,在10m范围内的定位精度达到20~30 cm^[8]。红外线室内定位精度相对较高,但是无法穿透障碍物,仅在直线可视距离内传播,有效距离较短,受室内布局和灯光影响较大,定位成本较高,实际应用上存在一定局限性^[9]。

3) 超声波定位

超声波定位是采用反射式测量方法,根据发射超声波到参考节点响应回波的时间差计算与参考节点之间的距离,通过三角定位方法计算出待测目标的位置^[10]。Active Bat是超声波定位系统的先驱,通过密集部署大量的超声波接收设备,达到3cm的定位精度^[11]。Sonitor IPS是一个能够进行商业应用的超声波定位解

决方案,已经应用在若干大型医院用于跟踪病人和医疗设备,精度达到房间级^[12]。超声波定位能在非可视距离下传播,定位精度较高且误差较小,但是超声波信号传输衰减严重,定位有效范围有限,设备成本较高,适用于特定环境下的室内定位应用。

4) 蓝牙定位

蓝牙室内定位根据测量终端设备信号强度通过指纹定位算法进行定位^[13]。iBeacon是苹果公司制定的专用于蓝牙定位的一种协议技术,定位精度在2~3m,购物应用Shopkick在商场中布局iBeacon应用在实际生活中,我国的“寻鹿”“广发 easy go”等APP也采用该模式定位^[14]。蓝牙定位技术安全性高、成本低、功耗低、设备体积小,目前大部分手机终端都自带蓝牙模块,容易大范围的普及和部署实施,但是该技术容易受到外部噪声信号的干扰,信号稳定性较差,通信范围较小。

5) 射频识别定位

射频识别(Radio Frequency Identification, 简称RFID)定位技术利用射频信号进行非接触式双向通信交换数据以达到识别和定位的目的^[15]。目前,具有代表性的RFID定位系统有MIT Oxygen项目开发的Cricket系统^[16]、华盛顿大学的SpotON系统^[17]、微软公司的RADAR系统^[18]等。RFID技术传输范围大、成本很低,但作用距离短,最长只有几十米,而且射频信号不具有通信能力,只使用射频识别技术是不能进行室内定位的,必须与其他辅助技术相结合才能完成。

6) 惯性传感器定位

利用惯性传感器采集的运动数据,如加速度传感器、陀螺仪等测量物体的速度、方向、加速度等信息,通过积分定位方法或者基于航位推测法,经过各种运算得到物体的位置信息^[19]。随着行走时间增加,惯性导航定位的误差也在不断累积^[20]。由于其定位数据比较稳定,一般与GNSS技术相结合进行辅助导航,在无法接收到其他有效定位信号的情况下,使用该方法来辅助定位。

7) 基站定位

从第二代、第三代到现在的LTE第四代通信系统定位技术的发展,使得利用基站进行定位的精度大大得

到了提高^[21]。Ingensand and Bitzi论述了基站定位在采用Cell-ID、RSSI指纹、RSSI测距、AOA、TOA、TDOA等方法的优劣^[22]。Varshavsky通过基站室内定位中最普遍的RSSI指纹定位方法收集多层建筑的信号数据,能够区分建筑物的楼层,一般定位精度能达到2~4 m,但受基站输出功率的动态调整影响,指纹定位并不适用于CDMA网络^[23]。基站定位在室内、室外广域环境下都能定位,能作为普适化的定位方案,但是定位精度与基站密度密切相关。

8) WiFi室内定位

近年来WiFi技术飞速发展,城市中的公共场所如大型超市商场、学校、企业等都已经广泛部署WiFi。WiFi室内定位技术已经出现了很多具有代表性的研究成果,如RADAR系统[18]、Nibble系统^[24]、Weyes系统^[25]等室内定位系统。2012年,Google把WiFi室内定位和室内地图引入了谷歌地图中,一年内已经覆盖了北美和欧洲一万家大型场馆^[26]。我国的百度、高德、四维、智慧图等公司也在研发WiFi室内定位产品。由于WiFi网络的普及,WiFi定位是目前比较流行的定位技术,定位精度能达到米级,定位成本低,定位信号收发范围大,适用性强,可以被普及推广。

9) 超宽带定位

超宽带(Ultra Wide Band, UWB)技术通过发送纳秒级或纳秒级以下的超窄脉冲来传输数据,可以获得GHz级的数据带宽,实现室内定位^[15]。Ubisense是TDOA和AOA相结合的室内定位系统,测距范围达到50 m,精度可达15 cm^[27]。Zebra推出了Dart UWB系统,精度达到30 cm,测距范围达到100 m^[28]。UWB难以实现大范围室内覆盖,较高的系统建设成本也限制了超宽带定位技术的应用。

10) 其他室内定位技术

光跟踪室内定位技术让LED灯具发一定规律和频率的光信号,智能手机的摄像头接收该光信号进行检测、计算位置信息,定位精度在1 m之内,Bytelight是LED定位技术的代表^[29],国内的华策光通信采用LED定位开发了Ubeacon室内定位系统^[30]。ZigBee室内定位是一种低功耗、低成本、短距离的无线网络技术,常用于工业传感领域和智能家居方面^[31]。伪卫星是在地下、隧

道及室内等环境下无法接收GPS卫星信号时,发射与GPS轨道卫星相同的信号,替代GPS卫星实现室内定位^[32]。计算机视觉是从复杂变化的背景环境中准确识别出所需的运动目标,提取稳定的目标特征,并对目标的位置等信息进行快速实时的跟踪及计算定位,代表系统为Microsoft研究院的Easy Living^[33]系统。此外,地磁定位技术采用识别环境中的地磁信号与磁场基准图进行比对来实现精准定位,无需依赖环境中的任何硬件条件,通过智能手机自带的感应器即可进行定位^[34-35],代表系统为芬兰奥卢大学IndoorAtlas^[36],精度已经可以达到0.1~2 m。

1.2 室内定位技术对比分析

对国内外的室内定位技术进行分析,归纳其定位精度、相对成本和优缺点见表1。组合/混合定位技术近年来成为了室内定位技术的发展趋势,如将GPS定位信息、惯性传感器定位信息、基站定位信息和道路信息进行融合,在保证定位精度的基础上,减少了系统成本,提高了稳定性。

2 室内定位分类与方法

2.1 室内定位分类

室内定位技术的分类对室内定位结构体系的构建具有重要的价值。Hightower和Borriello在2001年就提出了室内定位的分类体系以帮助位置服务开发者在选择室内定位系统时更好的评估定位性能^[37]。2008年,吴雨航等人把室内定位技术从总体上归纳为若干类,即GNSS技术、无线定位技术、其他定位技术,以及GNSS和无线定位组合的定位技术^[37]。李泳按照通信手段和测量技术对室内定位系统进行了分类^[38]。2009年,梁元诚对室内定位技术提出了三种分类方法:基于位置感知技术的分类、基于信号测量技术的分类和基于传感器类型的分类,较为全面地对现有室内定位技术进行了系统分类^[39]。同年,Seco根据室内定位中的定位算法,把定位技术分为四类:基于几何的方法、成本最小化、指纹定位和贝叶斯技术^[40]。2011年,姜路根据定位方式把手机定位技术划分为卫星定位、基站定位和感知定位^[41]。Mautz根据技术特点把所有的定位系统划分为13个类,系统地划分了定位系统的技术类型^[42]。2013年,曾龙基按照定位技术所借助的工具不同对定位技术

表1 室内定位技术对比
Tab.1 Comparison of indoor positioning technologies

技术	定位精度	相对成本	优点	缺点
红外线	5-10 m	高	定位精度较高	直线视距、传输距离短、易干扰
超声波	1-10 cm	高	定位精度高	受环境温湿度影响、传输距离短
蓝牙	2-10 m	低	设备体积小、易集成、易普及	传播距离短、稳定性差
WiFi	2-50 m	低	网络广泛部署、成本低、通信能力强	易受环境干扰
RFID	5 cm-5 m	中	成本不高、精度高	标识没有通信能力、距离短
UWB	6-10 cm	高	精度高、穿透性强	成本高、覆盖范围小
ZigBee	1 m- 2 m	低	低功耗、低成本	稳定性差、易受环境干扰
A-GPS	5 m-10 m	低	速度快、精度较高	安全性低、占用通信
光跟踪	1 m	高	通信速率高、抗干扰能力强	覆盖范围小
伪卫星	2 cm	高	普适性强	成本高
地磁	1-5 m	低	无需依赖环境和硬件、成本低	稳定性差
基站	10-50 m	低	普适性强, 成本低	依赖基站密度
惯性传感器	2-4 m	低	不依赖外部环境	存在累计误差、不适合长期使用
计算机视觉	1 cm-1 m	高	不依赖外部环境	成本高、稳定性差

进行了分类^[43]。

邓中亮对当前众多室内定位技术方案归纳为以下几类[44-46]: ①A-GPS定位技术, 利用手机基站的信息辅助传统GPS卫星; ②短距无线定位技术, 如超声波、红外线、ZigBee、WiFi、射频无线标签、超宽带定位等; ③其他定位技术, 计算机视觉识别、地球磁场、光跟踪定位等。

根据定位的空间覆盖范围把定位技术划分为广域室内定位技术和局域室内定位技术^[47]。广域室内定位技术的代表是北京邮电大学的TC-OFDM技术, 澳大利亚的Locata技术和美国高通公司的方案, 这些覆盖范围广, 以广域网为基础实现室内定位。局域室内定位技术的代表是WiFi、蓝牙、ZigBee、RFID等定位方案, 实现局部区域的覆盖。

此外, 室内定位技术的其他分类标准还有基于距离的和距离无关的定位技术、递增式的定位技术和并发式的定位技术、基于信标节点的定位技术和无信标节点的定位技术、物理定位与符号定位技术、绝对定位与相对定位技术以及集中式定位与分布式定位技术等[38]。随着室内定位技术的快速发展与应用, 更多的定位方法会被提出, 相应的分类标准也在不断完善。

2.2 室内定位方法

目前, 室内定位常用的定位方法, 从原理上来

说, 主要分为: 邻近信息法、质心法、极点法、多边定位法、场景分析法和航位推算法。

1) 邻近信息法, 又称Cell-ID法, 利用信号作用的有限范围, 确定待测目标是否在某个参考点的附近, 但只能提供大概的定位信息, 能满足某些应用的要求^[48-50], 定位精度依赖于参考点的分布密度。

2) 质心法, 根据信号范围内所有已知参考点的位置计算质心坐标, 作为待测目标的位置, 可以根据信号强度设置参考点的计算权重, 得到权重质心坐标。质心法算法简单, 计算量小, 精度取决于已知参考点的分布密度。

3) 极点法, 根据距离一个参考点的距离和方位来计算待测节点的位置。极点法非常方便, 只需根据一个节点进行测量, 在大地测量中应用广泛。

4) 多边定位法, 通过测量待测目标到参考点之间的距离来计算目标的位置, 是应用最广泛的定位算法。常用的测距方法包括基于信号达到时间(TOA)、基于信号达到时间差(TDOA)、基于信号达到角度(AOA)和基于接收信号强度指示(RSSI)^[51]。

5) 场景分析法, 一般又称为位置指纹定位, 在定位空间中采集不同位置发出的信号特征参数建立指纹数据库, 通过将实际接收信号与数据库中的信号特征参数进行对比来实现待测目标的定位。指纹定位的优点是所

需定位的参考测量点少,定位精度高;缺点是前期工作量大,且不适合环境变化太大的区域^[52]。

6) 航位推算根据预先确定的位置、估计或已知的速度和时间来估计当前的位置,在惯性导航定位中使用,但是精度误差随时间而累积。室内定位中常使用行人航迹推算,PDR技术通过惯性传感器检测人行走的步长、步数和行走方向来进行定位计算^[53]。

主要定位方法进行归纳与对比见表2。

表2 主要室内定位算法对比
Tab.2 Comparison of the main indoor positioning methods

定位方法	应用实例	特点
邻近信息法	基站定位	操作简单,定位精度不高,依赖参考点分布密度
质心法	基站定位	定位精度不高,依赖参考点分布密度
极点法	激光扫描定位	测量简单,定位精度高,使用简单,应用不广泛
多边定位法	超声波、红外定位	定位精度高,应用广泛
场景分析法	地磁定位	定位精度高,前期工作量大,不适合环境变化区域
航位推算法	惯性导航定位	数据稳定,无依赖,定位误差随时间累积

3 室内外定位技术应用

室内定位技术作为定位技术在室内环境的延续,目前已经在特定的行业内投入实际应用,并取得了一定的应用成果,有着良好的应用前景。随着室内定位性能的改进,下一代室内定位技术将有更多的应用领域,会成为我们生活中不可缺少的一部分。

3.1 室内位置服务

室内位置服务已经在大型商场、电影院、展馆、机场等室内环境中得到了应用。在室内定位技术的推动下,寻鹿^[54]、万汇^[54]等室内位置服务应用产品不断涌现出来,为用户提供室内导航、周边搜索、室内寻车和位置社交等服务。如在布局比较复杂的大型超市中,通过室内定位,用户能够查找感兴趣商品的位置和周边情况,能更好地确定行进线路方便购物,超市也可以根据用户位置提供相应的商品推荐服务,基于位置的广告和位置搜索服务具有很高的商业价值。

3.2 公共安全

室内定位对行政执法、应急救援与消防等方面具有重要的作用。在室内火灾等应急救援环境中,室内定位可以获取消防员、待救援人员等其他人员的位置,能更好地保障消防员和被困人员的安全,有助于快速展开

有效的救援行动。

3.3 社交网络

社交网络在人们的生活中扮演着重要的角色,它已成为人们生活的一部分,并对人们的信息获得、思考和生活产生不可低估的影响。无处不在的位置是社交网络的核心,在占人们生活时间80%左右的室内环境下,真实准确的位置能把朋友与活动关联起来。

3.4 智能交通

室内定位技术支撑了室内外无缝导航服务,为车辆提供了从道路到停车场的全程导航服务^[55],用户在室内停车场内即可设置导航到的目的地。室内停车场的寻车服务是室内定位技术的一个重要应用,解决了大型复杂地下停车场寻车难题。

3.5 安全医疗

在医院,对医务人员和病人进行位置跟踪也变得越来越重要。聚美物联^[56]在华山医院实现婴儿防盗,芜湖第二人民医院实现移动医疗设备定位,镇江第四人民医院实现精神病患者定位。美国梅奥诊所和波士顿儿童医院已经开始了患者导医试点,患者在挂号窗口下载医院的导航应用之后能够轻松找到相关科室、病房,实时查询当前就诊排队状况,访问健康记录,就诊后进行点评,设置重要信息提醒等^[57]。

3.6 位置跟踪与分析

室内位置跟踪对于人员和物品的安全保障具有重要的作用。在地下矿井中,通过室内定位技术可以实时监控矿内工人的位置状态,出现事故时,能快速确定被困人员位置以便及时进行救助。在仓储物流等方面,室内定位技术可以帮助企业对物资进行有效管理,实时监

控物品的位置与动向。分析用户在商场的停留位置等行为特征可以帮助广告商分析用户的消费习惯和需求,发送更加精准的广告。

4 结束语

室内定位技术处在不断的发展中,是当前热门研究领域,有着良好的应用前景。本文在分析国内外学者室内定位技术研究成果的基础上,介绍了当前主流的室内定位技术,详细阐述了室内定位的分类、方法和应用领域。尽管室内定位技术的精度在不断提高,但还没有在各行业中得到普及应用,主要存在以下难点:

1) 室内定位环境的复杂性,室内空间布局复杂多变,障碍物多,干扰源多等因素对室内定位的精度和稳定性影响较大;

2) 未知环境定位困难,目前的室内定位大多依赖于室内环境,而在实际情况下,无法获得室内环境信息,造成定位困难;

3) 能耗与成本因素,当前室内定位环境的建设成本较高,稳定性较差,能耗较大等因素都限制了室内定位技术的应用;

4) 定位覆盖范围不够广,广域室内外无缝定位技术暂未成熟应用,各种定位技术之间没有通用的开发标准。

随着室内定位技术的不断发展,广域普适化的室内定位新技术必然会出现,融合室内外空间实现无缝定位,解决未知环境中的定位问题,形成一系列的室内定位建设与开发标准与规范,满足各行业不同层次的应用需求。面向室内定位的空间数据管理、可视化表达与分析也将是室内定位技术发展的重要组成部分,对于推动室内定位技术的实际应用具有重要的价值。

参考文献

- [1] TruePosition I. Trueposition guide to location technologies[R]. White paper, 2009.
- [2] Williams D H. It's the (LBS) applications, stupid[R]. White paper, 2003.
- [3] 宋欣. 多传感融合的室内定位技术研究[D]. 上海:上海交通大学, 2013.
- [4] Wang S S, Green M, Malkawa M. E-911 location standards and location commercial services: Emerging Technologies Symposium: Broadband, Wireless Internet Access, 2000 IEEE, 2000[R]. IEEE. pp. 1-5
- [5] 生丽. 基于GPS的室内无线定位系统研究[D]. 上海:华东师范大学, 2012.
- [6] Van Diggelen F S T. A-gps: Assisted GPS, GNSS, and SBAS[M]. Artech House, 2009.
- [7] Want R, Hopper A, Falcao V, et al. The active badge location system[J]. ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 1992, 10(1): 91-102.
- [8] Ambiplex. WOBISTDU[EB/OL]. 2015-03-05. <http://www.ambiplex.com/>.
- [9] 罗庆生, 罗洪坚, 王耀炼. 红外线传感器及其导引技术在自动导向车中的应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(10): 818-820.
- [10] 华蕊, 郝永平, 杨芳. 超声波定位系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2009(6): 65-67.
- [11] Ward A, Jones A, Hopper A. A new location technique for the active office[J]. Personal Communications, IEEE, 1997, 4(5): 42-47.
- [12] Sorwitor. Soirutor SenseRTLS[EB/OL]. (2011-10-30). <http://www.sonitor.com/>.
- [13] 陈国平, 马耀辉, 张百珂. 基于指纹技术的蓝牙室内定位系统[J]. 电子技术应用, 2013, 39(3): 104-107.
- [14] 张立斌, 余彦培. 手机室内定位的应用与服务[J]. 导航定位学报, 2014(4), 4-6.
- [15] 陈秀万, 吴雨航, 吴才聪. 介绍几种室内定位技术[N]. 中国测绘报, 2008-01-29.
- [16] Smith A, Balakrishnan H, Goraczko M, et al. Tracking moving devices with the cricket location system: Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems[C]. applications, and services, 2004. ACM. pp. 190-202.
- [17] Hightower J, Want R, Borriello G. SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength[R]. UW CSE 00-02-02, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, 2000, 1.
- [18] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system: INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE[C]. 2000. Ieee. pp. 775-784.
- [19] Woodman O J. An introduction to inertial navigation[R]. University of Cambridge, Computer

- Laboratory, Tech. Rep. UCAMCL-TR-696, 2007.
- [20] 孙玉山, 代天娇, 赵志平. 水下机器人航位推算导航系统及误差分析[J]. 船舶工程, 2010(5):67-72.
- [21] 陈健. 面向3GPP—LTE终端无线定位的参数估计与定位解算研究[D]. 成都:成都电子科技大学通信与信息工程学院, 2011.
- [22] Ingensand H, Bitzi P, Geosystems L. Technologien der GSM-Positionierungsverfahren[J]. AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 2001(8):286-294.
- [23] Varshavsky A, de Lara E, Hightower J, et al. GSM indoor localization[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2007, 3(6):698-720.
- [24] Castro P, Chiu P, Kremenek T, et al. A probabilistic room location service for wireless networked environments: Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing, 2001[C]. Springer. pp. 18-34
- [25] Kaemarungsi K, Krishnamurthy P. Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting: INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2004[C]. IEEE. pp. 1012-1022
- [26] 刘经南, 郭迟, 彭瑞卿. 移动互联网时代的位置服务[J]. 中国计算机学会通讯, 2011, 12(7):40-50.
- [27] De Angelis A, Händel P, Rantakokko J. Measurement report. Laser total station campaign in KTH R1 for Ubisense system accuracy evaluation[R]. KTH Royal Institute of Technology Tech. Rep., Stockholm Sweden, 2012.
- [28] Mahfouz M R, Fathy A E, Kuhn M J, et al. Recent trends and advances in UWB positioning: Wireless Sensing, Local Positioning, and RFID, 2009. IMWS 2009. IEEE MTT-S International Microwave Workshop on, 2009[C]. IEEE. pp. 1-4.
- [29] 刘宏展, 吕晓旭, 王发强, 等. 白光LED照明的可见光通信的现状与发展[J]. 光通信技术, 2009, 33(7):53-56.
- [30] 华策光通信[EB/OL]. (2015-03-14). <http://www.u-beacon.com/hexinjishu.html>.
- [31] Jin M, Yu C, Lai H, et al. Zigbee positioning system for smart home application: Frontiers of High Performance Computing and Networking ISPA 2007 Workshops, 2007[C]. Springer. pp. 183-192.
- [32] Cobb H S. GPS pseudolites: Theory, design, and applications[D]. Citeseer, 1997.
- [33] Microsoft Research Easyliving[EB/OL]. (2015-03-10). <http://www.research.microsoft.com/easyliving/>.
- [34] 梁莹. INS/地磁匹配组合导航系统技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.
- [35] 王欣. 基于地磁场和RSSI的室内定位算法设计与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.
- [36] IndoorAtlas[EB/OL]. (2015-02-28). <http://www.indooratlas.com/>.
- [37] Hightower J, Borriello G. Location systems for ubiquitous computing[J]. Computer, 2001, 34(8):57-66.
- [38] 李泳. 基于ZigBee技术的室内定位系统设计[D]. 上海: 上海师范大学, 2008.
- [39] 梁元诚. 基于无线局域网的室内定位技术研究[实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
- [40] Seco F, Jimenez A, Prieto C, et al. A survey of mathematical methods for indoor localization[J]. Intelligent Signal Processing, 2009:9-14.
- [41] 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.
- [42] Mautz R, Tilch S. Survey of optical indoor positioning systems: Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on, 2011[C]. IEEE. pp. 1067-1080.
- [43] 曾龙基. 室内无线定位技术的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [44] 邓中亮, 余彦培, 袁协. 室内定位现状与发展趋势研究[J]. 中国通信, 2013, 10(3):42-55.
- [45] Mautz R. Indoor positioning technologies[D]. Habilitationsschrift ETH Zürich, 2012, 2012.
- [46] 万群, 郭贤生, 陈章鑫. 室内定位理论, 方法和应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [47] 国家测绘地理信息. 介绍几种室内定位技术[EB/OL]. <http://www.sbsm.gov.cn/article/zszygx/zjlt/200812/20081200045814.shtml>.
- [48] 朱敏. 室内定位技术分析[J]. 现代计算机(下半月版), 2008(2):79-81.
- [49] 王琦. 基于RSSI测距的室内定位技术[J]. 电子科技, 2012, 25(6):64-66.
- [50] 汪苑, 林锦国. 几种常用室内定位技术的探讨[J]. 中国仪器仪表, 2011(2):54-57.
- [51] 叶蔚. 室内无线定位的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [52] 李魏峰. 基于RFID的室内定位技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

(下转第30页)

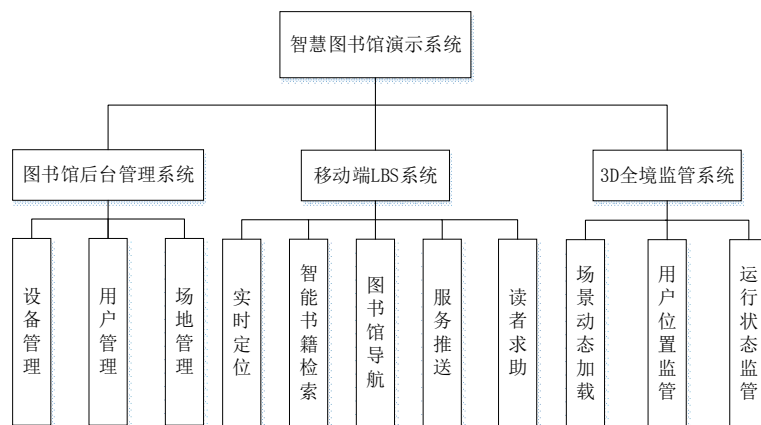


图5 系统功能图

Fig.5 System function diagram

3 结束语

本文以苹果公司发布的iBeacon技术规范及其设备为基础,提出了加权指纹算法,给出了在90%情况下误差精度为3.25 m的精细定位方法,并以此算法为基础,提出了图书馆位置服务解决方案。目前的指纹采集方法需要耗费大量的人力,在未来的研究上将基于众包的思想,加快数据采集速度,但是,其中的数据清洗是一项有挑战性的工作。同时,结合建筑物的内部结构来提高定位精度和导航的实用性。

参考文献

- [1] 蒋云染. 百度地图标注吸引超过2000家大型连锁企业入驻[EB/OL]. 2014-10-29. <http://www.sootoo.com/content/525564.shtml>.
- [2] 马静宜. 室内定位技术现状和发展趋势[J/OL]. 2014-10-28. <http://www.eepw.com.cn/article/264519.htm>.
- [3] 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.
- [4] 杨铮, 吴陈沐, 刘云浩. 位置计算: 无线网络定位与可定位性[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [5] 桑应宾. 基于K近邻的分类算法研究[D]. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.

(上接第14页)

- [53] 周晓军. 基于室外辅助和惯性导航的室内定位方法的研究与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.
- [54] Rtm智慧图[EB/OL]. (2015-03-12). <http://www.rtm.com/index.php?m=sample#xunlu>.
- [55] Wagner J, Isert C, Purschwitz A, et al. Improved vehicle positioning for indoor navigation in parking garages

- through commercially available maps: Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN' 10), 2010[C]. pp. 875-882
- [56] 聚美物联[EB/OL]. (2015-03-12). <http://www.joymake.com/>.
- [57] 丁伟峰. 室内定位走进医院[EB/OL]. <http://www.36kr.com/p/205753.html>.