

文章编号:1006-2475(2020)05-0080-09

# 室内定位研究综述

薛伟莲,赵 娣,张颖超

(辽宁师范大学政府管理学院,辽宁 大连 116029)

**摘要:**基于位置服务的精度要求越来越高,而目前室内定位精度远远无法满足需求,因此室内定位研究成为研究热点。本文通过对当前室内定位研究成果的梳理和综合述评,进一步明晰当前研究现状,确定未来研究方向。以 Web of science (WOS) 和 CNKI 数据库为数据来源,利用 Citespace 软件对室内定位国内外文献进行计量可视化分析。通过分析对当前室内定位研究方向进行归纳,总结当前研究热点,最后提出室内定位的未来研究展望。

**关键词:**室内定位; Citespace; 文献计量可视化分析

中图分类号:TP391

文献标识码:A

doi: 10.3969/j.issn.1006-2475.2020.05.014

## Review of Research on Indoor Positioning

XUE Wei-lian, ZHAO Di, ZHANG Ying-chao

(School of Government, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

**Abstract:** At present, as the precision of location based service is more and more demanding, the precision of indoor positioning is far from meeting our demand. Therefore, indoor positioning has become a research hotspot now. By combing and comprehensively reviewing the current research achievements of indoor positioning, we can further clarify the current situation of the research in this field and determine the direction of research in the future. The paper takes the Web of science (WOS) and CNKI as the data source, using Citespace to research analysis of literature of indoor positioning from domestic and foreign. We summarized the research directions of indoor positioning and research hotspots of indoor positioning in current. Finally, we present the future of prospects of research on indoor positioning.

**Key words:** indoor positioning; Citespace; bibliometric visual analysis

## 0 引 言

21 世纪是一个以信息为载体的时代,通信技术有了突破性的发展。从 3G、4G 到如今的 5G,通信技术已经越来越成熟。4G 的使用率和覆盖率已经非常高,5G 也将在 2020 年全面使用<sup>[1]</sup>。近年来,基于位置服务在人们生活中越来越重要,通信技术的发展满足了人们基于位置服务的迫切需求。尽管在室外定位环境中,全球定位系统(GPS)是当前定位领域最好的定位系统,但是室内环境不同于室外,由于室内环境中通常会出现障碍物的遮挡以及金属结构的屏蔽等问题,使得室内定位经常会出现因为信号不稳定而无法定位<sup>[2]</sup>的情况。室内定位在各个领域中都有着广泛的应用,如在物流行业中对物品的跟踪,在商场、博物馆、机场等大型室内空间的导航等。国内外有许

多公司都投入了大量资源到室内定位领域中来,如苹果公司收购了 WiFiSlam 室内定位创业公司;Google 公司推出 VPS(Visual Positioning System)室内定位系统;微软公司在室内定位领域的 IPIN 会议用于研究可商业化的室内定位技术;国内的阿里巴巴、华为、百度等科技公司也都在室内定位领域加大投入,推动室内定位研究的发展。人类大部分的活动时间都位于室内,这给基于室内定位领域的研究带来巨大的商业推动力<sup>[3]</sup>。因此,室内定位逐渐成为了目前国内外学者的研究热点。

近年来,国内外关于室内定位研究的文献越来越多,但是缺乏国内外室内定位相关文献的计量可视化分析研究。因此,本文以国内外室内定位相关文献为研究对象,应用 Citespace 工具对其内外部特征进行分析。通过国内外在室内定位领域的研究现状,总结

收稿日期:2020-02-02; 修回日期:2020-02-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61772251)

作者简介:薛伟莲(1966-),女(回族),辽宁营口人,教授,博士,研究方向:无线网络,E-mail: Xueweilian66@163.com; 赵娣(1994-),女,辽宁普兰店人,硕士研究生,研究方向:信息管理,E-mail: Zhaowenwen0819@163.com; 张颖超(1996-),男,河南南阳人,硕士研究生,研究方向:信息管理,E-mail: 1427355509@qq.com。

室内定位的研究方向,为室内定位的未来研究方向提供一定的借鉴与参考。

## 1 室内定位相关文献分析

### 1.1 数据来源及研究方法

本文所使用的数据来源于 Web of science (WOS)、中国知网 (CNKI) 的中国学术期刊网络出版总库。外文文献的获取是在 Web of science (WOS) (包括 SCI 和 SCIE) 中以“indoor positioning”或“indoor location”或“indoor localization”为标题检索词(以英文词组为主题检索词会检索出过多不相关文献,因此本文外文文献检索采用标题检索的方式),限定为 Articles,时间跨度为 1980-2019 年,并剔除检索结果中不相关文献及重复文献,最终得到文献 1808 篇。中文文献的获取是在 CNKI 学术期刊中以“室内定位”为关键检索词,期刊来源选择 SCI 来源期刊、EI 来源期刊、核心期刊、CSSCI、CSCD,时间跨度为 1980-2019 年,并剔除检索结果中不相关文献及重复文献,最终得到文献 945 篇。本文检索日期均为 2020 年 1 月 12 日。

本文利用 Citespace 信息可视化软件,对国内外室内定位文献进行计量可视化分析。以国内外室内定位研究领域相关文献为研究对象,分别对国内外文献进行作者合作共现分析、机构合作共现分析及关键词共现分析和聚类分析,得到国内外室内定位研究领域的知识图谱。

### 1.2 文献时间分布分析

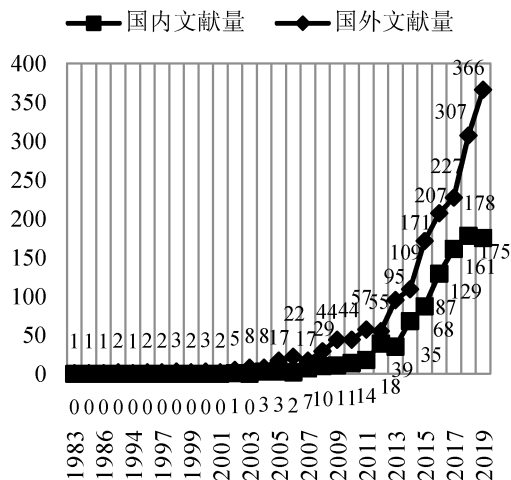


图1 文献量时间分布图

文献量及发表时间可以反映研究主题是否受学术界关注,通过对国内外以室内定位领域的相关文献进行统计,更加直观地了解室内定位领域的研究趋势<sup>[4]</sup>。国内外室内定位相关文献时间分布如图 1(图中缺失年份代表国内外均没有室内定位相关文献的研究)所示。

由图 1 可以看出关于室内定位的国内外文献量总体上均呈上升的趋势,近几年关于室内定位的研究文献量增长速度较快。国外关于室内定位研究要早于国内,早在 1983 年就开始有关于室内定位的研究,但是在 1983-2004 年这个阶段国外关于室内定位的研究较少,呈缓慢增长的趋势。2005-2019 年这个阶段国外关于室内定位的研究开始呈明显增长趋势。而国内最早关于室内定位的研究出现在 2002 年,之后关于室内定位的研究文献量逐年增多。

### 1.3 文献核心作者及组织机构分析

对国内外文献核心作者及组织机构的分析可以了解国内外室内定位研究领域的核心力量,实现对该领域研究前沿的实时跟踪。本文使用 Citespace 软件分别对国内外室内定位领域相关文献进行作者合作共现分析和组织机构合作共现分析。

#### 1.3.1 国内外文献核心作者分析

对国内外文献作者合作共现分析得到国内文献作者共现图和国外文献作者共现图分别如图 2 和图 3 所示。

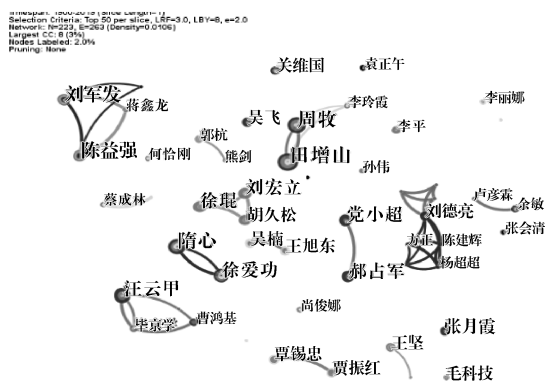


图2 国内文献作者共现图



图3 国外文献作者共现图

结合图 2 和图 3,可以总结出室内定位领域的核心作者。国内外室内定位领域的前 2 位核心作者为周牧与田增山,两者均属于重庆邮电大学无线定位与空间测量创新科研团队。图中可以看出两者有合作关系。文献[5]和文献[6]分别为在室内定位领域中 2 位学者合作被引量较高的国内外文献,2 篇文章均是关于室内指纹定位方法的研究。

1.3.2 国内外文献组织机构分析

对国内外文献机构合作共现分析得到图 4 国内文献机构共现图和图 5 国外文献机构共现图,并列举出国内外发文量排名前 10 的机构分别如表 1 和表 2 所示。

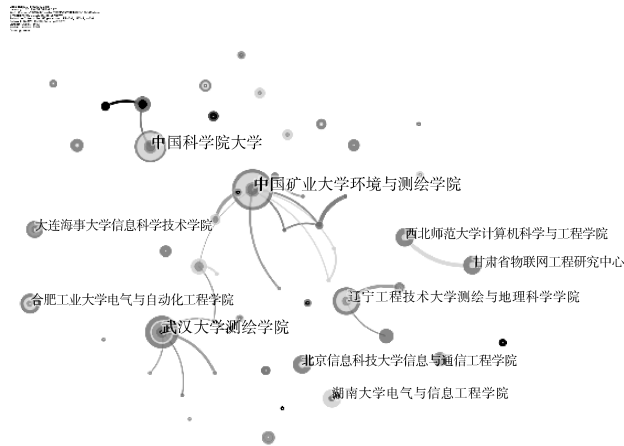


图 4 国内文献机构共现图



图 5 国外文献机构共现图

表 1 国内文献机构发文量排名表

排名	机构名称	发文量
1	中国矿业大学环境与测绘学院	18
2	武汉大学测绘学院	15
3	中国科学院大学	14
4	辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院	12
5	合肥工业大学电气自动化工程学院	9
6	甘肃省物联网工程研究中心	8
7	大连海事大学信息科学技术学院	8
8	西北师范大学计算机科学与工程学院	8
9	湖南大学电气与信息工程学院	8
10	北京信息科技大学信息与通信工程学院	8

表 2 国外文献机构发文量排名表

排名	机构名称	发文量
1	Chinese Acad Sci(中国科学院)	53
2	Wuhan Univ(武汉大学)	42
3	Beijing Univ Posts & Telecommun(北京邮电大学)	25
4	Nanyang Technol Univ(南洋理工大学)	23
5	Harbin Inst Technol(哈尔滨工业大学)	23
6	Beijing Inst Technol(北京理工大学)	23
7	Tsinghua Univ(清华大学)	23
8	Univ Chinese Acad Sci(中国科学院大学)	22
9	China Univ Min & Technol(中国矿业大学)	21
10	Shanghai Jiao Tong Univ(上海交通大学)	21

结合图 4 和表 1 可以看出国内室内定位领域文献发文量较高的机构有中国矿业大学环境与测绘学院、武汉大学测绘学院等。国内各机构间的合作比较少,在一定程度上限制了国内室内定位研究领域的发展。结合图 5 和表 2 可以看出国外文献的高产机构主要来自于我国,只有新加坡的南洋理工大学不属于我国。中国科学院(Chinese Acad Sci)、武汉大学(Wuhan Univ)为室内定位领域的核心力量。

1.4 文献研究内容分析

对国内外文献的关键词及主题分析可以了解关于室内定位的研究方向以及当前的研究热点。本文利用 Citespace 软件对国内外文献进行了关键词共现和聚类分析。

1.4.1 国外文献分析

将国外文献进行关键词共现分析和聚类分析分别得到国外文献关键词共现图(图 6)和国外文献关键词聚类图(图 7)。

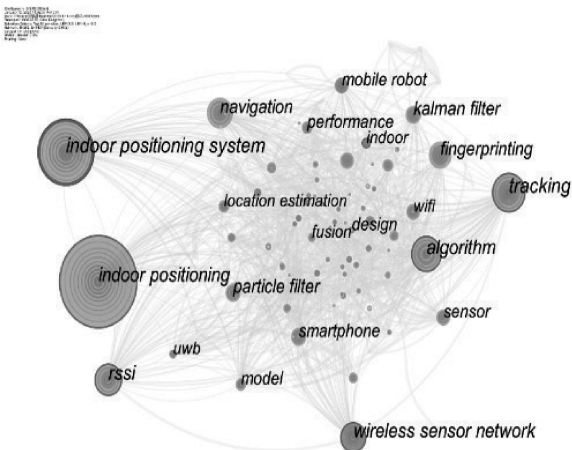


图 6 国外文献关键词共现图

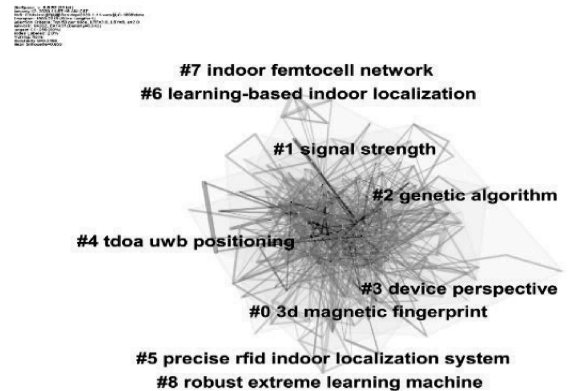


图 7 国外文献关键词聚类图

结合图 6 和图 7 可以发现,室内定位领域关于“室内定位技术(indoor positioning system)”“无线传感器网络(wireless sensor network)”“接收信号强度(RSSI)”“算法(algorithm)”等研究较多,“指纹定位(fingerprinting)”“定位估计(location estimation)”“卡

尔曼滤波(Kalman filter)”“粒子滤波(particle filter)”等研究也较多。主要为三维地磁指纹(3D magnetic fingerprint)、信号强度(signal strength)、遗传算法(genetic algorithm)、基于到达时间差的超宽带定位(TDOA UWB positioning)、精确的射频识别室内定位系统(precise RFID indoor localization system)等方面研究。

### 1.4.2 国内文献分析

本文对 CNKI 检索出的 945 篇文献首先利用 CNKI 自带的计量可视化功能进行分析,显示前 40 个热门研究主题词,得到图 8 的 CNKI 文献主题分布图。然后利用 Citespace 软件对文献进行关键词共现分析和聚类分析,分别得到国内文献关键词共现图(图 9)和国内文献关键词聚类图(图 10)。

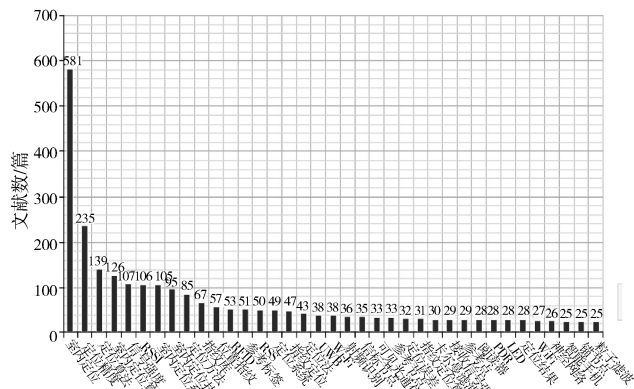


图 8 CNKI 文献研究主题分布图



图9 国内文献关键词共现图

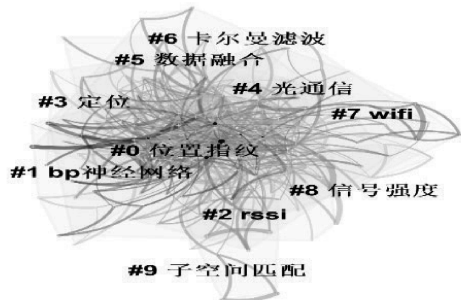


图 10 国内文献关键词聚类图

结合图 8、图 9 和图 10 分析,关于室内定位的研究方向国内与国外大体一致。国内对于定位精度、定位算法、室内定位方法、各种室内定位技术方面研究比较多。

### 1.5 重要被引文献分析

通过对室内定位的高被引文献分析能够使研究者直观地辨识出学科前沿的演化路径及学科领域的经典基础文献。

本文列举检索出的国内室内定位文献中的被引量前3位的文献如表3所示。

表3 国内文献被引量表

文献	被引量	期刊	发表时间
文献[7]	276	复旦学报(自然科学版)	2004/02/25
文献[8]	230	计算机应用	2005/05/10
文献[9]	190	中国通信	2013/03/15

由表 3 可以看出,国内室内定位文献被引量较高的前 2 篇文献的发表时间较早,当时关于室内定位领域的研究刚开始受到国内学者的关注,说明这 2 篇文献为室内定位领域的早期奠基性文献。文献[7]是由倪巍等人提出的基于接收信号强度测量的定位算法,为国内室内定位领域的研究提供了一定的启示。文献[8]是由孙瑜等人基于 RFID 的 LANDMARC 室内定位系统提出的一种最近邻居改进算法和基于误差多级处理的数据融合定位方法,为室内定位领域的研究者们提供了一定的借鉴。文献[9]是由邓中亮等人于 2013 年发表的一篇关于室内定位的综述,这个时期国内关于室内定位研究开始逐渐增多,这篇综述总结了当时室内定位的现状以及未来发展趋势,为室内定位领域的研究提供了一定的研究思路。

国外室内定位文献检索出 18 篇高被引文献,本文列举高被引文献中被引量前 3 位的文献如表 4 所示。

表4 国外文献被引量表

文献	被引量	期刊	发表时间
文献[10]	747	IEEE Communications Surveys & Tutorials	2009
文献[11]	347	IEEE Communications Surveys & Tutorials	2013
文献[12]	344	IEEE Communications Surveys & Tutorials	2016

由表 4 可以看出,被引量前 3 位的文献均属于综述性文献并均发表在期刊《IEEE Communications Surveys & Tutorials》上,该期刊为中科院 JCR 分区 1 区 Top 期刊,是计算机和通信领域最具权威性的综述性期刊,代表了学术前沿和未来的一些发展方向。该期刊最新影响因子为 17.188,在 IEEE 旗下所有 122 个 SCI 期刊中排名第一。综述性文献的被引量一般较高,可以为该领域的研究提供一定的借鉴。

## 2 室内定位研究方向总结

通过以上对国内外室内定位相关文献的计量可

视化分析以及阅读大量相关文献,对室内定位的研究方向进行归纳。高精度、低成本、实时性强的室内定位方法是目前室内定位领域的主要研究目标。室内定位的基本实现步骤如图 11 所示,据此可以将室内定位的研究方向分为室内定位技术研究、室内定位方法研究和其它方面研究等。

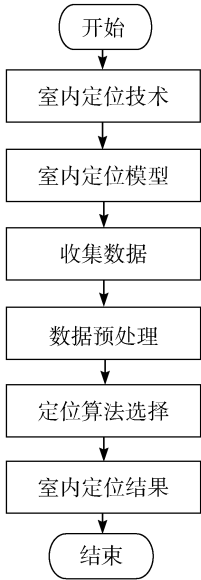


图 11 室内定位的基本实现步骤

2.1 室内定位技术研究

目前有多种定位技术可以实现室内定位功能,相对成熟的室内定位技术有射频识别(RFID)室内定位技术<sup>[13]</sup>、WiFi 室内定位技术<sup>[14]</sup>、超宽带(UWB)室内定位技术<sup>[15]</sup>、蓝牙(Bluetooth)室内定位技术<sup>[16]</sup>、超声波室内定位技术<sup>[17]</sup>、红外线室内定位技术<sup>[18]</sup>、ZigBee 室内定位技术<sup>[19]</sup>及其它定位技术。各室内定位技术的对比如表 5 所示。

表 5 各室内定位技术对比

定位技术	定位精度/m	优点	缺点
RFID 室内定位技术	[0.05, 5]	精度高,成本低	系统部署复杂
WiFi 室内定位技术	[2, 50]	系统部署简单,成本低	易受干扰,功耗高
超宽带(UWB)室内定位技术	[0.06, 0.15]	穿透力强,精度高,功耗低	造价高
蓝牙室内定位技术	[2, 10]	功耗低,易集成	稳定性差,易受干扰
超声波室内定位技术	[0.01, 0.10]	精度高,结构简单	多径效应,衰减明显,受温度影响,成本高
红外线室内定位技术	[5, 10]	精度高	不能穿越障碍,造价高,功耗大,受灯光干扰
ZigBee 室内定位技术	[1, 2]	低成本、低功耗	稳定性差

2.1.1 射频识别(RFID)室内定位技术

射频识别(RFID)是一种自动识别技术,利用无线射频方式进行非接触双向数据通信,对记录媒体进行读写,从而识别目标并实现数据交换,它被认为是 21 世纪最具发展潜力的信息技术之一<sup>[20]</sup>。RFID 定位系统通常由电子标签、读写器以及计算机数据库组成。根据电子标签是否有源可以分为有源 RFID 和无源 RFID。

Hightower 等人<sup>[21]</sup>提出的 SpotON 定位系统最早将射频识别技术应用于室内定位,该系统将多个读写器作为基站,利用读写器读到的标签的信号强度,采用定位方法计算出各个标签的位置。之后 Hightower 等人<sup>[22]</sup>在 SpotON 定位系统基础上提出了基于 Ad-hoc(点对点)的 SPotON 定位系统,将 Ad-hoc 网络引入 SPotON 定位系统中。由 Ni 等人<sup>[23]</sup>提出的 LAND-MARC 定位系统是近年来比较热门的射频识别室内定位系统,该系统的主要思想是引入参考标签,利用读写器读到的标签信号强度来计算目标标签的位置。之后许多学者对 LANDMARC 系统提出了改进方案,如 Wang 等人<sup>[24]</sup>利用粒子群优化神经网络对 LAND-MARC 定位系统进行改进,利用目标标签和参考标签的信号强度对粒子群优化之后的神经网络进行训练,并利用训练好的神经网络来计算目标标签的位置。Zhao 等人<sup>[25]</sup>提出基于虚拟参考标签的 VIRE(Virtual Reference Elimination)算法,该算法利用线性插值法,根据参考标签的信号强度和位置信息来估计虚拟参考标签的信号强度及位置信息,从而实现室内定位。其它的一些定位方法也被应用到 RFID 室内定位中,如利用信号强度(RSS)<sup>[26]</sup>、到达时间法(TOA)<sup>[27]</sup>等。

2.1.2 WiFi 室内定位技术

WiFi 室内定位技术是通过无线接入点组成的无线局域网,实现复杂环境中的定位,以网络节点的位置信息为基础,结合室内定位模型,对接入的移动设备进行定位。随着 WiFi 的使用率及覆盖率的提高,为基于 WiFi 室内定位技术的研究提供了有利条件。

基于 WiFi 的室内定位技术得到了越来越多国内外学者们的关注,由美国微软公司的研究人员提出的 RADAR 系统<sup>[28]</sup>是最早被应用于室内定位领域的 WiFi 室内定位技术,该系统基于接收信号强度,采用信号传播模型和位置指纹匹配 2 种方案来进行定位。马里兰大学 Youssef<sup>[29]</sup>提出 Horus 室内定位系统,该系统在离线阶段采集信号强度及位置信息以建立位置指纹库。而国内对 WiFi 室内定位技术的研究起步较晚,北京航空航天大学基于 WiFi 室内定位技术提出 Weyes 定位系统,该系统对信号强度值进行差值计算,并利用差值来构建指纹库<sup>[30]</sup>。

### 2.1.3 超宽带(UWB)室内定位技术

超宽带技术采用极窄的脉冲来实现数据传输,通常脉冲波的时间在纳秒级别,因此具有很大的带宽。鉴于这种脉冲波极窄,因此能耗低、穿透性强、不容易被截取、受多径效应影响小且系统结构简单,能提供精确定位。近年来超宽带技术作为一种快速发展的技术,在室内定位中获得广泛应用。

利用超宽带技术实现室内定位目前主要利用基于到达时间法(TOA)的测距算法完成定位<sup>[31]</sup>。基于TOA算法的超宽带室内定位要求节点在时间上同步,实现起来相对困难。基于到达时间差法(TDOA)的测距算法的超宽带室内定位弱化了同步要求<sup>[32]</sup>,从而更容易实现定位。

### 2.1.4 蓝牙(Bluetooth)室内定位技术

蓝牙技术是一种无线数据与语音通信的开放性全球规范,可以实现固定设备、移动设备之间的短距离数据交换。将蓝牙技术应用于室内定位领域,需要在室内安装适当的蓝牙局域网接入点,将网络设为基于多用户网络的连接模式,使接入点始终在一个微网络的主设备,通过信号强度值获得用户的位置,从而实现室内定位<sup>[33]</sup>。

2013年9月,苹果公司发布了iBeacon技术,该项技术是基于低功耗蓝牙4.0的精准定位技术,通过部署算法达到高精度的定位<sup>[34]</sup>。经过近几年的发展,该技术得到了普及,国内外学者开始研究将iBeacon技术应用到室内定位领域,一些研究者利用iBeacon技术开发出了智能导览系统,在景点、商场以及图书馆等大型的室内环境具有较强的应用前景<sup>[35]</sup>。

### 2.1.5 超声波室内定位技术

超声波定位技术主要采用反射式测距法,通过几何定位方法确定物体位置,超声波定位系统由一个主测距器和若干接收器组成,将主测距器放置在待测目标上,接收器固定在室内环境中。超声波室内定位技术定位时向接收器发射同频率信号,接收器接收信号后反射传输给主测距器,根据回波和发射波的时间差计算距离,从而确定待测目标位置。

超声波发射器和接收器要求具有时间一致性,超声波受空气密度、湿度影响较大,因此在气候复杂的区域内精度较低,成本较高。超声波室内定位技术基于测距的原理分为TOA法、TDOA法和相位法等。目前超声波定位技术在室内机器人定位方面有较为广泛的应用<sup>[36]</sup>。

### 2.1.6 红外线室内定位技术

红外线室内定位技术是利用安装在室内的光学传感器来接收移动设备发送的红外射线进行定位,该室内定位技术具有较高的定位精度。但是由于红外线只能视距传播,穿透性较差且容易受外部环境因素

干扰,在复杂的室内环境应用时会出现较大的误差,定位精度低。

红外线室内定位技术是第一个基于无线的室内定位技术,Want等人<sup>[37]</sup>基于红外定位技术最早提出了Active Badge定位系统,移动物体通过携带红外线发射器,通过室内的感应接收器接收到信号实现室内定位。

### 2.1.7 ZigBee室内定位技术

ZigBee室内定位技术需要设定一个中心参考节点和网关,与众多未知节点组成室内定位网络,利用各未知节点之间数据交换实现定位。ZigBee信号的传输受室内障碍的影响较大,且容易出现多径效应,ZigBee室内定位技术的稳定性和定位精度取决于定位环境,因此该室内定位技术成本较高,不容易实现。

随着ZigBee无线传感技术的发展,许多学者们基于ZigBee室内定位技术进行了研究,Luoh<sup>[38]</sup>利用径向基函数网络(RBFN)对被定位对象进行训练,结合ZigBee室内定位技术,实现便捷、低成本的室内无线定位系统。Konings等人<sup>[39]</sup>研究了将ZigBee室内定位技术应用于智能家居室内定位系统中。

### 2.1.8 其它室内定位技术

除了以上的几种主流的室内定位技术,国内外学者们将许多其它定位技术用于室内定位来提高室内定位精度。周家鹏等人<sup>[40]</sup>提出一种地磁室内定位技术,该技术基于地磁数据的特征,采用指纹快速采集方法,借助克里金插值算法建立地磁数字基准图,并利用动态时间规整算法实现室内定位。Wang等人<sup>[41]</sup>基于可见光室内定位研究,将可见光室内定位算法与正交频复用技术(OFMD)结合,提高了定位精度。

## 2.2 室内定位方法研究

针对室内定位特点,目前室内定位方法主要围绕降低定位服务成本、提高室内定位精度、适应复杂多变的室内环境等方面展开研究<sup>[42]</sup>。目前室内定位方法可以分为基于测距定位方法和基于非测距定位方法。

### 2.2.1 基于测距定位方法

基于测距的定位技术主要有到达时间法TOA<sup>[43]</sup>、到达时间差法TDOA<sup>[44]</sup>、到达角度法AOA<sup>[45]</sup>和基于RSSI测距定位方法<sup>[46]</sup>。

到达时间法(Time of Arrival, TOA)原理是利用终端发送信号到节点的到达时间来获得待定位点的位置。使用TOA算法进行室内定位时要求节点和终端在时间上要同步,否则就会出现较大的时间误差,这对定位精度有很大影响。而时间同步很难准确实现,因此该室内定位方法还有待进一步改进。

到达时间差法(Time Difference of Arrival, TDOA)是对TOA定位方法的进一步改进,该定位方法原理是利用终端发送信号到多个节点的到达时间

差来获得待定位点的位置,减少了节点和终端时间上同步这一要求。因为每个节点到终端的距离不同,从而信号到达节点的时间不同,使用到达时间差(TDOA)值计算出 2 个节点与终端的距离差,从而计算出待定位点的位置。

到达角度法(Angle of Arrival, AOA)原理是通过添加天线阵列或测量无线信号的发射角度来获取距离。该定位方法利用 2 个节点发射无线信号,接收端可以通过天线阵列获得信号的发射角度,从而计算出待定位点的位置。该定位方法在无干扰的定位环境下定位精度较高。然而当定位环境干扰较多时,就容易受到多径效应、折射、反射等因素的影响,会增加定位误差。该定位方法定位成本较高,不利于大范围推广。

基于接收信号强度(RSSI)传播模型定位方法是利用信号传播过程中出现损耗的现象,利用损耗与传播路径有关的特性得到基站与目标之间的直线距离。理论上,RSSI 值与距离符合自由空间模型。然而在实际定位环境中,室内传播环境通常较复杂,传播规律与理论模型会存在一定的偏差,因此许多研究者以理论模型为基础,研究实际测量 RSSI 值与距离的关系,建立相应的经验模型。根据经验模型,利用 RSSI 的测量值计算得到待测量点位置。在自由空间传播模型的基础上,研究者们提出了线性距离损耗模型<sup>[47]</sup>、对数距离损耗模型<sup>[48]</sup>、衰落因子模型<sup>[49]</sup>等。

### 2.2.2 基于非测距定位方法

基于 RSSI 指纹定位方法<sup>[50]</sup>,利用所有位置的 RSSI 值构建指纹数据库。在位置匹配阶段,将参考点的 RSSI 值,根据匹配算法进行位置匹配,从而估计出待测点的位置。基于 RSSI 指纹定位方法包括 2 个阶段:离线采集阶段与在线定位阶段。

离线采集阶段的目的是建立一个位置指纹数据库,在每个位置上采集不同参考点的 RSSI 值,利用 RSSI 值和参考点的位置信息构建指纹数据库。

在线定位阶段利用测量设备实时采集所有参考点的 RSSI 值,得到位置信息和 RSSI 值,作为位置匹配算法的输入数据,通过匹配算法,进行位置估计。

离线指纹库的采集和在线定位匹配算法是指纹定位的基本过程,也是影响定位精度的关键因素。最近邻法(NNSS)是最基本的确定性指纹匹配算法<sup>[51]</sup>,K 最近邻法(KNN)是最近邻法 NNSS 的改进<sup>[52]</sup>,加权 K 最近邻法(WKNN)是在 K 最近邻法 KNN 的进一步改进<sup>[53]</sup>,朴素贝叶斯法(Naive Bayes)是一种概率型算法,目前基于人工神经网络算法、支持向量机算法等的 RSSI 指纹室内定位为当前室内定位领域的研究热点。

## 2.3 其它方面研究

除了室内定位技术和室内定位方法的研究,研究者们将粒子滤波法、高斯滤波法、卡尔曼滤波法、混合滤波算法等应用于室内定位技术中,对数据预处理,以提高室内定位精度。Xie 等人<sup>[54]</sup>基于粒子滤波提出了一种新的智能手机室内定位系统,Zhou 等人<sup>[55]</sup>将 RSSI 的卡尔曼滤波算法结合蓝牙室内定位技术来提高室内定位精度,倪晓军等人<sup>[56]</sup>提出一种混合滤波算法进一步提高了室内定位精度。

## 3 室内定位研究展望

室内定位研究近年来得到了国内外学者们的关注,获得了快速发展,取得了一定的研究成果,对于常见的室内定位技术研究已经趋于成熟,在目前应用较为广泛的室内定位技术应用中,研究者们也不断提出各种群智能算法应用于室内定位方法来进一步提高室内定位精度。然而目前室内定位领域研究中仍然有许多问题值得学者们进一步探索,如目前室内定位技术自身存在的局限性、室内定位方法的无法普适以及室内定位技术很难应用到现实场景等问题。本文根据以上的室内定位国内外文献的计量可视化分析及室内定位研究方向总结,针对室内定位领域存在的问题提出以下室内定位方向未来研究展望。

### 3.1 探索新的室内定位技术

常见的室内定位技术通常需要采用辅助节点的方式来定位,虽然有些室内定位技术的辅助节点数较少,但可能存在技术本身成本较大的问题。而一些技术成本低的,却需要大量的辅助节点。由于一些室内定位技术容易受到定位环境的影响,容易出现信号衰减、电波干扰等问题,因此目前的室内定位技术的可靠性和稳定性很难有保障。且由于受成本制约,使大多数室内定位系统的定位精度较低。

由于目前室内定位技术的各种局限性,现阶段的各种室内定位技术都各有优缺点,一方面将多种室内定位技术融合是未来室内定位技术的发展趋势;另外一方面探索新的室内定位技术是室内定位领域的一个研究趋势。随着通信技术的发展,5G 的即将普及,探索如何将 5G 信号等新的定位技术应用到室内定位领域,具有重要的工程实践意义。

### 3.2 探索普适的室内定位方法

目前室内定位方法虽然较多,主要是基于测距室内定位方法和非测距室内定位方法。但由于这些室内定位方法实现的一些前提都比较理想化,在现实环境中可能无法满足,导致室内定位尚未得到广泛的普及应用。

如何在实际环境的限制下提出更加普适的室内



定位方法是具有一定实际意义的研究工作。针对测距的室内定位方法中的模型的研究将会是一个研究趋势,提出普适性的室内定位模型可进一步提高室内定位精度。基于非测距的定位方法中,基于指纹定位和参考标签等定位,将理论与实际干扰结合。研究者可以作进一步研究来减少干扰误差,从而提高室内定位方法的普适性。

### 3.3 室内定位的实际应用

目前室内定位技术的研究还集中在简单的场景假设中,而实际中的室内环境相对复杂。室内定位的实际应用会产生较大的误差等问题。

目前室内定位领域中,主要是基于二维空间的定位研究,基于二维空间的室内定位已经可以满足于大部分应用。然而三维空间中,如何实现可靠的室内定位还需要进一步的研究。将室内定位与室外定位相结合,探究如何将GPS导航技术与室内定位技术相结合对于室内定位的实际应用有重要的研究价值。

## 4 结束语

本文通过对室内定位的相关文献分析,可以发现,近年来室内定位已成为国内外研究热点。许多学者对室内定位技术、方法以及应用等方面进行研究,室内定位的研究已取得初步进展。和国外相比,当前国内的研究仍处于起步阶段,对其各方面的研究均不够深入。室内定位的研究主要在如何提升室内定位精度、降低技术成本等问题上。室内定位的未来研究仍有较大的发展空间,随着通信技术的发展,其研究领域也将不断得到深化和拓展。

### 参考文献:

- [1] HUO Y M, DONG X D, XU W, et al. Cellular and WiFi co-design for 5G user equipment[C]// Proceedings of the 2018 IEEE 5G World Forum (5GWF). 2018:256-261.
- [2] JIAO L, XING J P, ZHANG X, et al. LCC-Rwgh: A NLOS error mitigation algorithm for localization in wireless sensor network[C]// Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Control and Automation. 2007: 1354-1359.
- [3] 蔡超. 基于智能移动终端声音传感器的低延迟室内定位技术研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2019.
- [4] 王雪. 基于文献计量的国内外大数据研究对比分析[J]. 高校图书馆工作, 2017, 37(4): 49-54.
- [5] 周牧, 蒲巧林, 田增山. 室内WLAN定位中位置指纹优化的接入点部署方法[J]. 通信学报, 2015, 36(S1): 30-41.
- [6] TIAN Z S, TANG X M, ZHOU M, et al. Fingerprint indoor positioning algorithm based on affinity propagation clustering[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2013, 2013(1): Article No. 272, DOI: 10.1186/1687-1499-2013-272.
- [7] 倪巍, 王宗欣. 基于接收信号强度测量的室内定位算法[J]. 复旦学报(自然科学版), 2004, 43(1): 72-76.
- [8] 孙瑜, 范平志. 射频识别技术及其在室内定位中的应用[J]. 计算机应用, 2005, 25(5): 1205-1208.
- [9] DENG Z L, YU Y P, YUAN X, et al. Situation and development tendency of indoor positioning[J]. China Communications, 2013, 10(3): 42-55.
- [10] GU Y Y, LO A, NIEMEGEREERS I. A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11(1): 13-32.
- [11] HARLE R. A survey of indoor inertial positioning systems for pedestrians[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(3): 1281-1293.
- [12] HE S N, CHAN S H G. Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(1): 466-490.
- [13] CUI D, ZHANG Q. The RFID data clustering algorithm for improving indoor network positioning based on LAND-MARC technology[J]. Cluster Computing, 2019, 22(5): 5731-5738.
- [14] LUO J, ZHANG Z Y, LIU C, et al. Reliable and cooperative target tracking based on WSN and WiFi in indoor wireless networks[J]. IEEE Access, 2018, 6: 24846-24855.
- [15] ZHANG K, SHEN C, ZHOU Q, et al. A combined GPS UWB and MARG locationing algorithm for indoor and outdoor mixed scenario[J]. Cluster Computing, 2019, 22(4): 5965-5974.
- [16] KALBANDHE A A, PATIL S C. Indoor positioning system using Bluetooth low energy[C]// Proceedings of the 2016 International Conference on Computing, Analytics and Security Trends. 2016: 451-455.
- [17] PAREDES J A, ALVAREZ F J, AGUILERA T, et al. 3D indoor positioning of UAVs with spread spectrum ultrasound and time-of-flight cameras[J]. Sensors, 2017, 18(1), DOI: 10.3390/s18010089.
- [18] MARTIN-GOROSTIZA E, GARCIA-GARRIDO M A, PIZARRO D, et al. An indoor positioning approach based on fusion of cameras and infrared sensors[J]. Sensors, 2019, 19(11), DOI: 10.3390/s19112519.
- [19] 浦宇欢, 毛丽民, 刘龙飞. 基于ZigBee的机器人室内定位设计[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(4): 64-68.
- [20] 李成渊. 射频识别技术的应用与发展研究[J]. 无线互联科技, 2016(20): 146-148.
- [21] HIGHTOWER J, BORRIELLO G, WANT R. SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength[R]. University of Washington, 2000.
- [22] HIGHTOWER J, VAKILI C, BORRIELLO G, et al. Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System[R]. University of Washington, 2001.
- [23] NI L M, LIU Y H, LAU Y C, et al. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID[J]. Wireless Networks, 2004, 10(6): 701-710.



- [24] WANG C Z, SHI Z C, WU F, et al. An RFID indoor positioning system by using particle swarm optimization-based artificial neural network[C]// Proceedings of the 2016 International Conference on Audio, Language and Image Processing. 2016:738-742.
- [25] ZHAO Y Y, LIU Y H, NI L M. VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination[C]// Proceedings of the 2007 International Conference on Parallel Processing. 2007, DOI: 10.1109/ICPP.2007.84.
- [26] YAO C Y, HSIA W C. An indoor positioning system based on the dual-channel passive RFID technology[J]. IEEE Sensors Journal, 2018,18(11):4654-4663.
- [27] KHAN U H, RASHEED H, ASLAM B, et al. Localization of compact circularly polarized RFID tag using ToA technique[J]. Radioengineering, 2017,26(1):147-153.
- [28] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system[C]// Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 2000,2:775-784.
- [29] YOUSSEF M. Horus: A WLAN-based Indoor Location Determination System[D]. University of Maryland, 2004.
- [30] 黄鱼. WiFi 定位浪潮渐起[J]. 中国无线电, 2014(3): 44-45.
- [31] ALAVI B, PAHLAVAN K. Modeling of the TOA-based distance measurement error using UWB indoor radio measurements[J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(4):275-277.
- [32] LI H, REN B. Wireless location for indoor based on UWB[C]// Proceedings of the 34th Chinese Control Conference. 2015:6430-6433.
- [33] 石敏. 融合多滤波器的 iBeacon 室内定位方法研究与实现[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2019.
- [34] 吴奇轩. 基于 RSSI 的低功耗蓝牙 4.0 室内定位技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2018.
- [35] 吴栋淦. 基于 iBeacon 的智能导览系统的设计与实现[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2014,9(4):9-13.
- [36] HUA B, RAMA E, CAPI G, et al. Intelligent navigation and accurate positioning of an assist robot in indoor environments[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Robotics and Machine Vision. 2017, DOI: 10.1117/12.2304676.
- [37] WANT R, HOPPER A, FALCAO V, et al. The active badge location system[J]. ACM Transactions on Information Systems, 1992,10(1):91-102.
- [38] LUOH L. ZigBee-based intelligent indoor positioning system soft computing[J]. Soft Computing, 2014,18(3): 443-456.
- [39] KONINGS D, BUDEL A, ALAM F, et al. Entity tracking within a ZigBee based smart home[C]// Proceedings of the 23rd International Conference on Mechatronics & Machine Vision in Practice. 2016:190-195.
- [40] 周家鹏,汪云甲,李昕,等. 地磁室内定位技术研究[J]. 测绘通报, 2019(1):18-22.
- [41] LI H X, WANG J, ZHANG X F, et al. Indoor visible light positioning combined with ellipse-based ACO-OFDM[J]. IET Communications, 2018,12(17):2181-2187.
- [42] 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.
- [43] HEIDARI M, PAHLAVAN K. Identification of the absence of direct path in ToA-based indoor localization systems[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2008,15(3-4):117-127.
- [44] TIEMANN J, WIETFELD C. Scalable and precise multi-UAV indoor navigation using TDOA-based UWB localization[C]// Proceedings of the 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. 2017, DOI: 10.1109/IPIN.2017.8115937.
- [45] WEN F X, LIANG C. An indoor AOA estimation algorithm for IEEE 802.11ac Wi-Fi signal using single access point[J]. IEEE Communications Letters, 2014,18(12):2197-2200.
- [46] 罗宇锋,王鹏飞,陈彦峰. 基于 RSSI 测距的 WiFi 室内定位算法研究[J]. 测控技术, 2017,36(10):28-32.
- [47] FANG H, LIU M, LI F, et al. A novel adaptive algorithm for location based on distance-loss model in complex environment[C]// Proceedings of the 2016 IEEE 20th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. 2016:26-30.
- [48] LI W, YUAN Z M, YANG S H, et al. Error analysis on RSS range-based localization based on general log-distance path loss model[C]// Proceedings of the 2018 IEEE 15th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. 2018:469-474.
- [49] 张晓俊. 基于 UWB 信号的室内混合定位算法及性能分析研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2018.
- [50] CHOW K H, HE S N, TAN J J, et al. Efficient locality classification for indoor fingerprint-based systems[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2019,18(2): 290-304.
- [51] 张文学. 基于 WiFi 的 RSSI 指纹定位算法研究[D]. 成都:电子科技大学, 2015.
- [52] 戴志诚,李小年,陈增照,等. 基于 KNN 算法的可变权重室内指纹定位算法[J]. 计算机工程, 2019,45(6): 310-314.
- [53] LI C G, QIU Z Y, LIU C T. An improved weighted K-nearest neighbor algorithm for indoor positioning[J]. Wireless Personal Communications, 2017,96(2):2239-2251.
- [54] XIE H W, GU T, TAO X P, et al. A reliability-augmented particle filter for magnetic fingerprinting based indoor localization on smartphone[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2016,15(8):1877-1892.
- [55] ZHOU C, YUAN J Z, LIU H Z, et al. Bluetooth indoor positioning based on RSSI and Kalman filter[J]. Wireless Personal Communications, 2017,96(3):4115-4130.
- [56] 倪晓军,高雁,李凌峰. 基于 RSSI 的混合滤波算法[J]. 计算机科学, 2019,46(8):133-137.