

“导航与位置服务”丛书

DAOHANG YU WEIZHI FUWU CONG SHU

# 室内外无线定位与导航

SHINEIWAI WUXIAN DINGWEI YU DAOHANG

邓中亮 余彦培 徐连明 袁协 / 编著



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

“导航与位置服务”丛书

# 室内外无线定位与导航

邓中亮 余彦培 徐连明 袁协 编著



北京邮电大学出版社  
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书重点介绍了室内外无线定位基础理论、常见的室内定位方法、Wi-Fi 定位原理、基于 Wi-Fi 的高程精密定位技术、基于邻域均值滤波方法的指纹库噪声滤波、室内空间地理信息系统设计、空间数据模型、惯性传感器辅助 Wi-Fi 室内定位、定位追踪技术、高精度定位在资产管理中的应用以及基于移动通信广播网络的广域室内外无缝定位原理、技术及其研究进展等最新成果。

本书适合于大专院校通信导航专业高年级本科生和研究生学习参考,也可供致力于无线通信与导航研究的高校教师、研究所和公司研发人员以及移动网络与位置服务运营工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

室内外无线定位与导航 / 邓中亮等编著. —北京: 北京邮电大学出版社, 2013. 12  
ISBN 978-7-5635-3765-5

I. ①室… II. ①邓… III. ①无线电定位②无线电导航 IV. ①TN95②TN96  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 294177 号

---

书 名: 室内外无线定位与导航  
著作责任者: 邓中亮 余彦培 徐连明 袁协 编著  
责任编辑: 刘 颖  
出版发行: 北京邮电大学出版社  
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)  
发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578  
E-mail: publish@bupt.edu.cn  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京宝昌彩色印刷有限公司  
开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16  
印 张: 13  
字 数: 269  
版 次: 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-3765-5

定 价: 49.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

# 前 言

随着信息时代的到来,通信与导航技术在互相交融中迅速发展,导航系统与通信系统紧密结合,使个人用户的导航定位信息产生更大的应用价值,发挥出更多的效能,实现单一定位导航向监控、管理、交通、救助、娱乐等综合位置服务的转变。位置服务作为战略型新兴产业已广泛进入人们生活,正在成为国防安全、经济建设、社会生活中不可或缺的部分。

目前,在室外环境,卫星导航技术已广泛应用于人们的生活。而在卫星导航系统难以覆盖的室内环境,位置服务的需求日益迫切。随着社会主义现代化建设的不断发展、大型建筑的日益增多,人们80%以上的时间处于室内环境,室内位置服务的需求正不断增加。特殊人群监护、大型场馆管理、物联网、个人位置服务等领域都需要使用准确的室内位置信息,特别是在应对紧急情况时,如在消防救援、应急疏散等特殊应用场景下,室内定位信息显得尤为重要。位置服务正迎来从室外导航转变为室内外无缝导航的新纪元,融合导航卫星与地面网络的天地一体化室内外无缝导航系统已经成为国家重大战略。

20世纪80年代,美国军方解除扩频通信技术的管制,允许其商业化后,基于扩频技术GPS系统迅速发展,实现室外精确定位,使导航技术在20世纪90年代开始走进普通人们的生活;21世纪初,3G移动通信系统的建成,则促进了位置服务向大众手机的普及;近5年来,随着各类局域/短距无线通信系统的普及,基于局域/短距无线通信系统的高精度室内定位技术开始在部分重点场所(如机场、大剧院等)开始商用;目前,随着4G网络建设的推进,广域室内外高精度无缝定位技术开始成为研究热点,基于移动基站的广域室内外高精度无缝定位技术取得部分突破;随着未来泛在无线环境的成熟与普及以及移动基站的广域覆盖,局域通信系统作为重点补充的大众化广域室内外高精度无缝位置服务必将成为研究热点,为人们的生活带来更加丰富、便捷的全新体验。

受定位时间、定位精度以及复杂室内环境等条件的限制,室内定位存在诸多难题。因此,专家学者们提出了许多室内定位技术解决方案,如

A-GPS 定位技术、超声波定位技术、蓝牙技术、红外线技术、射频识别技术、超宽带技术、无线局域网、光跟踪定位技术以及图像分析、信标定位、计算机视觉定位技术等。这些室内定位技术从总体上可归纳为几类,即 GNSS 技术(如伪卫星等),无线定位技术(无线通信信号、射频无线标签、超声波、光跟踪、无线传感器定位技术等),其他定位技术(计算机视觉、航位推算等)以及 GNSS 和无线定位组合的定位技术。

作者从事室内外定位技术研究多年,在总结国内外研究工作基础上完成了本书撰写工作。本书共分 10 章,第 1 章绪论,第 2 章介绍无线定位基础理论,第 3 章介绍了 WLAN 定位原理,第 4 章介绍了高程精密定位技术,第 5 章介绍了基于邻域均值滤波方法的指纹库噪声滤波方法,第 6 章介绍了室内空间地理信息系统设计与空间数据模型,第 7 章介绍了惯性传感器辅助 Wi-Fi 室内定位,第 8 章介绍定位追踪技术,第 9 章介绍了高精度定位在资产管理中的应用,第 10 章介绍了基于移动通信广播网络的广域室内外无缝定位原理。

本书由邓中亮、余彦培、徐连明、袁协等撰写完成。全书由邓中亮教授统稿,在本书编写过程中,刘晓艳、陈沛、韩青振、高鹏、王佳、尹会明、王文杰等提供了支持和帮助,对此表示衷心感谢。

因作者水平有限,书中错误在所难免,请读者多批评指正。

作者

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 移动终端定位技术	3
1.2 国内外 Wi-Fi 定位技术	6
1.3 基于移动通信网络的定位技术	8
1.4 融合导航定位技术	8
1.5 小结	9
参考文献	9
第 2 章 室内外定位技术理论基础	11
2.1 卫星定位技术	11
2.1.1 GPS 技术概述	11
2.1.2 GNSS 定位原理	12
2.2 无线定位技术	13
2.2.1 WLAN 定位技术	13
2.2.2 WSN 定位技术	14
2.2.3 RFID 定位技术	14
2.2.4 超宽带定位技术	14
2.2.5 基于地面移动网络的定位技术	15
2.3 室内定位方法	15
2.3.1 AOA 定位	15
2.3.2 TOA 定位	16
2.3.3 TDOA/AOA 混合定位	17
2.3.4 基于 RSSI 定位	17
2.3.5 无线信号传播模型	19
2.4 室内定位主要影响因素	21
2.4.1 人体对信号接收强度的影响	21

2.4.2	多径传播造成的影响	23
2.4.3	同频干扰造成的影响	24
2.5	小结	25
	参考文献	25
<b>第3章</b>	<b>WLAN 定位原理</b>	<b>27</b>
3.1	WLAN 信号传播分析	27
3.1.1	WLAN 系统及接收机制	27
3.1.2	WLAN 无线信道特性	29
3.1.3	WLAN 系统信号传播模型	30
3.2	无线定位基本原理	31
3.2.1	三边及三角定位	31
3.2.2	基于指纹匹配的定位	33
3.2.3	定位评测标准	33
3.3	无线局域网定位	34
3.3.1	WLAN 定位场景	35
3.3.2	基于时间/角度测量的定位	35
3.3.3	基于信号强度的定位技术	36
3.3.4	位置指纹定位	37
3.3.5	信号传播模型定位	38
3.4	小结	39
	参考文献	40
<b>第4章</b>	<b>室内高程定位技术</b>	<b>42</b>
4.1	气压计测高	42
4.2	基于 WSN 的网格位置辅助室内楼层无缝切换	43
4.2.1	网格位置辅助的楼层及区域无缝切换策略	44
4.2.2	信号强度迟滞辅助楼层及区域精确切换策略	44
4.2.3	无缝定位切换判决算法描述	45
4.2.4	实验与分析	47
4.3	基于 WSN 虚拟子网的室内室外无缝切换	49
4.3.1	WSN 虚拟子网结构模型	49
4.3.2	WSN 虚拟子网切换实现原理	50
4.3.3	WSN 虚拟子网带滞后余量的切换算法模型分析	50
4.3.4	实验与分析	53

4.4	基于 WLAN 的高度方向定位方法 .....	54
4.4.1	楼层间分类 .....	54
4.4.2	楼层分类 .....	55
4.4.3	仿真结果及分析 .....	57
4.5	加速度计辅助 WLAN 楼层判别 .....	59
4.6	基于气压测高技术的室内垂直定位 .....	63
4.6.1	气压测高技术简介 .....	64
4.6.2	基于气压测高技术的室内垂直定位算法 .....	65
4.6.3	垂直楼层定位算法设计 .....	66
4.6.4	上下楼行为模式的识别处理 .....	67
4.6.5	对于快速或慢速上下楼的行为模式识别与处理 .....	68
4.7	算法性能验证分析 .....	69
4.7.1	垂直楼层定位算法性能验证分析 .....	70
4.7.2	上下楼行为模式的识别处理算法性能验证分析 .....	71
4.8	小结 .....	72
	参考文献 .....	73
<b>第 5 章</b>	<b>指纹库噪声滤波 .....</b>	<b>75</b>
5.1	邻域均值滤波方法 .....	75
5.2	基于邻域均值滤波的指纹库滤波 .....	77
5.2.1	噪声点判定 .....	77
5.2.2	噪声点的滤除 .....	79
5.2.3	基于邻域均值滤波方法的指纹库滤波算法的实现 .....	80
5.2.4	算法效果验证 .....	81
5.3	小结 .....	83
	参考文献 .....	83
<b>第 6 章</b>	<b>室内空间地理信息系统设计 .....</b>	<b>85</b>
6.1	空间数据组织 .....	85
6.1.1	空间数据特征 .....	86
6.1.2	空间数据模型 .....	88
6.2	室内空间地理信息标准化 .....	89
6.2.1	室内空间数据采集通用性和可扩展性 .....	89
6.2.2	室内空间数据处理标准 .....	90
6.3	室内空间地理系统查询 .....	91



6.3.1	面向室内空间应用的 E-R 模型设计	91
6.3.2	室内空间逻辑模型设计	93
6.3.3	室内空间索引设计	94
6.4	高效的室内空间地理信息查询语言设计	96
6.4.1	查询谓词的扩展	97
6.4.2	模糊查询	97
6.5	小结	98
	参考文献	98
<b>第 7 章</b>	<b>惯性传感器辅助 Wi-Fi 室内定位</b>	<b>100</b>
7.1	行人航迹推算技术	100
7.2	基于 Hamming 窗的低通滤波器设计	103
7.2.1	基于 Hamming 窗函数法 FIR 滤波器设计	104
7.2.2	基于加速度计方差的动态阈值的步频检测	109
7.2.3	陀螺仪辅助步频检测的研究	111
7.3	基于自学习能力的步长估计方法	115
7.4	小结	117
	参考文献	117
<b>第 8 章</b>	<b>定位追踪技术研究</b>	<b>119</b>
8.1	常用滤波技术	119
8.1.1	标准卡尔曼滤波	119
8.1.2	标准粒子滤波	121
8.2	融合 WLAN 位置指纹和加速度计的定位追踪	123
8.2.1	室内定位系统的状态及观测方程	123
8.2.2	运动速度估计	124
8.2.3	融合 WLAN 位置指纹和加速度计的定位追踪原理	125
8.3	仿真分析	126
8.3.1	参数选择	126
8.3.2	仿真分析	127
8.4	小结	131
	参考文献	131
<b>第 9 章</b>	<b>高精度定位在资产管理中的应用</b>	<b>134</b>
9.1	绪论	134

9.2	系统结构 .....	135
9.3	系统工作流程 .....	135
9.4	系统实现 .....	136
9.4.1	资产编码分配 .....	136
9.4.2	手持端资产录入与查询软件 .....	137
9.4.3	服务器端数据管理 .....	144
9.4.4	无线网络 .....	144
9.5	小结 .....	145
	参考文献 .....	145
<b>第 10 章</b>	<b>TC-OFDM 定位技术 .....</b>	<b>146</b>
10.1	绪论 .....	146
10.2	定位接收机理论基础 .....	147
10.2.1	定位原理 .....	147
10.2.2	伪随机 C/A 码 .....	149
10.2.3	接收机系统结构 .....	151
10.2.4	信号体制 .....	155
10.3	接收机捕获算法 .....	157
10.3.1	捕获思想 .....	157
10.3.2	捕获方法 .....	159
10.3.3	系统捕获方法和实现 .....	168
10.4	接收机捕获性能 .....	179
10.4.1	影响捕获性能的因素 .....	179
10.4.2	捕获性能仿真 .....	180
10.5	一种微弱信号条件下的接收机实现 .....	189
10.5.1	微弱信号条件下接收机系统结构 .....	190
10.5.2	微弱信号条件下接收机的实现 .....	191
10.6	小结 .....	197
	参考文献 .....	197

# 第 1 章 绪 论

空间位置是人类存在于社会活动中必不可少的重要元素,随着人类社会的不断发展,活动范围的不断扩大,生活城市空间的复杂度不断加大,由此引发的社会问题也随之增多,因此人类活动的空间信息越来越受到人们的重视。特别是近些年互联网的飞速发展,人们衣、食、住、行都不可避免地互联网产生了联系,一些新兴的互联网应用与服务也正在逐步地改变着人们的生活方式,微博成了人们自我抒发情怀、朋友相互寒暄的一个新天地,SNS 网络给人们提供了一个新的交际方式,另一个服务 LBS 更是给“你在哪儿?”这句简单的问候赋予了更深更广的含义。

LBS(Location Based Service,基于位置的服务)是由移动通信网络和计算机互联网相结合实现的交互:移动终端通过移动通信网络发出的请求,经过网关传递给 LBS 服务端,服务端收到移动终端用户请求后,根据用户当前的位置对用户所需服务进行处理,将结果通过网关返回给用户。LBS 系统的基本组成如图 1-1 所示。

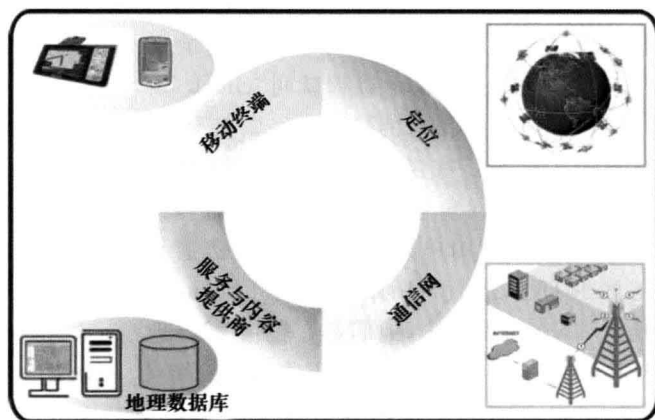


图 1-1 LBS 系统基本组成:用户+地理位置+服务提供+网络

LBS 不仅在与人们息息相关的生活、工作的各方面体现了极大的方便性,而且还解决了人们在生活和工作中遇到的一系列难题,大到生存性命,小到生活琐碎。

早在 1996 年,FCC(Federal Communications Commission,美国联邦通信委员

会)就提出了一种名为 E911 的移动位置服务。该服务的主要对象是手机持有者,服务需要者只要通过手机呼叫,就可以享受运营商提供的紧急求助服务。该服务还规定了运营商为用户提供的定位服务精度标准,并记入法律章程。欧盟也于 2003 年 1 月 1 日起实施遵循“US FCC”标准的法律。

在亚洲,日本和韩国 LBS 多倾向于商业应用方面,由于 3G 技术的快速发展,其 LBS 的商业应用也迅速得到扩张。如日本 NTT 公司旗下的 DoCoMo 从 2001 年下半年开始在全日本开展各式各样的基于位置的服务与业务,通过十余年的发展 LBS 已在相关市场上成了主流。

在中国,中国移动福建分公司早在 2001 年就已经推出了 LBS,并得到了深入的发展,之后中国移动又推出了名为“定位通”的位置服务;中国联通随之推出名为“定位之星”的位置服务,经过几年的发展,其提供的服务已逐渐走向市场,为今后 LBS 在中国的发展奠定了良好的基础。

LBS 更多地应用于生活服务。来到一个陌生的城市很容易迷路,这时我们需要通过终端来获取自己的位置信息;为了获知朋友在哪儿,不需要打电话过去询问,只要与朋友都使用了 LBS 相关应用,就可以轻松地地图上知道他的位置;在不熟悉的区域,可以根据当前位置搜索周边的美食餐厅;出外旅游,甚至可以搜索到周边的美景以及在这些地方存在过的人,发生过的事;进入某家商场、剧院等大型场馆,可以很快地找到自己所要的东西或地点,消除了在其复杂环境内“迷失”的可能性,同时也大大节省了时间。

最近网络上流行一个称为“check in(签到)”的 LBS:当用户持手机或其他移动终端进入餐厅、电影院、购物中心等区域时,可以通过登录所持终端上的 LBS 软件,把所在位置及其他信息分享给好友,这个过程就叫“check in”。

LBS 可为其经营者带来巨大的收益,网站经营者和终端软件开发人员察觉到此应用的前景可观,纷纷加入进来。在美国,LBS 的先行者 Foursquare 已经成了 Facebook 之后最炙手可热的互联网角色。它成立 3 年后,每天新增用户数超过 13 000 人,据估计,Foursquare 目前的用户数已超过 1 000 万。而当年,Facebook 用户数达到 100,花了 2 年的时间。之后,Google 推出 Latitude,Facebook 推出 Facebook Places, Twitter 推出 Twitter Places,他们都在抢占 LBS 地盘。Foursquare 很快被国内企业所模仿,类 Foursquare 网站纷纷出现,如嘀咕、街旁、玩转四方、开开等,各种类似的应用在手机、iPad 等终端上也相继出现。2011 年第二季度中国 LBS 领域的相关应用及市场份额如图 1-2 所示。

LBS 技术的核心目标就是可以让用户在任何时间任何地点都获得基于定位信息的服务,要做到随时随地,目前最广泛的应用平台就是手机终端,而 LBS 技术中最重要的位置信息我们应该怎么获取,位置是否可信,这两大问题一直都是 LBS 研究中的热点。由此带给我们研究者的问题是:怎样提出更好的定位手段,怎样提高定位的精度。

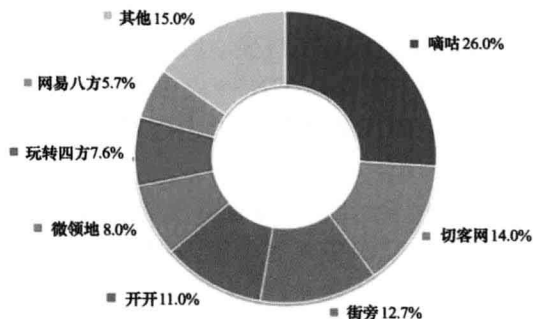


图 1-2 2011 年第二季度中国 LBS 领域的相关应用及市场份额

## 1.1 移动终端定位技术

定位就是得到人或事物在特定环境中,某一时刻的基于某种坐标系的坐标及相关信息。由于定位技术领域的研究发展,目前人们已提出了许多得到定位信息的解决方案,如 GNSS(Global Navigation Satellite System,全球卫星导航系统)、A-GPS/BD、TC-OFDM 定位技术、超声波技术、射频识别技术(RFID)、超宽带技术(UWB)、WLAN 技术以及图像匹配定位及地磁定位技术等。但是,由于有些技术所需成本过高而很少被应用于移动终端,对于人们常用的类似于手机、iPad 等移动终端上被广泛应用的定位技术如下。

### (1) GNSS 技术

GNSS<sup>[1]</sup>是指可以提供位置和时间信息的全球系统,整个系统由卫星、地面监控系统及用户设备 3 部分组成,可为地球表面、近地表甚至地球外的地点提供全天候、实时、高精度的位置、速度以及时间信息。目前,全球的导航定位系统包括:美国的 GPS;欧洲的伽利略系统;俄罗斯的 GLONASS 和中国的北斗系统。

北斗卫星导航系统是我国自主研发的新一代卫星导航系统,是继美国的 GPS 和俄罗斯的 GLONASS 之后第三个比较成熟的卫星导航系统。系统由 3 部分组成:空间部分、地面控制部分和用户接收部分,可以在全球范围内全天候、实时为用户提供高精度的可靠定位、导航、授时服务,与其他系统不同的是它还具有短报文通信能力,目前已经具备初步的区域服务能力,而且预计在 2020 年实现全球定位服务能力。

随着现代社会的高速发展,GNSS 在海洋、通信、气象、石油、森林、防火、灾害预报、交通、安防等领域将发挥越来越重要的作用,未来的卫星导航系统将与我们的生活息息相关。卫星导航系统已经成为现代社会的三大信息产业之一,在政治、经济以

及军事等多个领域都具有重要意义。全球卫星导航系统经过了 30 年左右的发展,最初只是单纯为了军事服务,后来应用到了气象、应急通信等特殊行业,现在进入了民用市场。随着系统服务性能的不不断提升,GNSS 应用领域也在不断扩展,所以,GNSS 是一个国家安全以及国计民生的战略性系统,世界上的航天大国都竞相发展 GNSS 系统。

卫星导航系统具有全球化、全天候、同步性等优势,使得 GNSS 在定位服务中的作用更加显著,显得不可或缺。定位需求越来越多地集中在室内、楼宇间、树木遮挡等环境中,尤其对于当前广泛的手机用户群,几乎所有的定位领域都集中在市区楼宇间和室内环境下。GNSS 标称的地面接收信号强度一般都在  $-130$  dBm 左右,但是在以上这些复杂的环境中,卫星信号严重衰减,在遮挡严重的区域甚至低至  $-150$  dBm( $24$  dB/Hz)。信号受到的干扰程度超出了普通接收机的正常工作范围。GNSS 接收设备如果不提高灵敏度,增强弱信号处理能力,将严重制约卫星导航系统的应用领域。这就要求有高灵敏度的接收机来实现定位。而在长积分等高灵敏度定位算法下,定位时间又显得过长,也影响了其应用范围。

因此,在城市楼宇间等应用领域很广而且环境相对恶劣的情况下,研究其信号处理和快速定位技术,能提高导航产品应用的有效性和实用性,具有重要的现实意义和前景。

GPS 是英文 Global Positioning System(全球定位系统)的简称,GPS 是 20 世纪 70 年代由美国陆海空三军联合研制的新一代空间卫星导航定位系统。GPS 定位的基本原理是以空间中导航卫星在某一时刻的位置作为基础数据,采用空间距离后方交会的方法进行定位。通常,安装了 GPS 定位模块的用户接收机会接收多颗导航卫星的信号,并计算出这些卫星与接收机之间的距离,进一步计算出待测点的坐标,实现全球定位。GPS 定位技术在室外定位领域具有定位精度高的优点,定位精度可达到  $10$  m,同时还具有高效率等优点。

## (2) CELL ID 技术

CELL ID 首先须对基站覆盖范围内的区域进行蜂窝小划分,手机进入划分后的小区时会注册一个 ID 号,即相应的 CELL ID,而每个小区中心的地理位置坐标与覆盖半径都是事先就测量好的,通过这两个指标即可知道用户的位置。该定位技术的优点是当需要升级服务或系统出现故障时,只需要对蜂窝基础进行改造即可,而无须修改手机或者网络本身。CELL ID 技术在大规模的移动网中得到广泛应用。CELL ID 还有一个优点就是定位时间短,大概在  $1$  s 左右。缺点是由于定位受蜂窝小区的半径限制,实际定位的精度为几十米至数百米。

## (3) 抵达时间差异定位技术

抵达时间差异(Time Difference Of Arrival, TDOA)技术是将信号到达时间或信号到达时间差作为定位手段。它是通过测量从待定位端发出的信号到多个基站接收

信号的时间或时间差来确定用户的位置。这种定位技术在基于蜂窝通信系统的定位技术中得到广泛应用,它具有以下优点:①手机与基站之间的同步性要求不严格,在一定误差下也能保持定位的性能;②定位精度比 CELL ID 更高,且较易实现。其缺点是需要通过改造基站设备来确保定位的精度。

#### (4) A-GPS 技术

A-GPS 技术是在 GPS 技术基础上提出的一种性能更好的定位技术,多用于具有 GPS 模块的手机终端。该技术是将手机端获得的 GPS 定位的粗略位置信息数据通过移动基站网络传给进行位置计算的服务器,服务器结合其他的辅助定位设备(如差分 GPS 基准站)的辅助信息完成对 GPS 数据的处理并计算出待定位手机的位置。该技术与传统 GPS 定位技术相比具有以下优势:①首次捕获时间只需几秒钟,而传统 GPS 技术需要 2~3 min;②定位精度高于传统 GPS 的精度,最高可达 5 m 左右。

#### (5) Wi-Fi 技术

无线局域网就是在局部区域内以无线媒体或介质进行通信的无线网络,比起金属线缆网络,无线局域网传输的速率高,且架设成本低廉,部署实现也十分容易。基于 IEEE 802.11b 标准的无线以太网已经得到迅速的发展,无论在校园、在工作场合还是在公共场所该技术都得到了广泛应用。利用手机或者 iPad 就可以轻松获取无线信号。由于无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)的主要应用环境是在室内,在 802.11 标准中,无线网卡和无线接入点(Access Point, AP)都有测量射频信号强度的功能,故一般无线局域网的定位技术采用基于接收信号强度(Received Signal Strength Indication, RSSI)的方式进行室内定位。

从上面所示的主流手机定位技术来看, GPS、CELL ID 等技术的定位精度相对而言不高,只能粗略得出所在地理位置信息,且如果信号被阻挡或遮蔽,定位精度也会随之大打折扣。而 A-GPS 相较于前三者而言,定位精度有所提高,在室外能基本满足定位要求,近几年广泛地应用于移动终端的定位。但是在室内,仍然要面临信号遮蔽的难题,室内环境中信号传播受到墙壁、隔断、天花板等障碍物的阻挡,使信号发生反射、折射、衍射,发射信号经过多条不同路径,以不同的时间到达接收端,出现多径传播现象,从而导致接收信号出现时延扩展、频域展宽等现象。不仅如此,室内物品搬动、人员走动频繁,容易对信号强度产生影响,使得系统的定位精度受到很大的影响。另外,信号强度具有时效性,不同的温度和湿度对其影响也较大。因此,如果将 A-GPS 应用于室内定位,效果并不理想。但是人们每日工作、学习、生活时间的 80% 都是在室内,随着社会的不断发展,大型商场、体育场馆、剧场、世博场馆等大型复杂建筑也不断地出现在城市里,室内定位技术的重要性日益增大,同时所面临的挑战也日益增大。而基于 Wi-Fi 技术的室内定位方法近年来得到了大量的研究与推广,室内利用 Wi-Fi 技术进行无线定位主要有以下几大优势:

① 架设成本低,不需要对客户终端设备进行改造,不需要添加 GPS 模块,易于

扩展,对于大众终端的定位业务的推广具有一定优势。

② 对于市区公共场所、商业圈等人口较集中的区域,Wi-Fi 热点的覆盖相对较密集,而在这些区域内人们的定位服务需求也更为紧迫。

同时近些年来各大城市的运营商都在积极拓宽 Wi-Fi 热点在城市的覆盖范围。如在广州亚运会期间,广州电信部门在广州市各重点公共场所、CBD 等区域共提供了近万个 Wi-Fi 热点。因此,综合以上几点,可以看出,利用 Wi-Fi 技术进行室内定位的研究,是十分有前景的。

## 1.2 国内外 Wi-Fi 定位技术

Wi-Fi 技术在 20 世纪 90 年代由澳洲政府的研究机构 CSIRO 发明并于 1996 年在美国成功申请了无线网技术专利。在 1999 年 IEEE 官方定义 802.11 标准的时候,IEEE 选择并认定了 CSIRO 发明的无线网技术是世界上最好的无线网技术,因此 CSIRO 的无线网技术标准,就成了现在 Wi-Fi 的核心技术标准。Wi-Fi 无线定位的研究开始于 20 世纪末,世界各地的高校和公司的研究人员进行了广泛的研究。如加州大学洛杉矶分校、匹兹堡大学和赫尔辛基大学等都进行了相关领域的技术研究,IBM、Intel 等公司的研究机构也进行了大量的研究。这些机构在相关研究的基础上,完成了一些精度较高的定位系统,例如,赫尔辛基大学研究的 Ekahau 系统,微软研发的 RADAR 定位系统和 RADAR-2 系统,马里兰大学提出的 Horus 系统,莱斯大学研究并提出的 Rice 系统,加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)研发的 Nibble 系统,北京邮电大学的 Wi-Fi 定位系统,北京航空航天大学提出的 Weyes 系统以及香港科技大学研发的定位系统等。下面对以上系统中比较重要的 RADAR 系统、Rice 系统、Ekahau 系统和 Horus 系统进行简单的介绍。

### (1) RADAR 系统和 RADAR-2 系统

RADAR 系统于 2000 年由微软公司的研究人员 Paramvir Bahl 和 Venkata N. Padmanabhan 提出,是典型的基于 RSSI 即接收信号强度值的定位系统,系统同时采用了指纹匹配法和基于信号传播模型两种方法来进行定位。

指纹匹配法的定位过程分为两个阶段,即离线阶段和在线阶段。离线阶段是指:在定位区域事先确定采集点,并在每个采集参考点(也称为指纹点)上采集不同方向不同 AP 的 RSSI 值,经过前端滤波后,建立一个 RadioMap,即信号强度分布图。在线阶段是指:在定位时用实时采集的 RSS 信号向量值与离线阶段采集的 RadioMap 中存储的所有指纹点的信号向量进行比对,通过最近距离邻居法(NNSS)来进行匹配,经过坐标计算后,得到用户的位置。基于信号传播模型的方法提出了一个信号强度与距离之间的对应模型,即将接收到的信号强度值代入模型中得到 AP 与用户之



间的距离从而进一步计算出用户位置。

从一系列的测试结果中发现,RADAR 系统中指纹匹配法的定位精度为 3 m 左右,而基于信号传播模型方法得到的定位精度为 4.3 m,由此可见,指纹匹配法的定位精度高于基于信号传播模型的方法,但是指纹匹配法在离线阶段建立信号强度分布图时的工作量十分大,而基于信号传播模型方法不需要进行大量的 RSSI 信号采集工作,因此在定位区域较大时有一定优势。

RADAR-2 系统是对 RADAR 系统中采用的 NNSS 算法进行改进,提出了 NNSS-AVG 算法来进行定位匹配,该算法首先通过实际接收到的信号与 RadioMap 里的指纹信号匹配计算得到一系列的表征了用户位置与离线阶段的各个采集点的距离,将这些距离值进行从小到大排序,对前  $N$  个距离最小的点的坐标进行平均,得到的坐标即作为用户的位置,改进后的 NNSS-AVG 算法具有更高的定位精度和更好的用户体验。

### (2) Rice 系统

美国的莱斯大学研究开发的 Rice 系统采用健壮性强高斯自适应传感器模型并减少了采集工作。系统将定位环境划分成许多小区域,然后采集每个区域的信号强度值,在线定位时利用这些已采集的值进行实时定位。经过试验,该系统的定位区域位置的精确度达到 95%。这个系统的采集时间量很小,但是,最终定位只能确定在某一个小区域内,定位精度不高。

### (3) Ekahau 系统

Ekahau 定位系统是芬兰赫尔辛基大学研发的。该系统同样是采用了指纹匹配法进行定位。由于没有应用基于传播模型的定位技术,因此并不需要知道接入点的具体位置。该系统的特色在于它在定位时考虑到了环境中的特定因素并根据这些因素对待定位设备进行跟踪。系统首先需要使用一个定位区域的室内环境的平面图,其中包含了室内环境中的遮挡体或障碍物等情况,然后根据平面图的情况,自动产生需要采集信号强度值的采集点,进而进行采集并得到 RadioMap,完成离线阶段的工作。在线定位阶段时它会根据实际中待定位设备移动的路径同 RadioMap 中的 RSSI 进行比对,并不断接收新的信号数据来更新 RadioMap,从而能够在实际定位时利用已记录的信号强度值进行定位。同时,跟踪功能根据实际环境中室内的布置,进行更准确的估计。该系统需根据现场环境来进行离线采集,工作量大,优点是能够在 1~2 s 内完成定位,定位精度较高。

### (4) Horus 系统

马里兰大学提出的 Horus 系统仍需根据 RSSI 信号值来建立 RadioMap,离线阶段同样需事先确定采集点,并在采集点上完成环境中 AP 信号的采集,但不同之处是 Horus 系统引入了概率模型,它通过采集的样本生成各个接入点的信号强度值在该参考点上的分布直方图,并对这些信号分布图的位置集进行分簇。Horus 系统提出