

无线传感与定位新技术

梁久祯 陈 璟 著



科学出版社

无线传感与定位新技术

梁久祯 陈 璟 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍最近几年在无线传感网络与定位方面的新技术, 主要内容包括: 无线传感网络组网中的汇聚节点选址优化方案, 基于 Wi-Fi 的移动终端定位与位置指纹数据库更新算法, 基于线性序列扩频定位新技术, 基于智能终端的记步测量与惯性导航技术, 最后给出无线定位系统的两个典型应用案例。

本书为室内无线定位研究提供了详细的关键技术和实现方案, 可作为研究生或高年级本科生无线定位课程的参考书, 或从事无线定位研究工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感与定位新技术/梁久祯, 陈璟著. —北京: 科学出版社, 2017.6

ISBN 978-7-03-052974-9

I. ①无… II. ①梁… ②陈… III. ①无线电通信—传感器—研究②无线电通信—通信网—定位系统—研究 IV. ①TP212②TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 118045 号

责任编辑: 任 静 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: 720×1 000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 297 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

物联网、云计算、大数据齐头并进成为当前最热门的三大 IT 技术，将实现对传统行业和互联网行业颠覆性的改造和提升，并带来巨大的经济效益。而无线传感器网络是物联网最接近物理世界的一端，作为后起之秀对物联网技术的迅速崛起起到了关键性的作用。物联网概念一提出，全国就涌现出了大批的物联网技术创新型企业，面向智能家居、车联网、智能交通和智慧城市等新兴的领域。

全球定位系统作为一种室外定位技术，已经在车辆导航、物流配送、灾害应急、军事打击等领域得到了广泛的应用。但是在室内情况下，由于受建筑物遮挡的影响，全球定位系统的定位精度会大大下降，甚至于无法进行室内定位。因此需采用其他更加合理的技术方案实现室内定位。目前，在室内定位这个领域已存在多种定位方案，有基于声音、无线电、光波，以及基于惯性系统等技术方案。另外，自从 2007 年第一部 iPhone 移动设备发售，2008 年第一部 Android 移动设备发售，2010 年第一部 iPad 平板电脑发售，短短的几年，智能移动设备迅速在人们的生活中扮演了一个不可或缺的角色。社交网络、移动微博、网络游戏这些传统互联网业务也迅速向移动设备迁移。由于移动设备天生的移动特性，人们越来越希望可以通过移动设备获取自身的位置，感知他人的位置。

然而，受建设成本、复杂室内环境、算法鲁棒性不强等因素的影响，目前尚未有比较完善的定位技术方案。各种定位方案都有着或多或少的缺陷，实现面向复杂室内环境的、健壮的、较高精度的无线定位目前仍然是一个研究热点及难点。

在这样的背景下，课题组经过 5 年的努力，围绕无线定位开展研究工作，积累了大量的参考资料和研究成果。经过认真筛选，抓住当前该领域的研究热点问题，撰写了《无线传感与定位新技术》这部书。本书的内容安排如下：第 1 章绪论、第 2 章无线传感网络与定位技术、第 3 章无线传感网络节点选址技术，由梁久祯负责；第 4 章 Wi-Fi 定位技术、第 6 章 CSS 定位技术、第 7 章无线定位技术应用，由陈璟负责；第 5 章航位推算与室内定位技术，由朱向军负责；李军飞、王革超、张熠等参与了部分内容的写作工作。全书统稿由梁久祯负责，审稿由陈璟负责。

本书的出版得到国家自然科学基金（61170121）、江苏省自然科学基金（BK20150159）、常州大学信息科学与工程学院的支持，在此一并表示感谢。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 室内无线定位技术概述	3
1.2.1 无线定位技术	4
1.2.2 Wi-Fi 定位技术	5
1.2.3 声波定位技术	5
1.2.4 其他定位技术	6
1.3 室内无线定位技术研究现状	6
1.3.1 室内无线定位技术研究现状	6
1.3.2 室内无线定位技术标准化现状	7
1.3.3 基于 CSS 的宽带无线定位技术研究	8
1.4 本书的章节安排	9
参考文献	9
第 2 章 无线传感网络与定位技术	15
2.1 无线传感器网络中的 ZigBee 技术	16
2.1.1 起源	17
2.1.2 技术简介	18
2.1.3 自组织网通信	19
2.1.4 ZigBee 产品	20
2.1.5 ZigBee 网络	23
2.2 ZigBee 协议	27
2.2.1 物理层与媒体访问控制层	28
2.2.2 网络层协议及组网方式	29
2.2.3 应用层	32
2.3 无线定位基本方法	35
2.3.1 三边测量法	35
2.3.2 三角测量法	36
2.3.3 双曲线定位法	36

2.3.4	抵达角度定位方法	37
2.3.5	最小二乘法	38
2.3.6	极大似然估计法	39
2.4	基于测距的定位算法	40
2.4.1	TOA 定位算法	40
2.4.2	TDOA 定位算法	41
2.4.3	RSSI 定位算法	41
2.5	基于非测距的定位算法	42
2.5.1	质心定位算法	42
2.5.2	DV-Hop 算法	43
2.5.3	APIT 算法	45
2.5.4	凸规划定位算法	47
2.5.5	位置指纹法	47
2.6	基于 ZigBee 的 TLM 定位算法实例	48
2.6.1	定位算法	48
2.6.2	TLM 定位算法设计	49
2.6.3	算法仿真及结果	50
2.7	本章小结	54
	参考文献	54
第 3 章	无线传感网络节点选址技术	56
3.1	概述	56
3.2	静态节点部署	57
3.2.1	部署方法	58
3.2.2	部署主要目标	61
3.2.3	基于角色的部署策略	66
3.3	动态节点部署	67
3.3.1	动态重部署概述	67
3.3.2	动态重部署问题	68
3.3.3	汇聚节点重定位方案	70
3.4	移动网络汇聚节点动态选择模型	75
3.4.1	移动传感网概述	75
3.4.2	SCSN 选址模型	76
3.4.3	结构意识自适应算法	78
3.4.4	SCSN 低复杂度边界设计	80

3.4.5 Steiner 移动应用高稳定低偏心性	82
3.4.6 模型性能测试	86
3.5 本章小结	88
参考文献	88
第 4 章 Wi-Fi 定位技术	92
4.1 Wi-Fi 基础	92
4.1.1 IEEE 802.11 系列标准概述	92
4.1.2 Wi-Fi 网络成员与结构	94
4.1.3 Wi-Fi 信道	96
4.1.4 Wi-Fi MAC 帧格式	98
4.1.5 Wi-Fi 扫描	100
4.2 位置指纹法	103
4.2.1 概述	103
4.2.2 位置指纹数据库	104
4.2.3 搜索空间缩减技术	107
4.2.4 位置估算方法	110
4.3 轨迹优化	118
4.3.1 状态空间模型	118
4.3.2 贝叶斯递推估计原理	118
4.3.3 卡尔曼滤波及其改进	119
4.4 Loc 定位研究工具集	123
4.4.1 工具集概述	123
4.4.2 Loclib	124
4.4.3 Loctrace	127
4.4.4 Loceva	128
4.4.5 Locana	130
4.5 本章小结	132
参考文献	132
第 5 章 航位推算与室内定位技术	134
5.1 惯性测量单元	134
5.1.1 MEMS 的应用与发展	134
5.1.2 MEMS 的分类与功能	134
5.1.3 坐标系定义与变换	137
5.2 计步算法与步长估计	138

5.2.1	人体运动步态模型	138
5.2.2	数据预处理方法	139
5.2.3	计步算法	143
5.2.4	步长估计方法	148
5.3	姿态解算与方向测量方法	151
5.3.1	基于加速度计和磁场传感器的方向估计测量方法	151
5.3.2	基于陀螺仪的方向测量方法	153
5.3.3	基于 PCA 的方向测量方法	154
5.3.4	多传感器数据融合方法	158
5.4	基于航位推算的室内定位方法及其扩展	163
5.4.1	个人航位推算原理	163
5.4.2	粒子滤波与航位推算	163
5.4.3	Landmark 矫正技术	168
5.4.4	Wi-Fi 位置指纹辅助定位	170
5.5	室内定位系统仿真与分析	171
5.5.1	仿真环境与参数设置	171
5.5.2	航位推算与粒子滤波	173
5.5.3	计步与方向误差容忍	175
5.5.4	粒子滤波参数分析	176
5.5.5	环境参数分析	177
5.6	本章小结	178
	参考文献	178
第 6 章	CSS 定位技术	182
6.1	基于 CSS 的无线网络技术简介	182
6.1.1	Chirp 信号与脉冲压缩理论	182
6.1.2	MDMA 调制技术	186
6.1.3	CSS 的发展及技术特点	188
6.1.4	CSS 无线定位技术与其他技术方案的比较	192
6.1.5	基于 CSS 的无线测距方法	196
6.2	非视距传播问题	198
6.2.1	非视距识别	200
6.2.2	非视距误差抑制	204
6.3	本章小结	206
	参考文献	206

第 7 章 无线定位技术应用	208
7.1 煤矿井下定位系统	209
7.1.1 ZigBee 技术优势	209
7.1.2 煤矿井下定位系统设计	210
7.1.3 ZigBee 网络架构与实现	211
7.1.4 小结	213
7.2 基于 Wi-Fi 的商场定位系统	213
7.2.1 Wi-Fi 定位研究现状	214
7.2.2 商场定位系统概要	216
7.2.3 总体设计需求	217
7.2.4 具体实施	218
7.2.5 小结	220
7.3 老人关爱室内定位系统	220
7.3.1 项目背景	220
7.3.2 航位推算系统	221
7.3.3 系统设计	221
7.3.4 意义与改进	224
7.4 基于 Ubisense 平台的仓储物流系统	224
7.4.1 UWB 技术优势	225
7.4.2 系统部署	225
7.4.3 叉车与货盘定位	226
7.4.4 系统结构	227
7.4.5 实现功能	228
7.4.6 技术优势	228
7.5 定位方案	229
7.5.1 其他室内定位方案	229
7.5.2 新兴的室内定位方案	231
7.5.3 室内定位方案比较	234
7.6 本章小结	235
参考文献	236

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

半导体无线通信芯片技术、微电子技术、微传感器生产技术、低功耗嵌入式技术的发展，促成了物联网技术的迅速崛起^[1]。携带手机通信工具的人们可以随时随地访问互联网获取网络服务来满足自身的需求。物联网正以“无处不在的网络，无所不能的业务”的万物相连模式将物融入到人们的生活，并悄然改变着物与人的沟通方式。随着万物相连的信息时代的到来，位置信息在导航、安全消防以及医疗安保等多个领域中扮演越来越重要的角色。在城市的安防中，不仅需要知道城市中某个地区安防系统发出了警报，还必须获取到火灾发生的所在街道和楼层具体位置，这样才能指导消防工作人员迅速赶赴指定地点灭火。可见物联网技术服务中一个非常关键的信息是位置服务相关。在未来，无线定位技术将是支撑物联网解决实际问题应用的关键，缺乏具体位置信息的数据对实际应用是无效和不可用的^[2]。

近年来，移动互联网的迅速崛起，3G/4G 数据流量服务的提升和手机设备的先进化，使得基于位置的服务（Location-based Services, LBS）成为商业服务推广的关键技术^[3]。LBS 是指用户通过携带移动手机或其他电子设备的定位装置，通过 GPS、GPRS、3G/4G、Wi-Fi 等技术获得自身所在地区的具体位置。近几年随着移动互联网的普及，涌现了一大批手机移动服务 App 软件。用户打开服务软件，根据自身位置信息得到一些个性化网络服务或精确的搜索，如海淘、饿了么、美团等软件能够获取用户周边的活动商家的打折、免费领取优惠券等促销活动等信息，帮助客户寻找附近的影院、酒店、加油站、超市等位置。微信、米聊、陌陌等社交软件可以帮助用户寻找附近兴趣相投的人沟通认识、寻找共同话题、参加游戏节目等促进友谊。百度地图、高德地图、Google 地图等定位软件提供的导航服务能精确地获取用户实时的位置和帮助用户寻找最短到达指定目的地路线。滴滴、快的、拼车、叮叮打车等主流的打车软件不仅可以帮助客户呼叫附近的空车，还能够使路线上同路的人完成拼车的服务。在医院，携带 RFID 标签可以帮助医护人员照看好婴儿，避免认错亲子；照看老年人和精神病患者，跟踪和监控他们的区域活动而避免走失。在未来，位置服务将会涵盖人们的资产管理、急救服务、道路辅助导航、车辆调度等生活的方方面面。

定位是指通过测量某些所需参数来确定目标在某一参考坐标系中的位置^[4]。根

据定位系统的作用范围和获得位置的方式不同，定位系统大致可分为全球定位系统与本地定位系统，如图 1-1 所示。

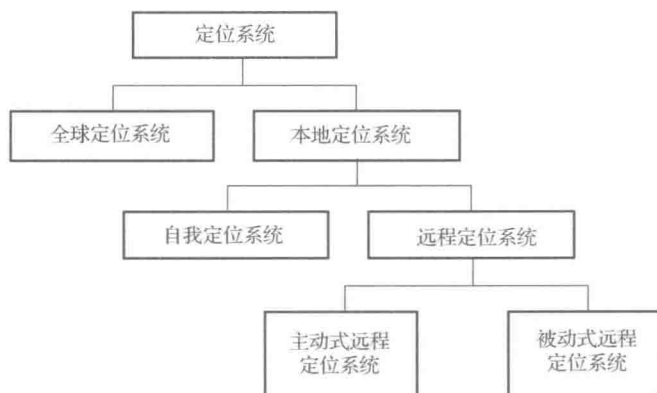


图 1-1 无线定位系统分类

全球定位系统（Global Positioning System, GPS）允许每个移动终端获取自己的全球位置，该系统较为成熟，应用也极为广泛，能够方便快捷地提供高精度的连续位置、速度、航向、姿态和时间信息。而本地定位系统（Local Positioning System, LPS）是相对定位系统，并可以分为自我定位系统和远程定位系统两种。自我定位系统允许人或物通过给定静态节点的位置来获得自己的位置信息，如惯性导航系统（Inertial Navigation System, INS）。远程定位系统允许每个节点获得在覆盖区域内与其他节点之间的相对位置，这里节点可以是静态的也可以是动态的。比较常见的有主动式远程定位系统，如远程定位系统有射频识别系统（Radio Frequency Identification, RFID）、本地无线定位系统（Wireless Local Positioning System, WLPS）^[5]、交通警报与防撞系统等，以及被动式远程定位系统，如雷达跟踪与视觉系统等。

根据采用的定位方法和定位参数测量手段，定位技术可分为三类，即航位推算（Dead Reckoning, DR）定位、接近式（proximity）定位，以及无线定位（radio location）^[4]。其中，航位推算定位是基于一个锚节点或者起始点，借助地图匹配、传感器、数据融合等技术确定目标节点在坐标系中的位置；接近式定位又称为信标定位，通过最近的固定锚节点来确定目标节点在坐标系中的位置；无线电定位是利用接受的无线电信号的电参量来获取所需的定位参数，并采用相应的定位算法来计算出目标节点在坐标系中的位置^[4]。

目前，在室外环境中，GPS、GLONASS、伽利略、北斗等卫星导航系统，可以满足绝大部分的军事和民用定位需求。但是，当需要在建筑物内部进行定位的时候，卫星定位系统的定位精度严重下降，难以满足实际应用需求。另外，随着无线网络通信技术、信息处理技术的快速发展以及电子电路、无线射频等硬件技术的长足进

步, 基于室内定位信息的服务与应用的需求日益增加。此外, 节点定位问题是无线传感网络中的关键基础技术之一, 也是无线传感网络中拓扑控制、基于位置的路由等其他基础技术实现的前提。

然而, 受建设成本、复杂室内环境、算法鲁棒性不强等因素的影响, 目前尚未有比较完善的室内定位技术方案。实现面向复杂室内环境的、健壮的、较高精度的无线定位目前仍然是一个研究热点及难点。

LBS 是建立在对移动物体位置的准确定位基础之上的, 因此, LBS 研究中的一个最基础、最关键的问题是如何高效、低成本、准确地获取用户的位置信息。LBS 运营商只有准确地获取移动用户的位置信息, 才能为用户提供一系列方便快捷的服务。在室外环境中 GPS 得到了广泛、成熟的应用, 为室外环境实现 LBS 提供了很好的技术支持。然而, 由于 GPS 是通过卫星接收信号, 在高楼大厦聚集的地方, 信号不能穿透, 在室内环境中信号更加微弱, 根本无法使用。

为此, 在室内定位领域出现了多种定位技术。如短距离无线平台上有 Wi-Fi、ZigBee、UWB、CSS、RFID、红外定位^[6]、光信号定位^[7]、SLAM (simultaneous localization and mapping) 技术^[8]。然而, 很多技术的实现都需要特定设备来完成, 增加了使用成本, 也不利于扩展。所以, 开发一种经济适用、设备兼容性强的室内定位技术是十分有必要的。

近几年来, 智能移动设备 (智能手机、平板电脑、智能手表等) 得到快速的发展, 现有的智能设备不仅在计算、存储和处理能力等性能方面得到了很大提升, 而且嵌入了大量微型传感器。比如, Wi-Fi 信号传感器、声音信号传感器、加速度传感器、磁场传感器以及陀螺仪等一系列传感器都已经成为智能移动设备的标配。这给以往多种定位方案提供了强大的平台支持。而智能移动设备的普及也为在室内环境中实现一个经济且用户友好的定位系统提供了一个新的机遇。

1.2 室内无线定位技术概述

到目前为止, 依赖单一技术并不能得到一个全局最佳的解决方案, 例如, 基于卫星的定位系统只能在室外达到比较准确的定位。现有的室内定位技术需要专用的本地设施 (如 RFID 阅读器、ZigBee 锚节点) 和特定的移动设备 (如高精度惯性测量单元), 建设成本较高。而且, 必须对每一个应用进行单独的需求分析才能提供一个较好的解决方案。所以, 分析各种不同的室内定位技术, 评估其性能参数, 并将不同技术与精确描述的用户需求相匹配是非常重要的。室内定位性能参数有很多, 如精确度、覆盖度、完整性、可行性、更新率、延迟、花费、基础设施、隐私和健壮性等^[9]。不同技术之间的性能参数差异也是很大的, 这种情况导致选择与特定应用相匹配的定位技术是一个复杂的过程。在更高的级别上来看, 所有的室内定位技

术按照物理特性不同分为三类：电磁波（可见光、红外线、微波）技术，机械波（声波）技术以及惯性导航（加速度计、电子罗盘、陀螺仪）技术。

1.2.1 无线定位技术

无线定位，通常是指利用无线电信号确定出移动设备在某一参考坐标系中的位置。无线定位主要有室内无线定位和室外无线定位。根据使用网络技术的不同，室内无线定位主要有 RFID、ZigBee、UWB、CSS、Wi-Fi 等定位技术。本节后续内容会简略介绍各种无线定位技术。

射频识别定位技术^[10,11]：RFID 指的是通过电磁波向射频兼容设备获取与存取数据的技术。一个 RFID 系统通常由 RFID 阅读器、RFID 标签以及它们之间的通信所组成。RFID 阅读器可以阅读 RFID 标签发送出来的数据。RFID 定位系统中比较出名的有 SpotON^[10]系统，以及 LANDMARC^[11]系统。SpotON 系统是使用信号强度分析的方法实现 RFID 的定位，而 LANDMARC 系统则引入了参考标签的方法来实现 RFID 的定位。

ZigBee 定位技术^[12]：ZigBee 是根据 IEEE 802.15.4 协议（无线个人局域网）开发的一种短距离、低功耗的无线通信技术，适合用于自动控制和远程控制领域。其定位技术主要分为两种：基于测距的定位技术和基于非测距的定位技术。基于测距的定位能够实现精确定位，但是对于无线传感器节点的硬件要求很高，因而会使得硬件的成本增加、能耗高。基于非测距的定位技术，无需测量节点间的距离或方位，降低了对节点硬件的要求，但定位的误差也相应有所增加。基于非测距的定位方法主要有两类：一类方法是先对未知节点和信标节点之间的距离进行估计，然后利用三边测量法或极大似然估计法进行定位；另一类方法是通过邻居节点和信标节点确定包含未知节点的区域，然后把这个区域的质心作为未知节点的坐标。基于非测距的定位方法精度低，但能满足大多数应用的要求，主要有质心定位算法、DV-Hop 算法^[13]、凸规划定位算法、三角形内点测试（Approximate Point-in-triangulation Test, APIT）算法^[14]等。

超宽带定位技术^[15]：超宽带（Ultra-wideband, UWB）的基础是以非常小的占空比（通常是 1:1000）发送超短时间（通常小于 1ns）脉冲。相比于其他射频技术，UWB 可以在多个频带（从 3.1~10.6GHz）上同时发送一个信号，而且它的发射功率非常低，抗干扰能力也非常强。而且由于 UWB 的超短时间脉冲非常容易被检测出来，所以可以很容易地区分 UWB 信号传播的主路径和其他多径。由于可以很容易通过短时脉冲的检测来获取信号的到达时间，所以基于 UWB 的定位系统通常会使用到达时间或者到达时间差的方法来实现精准定位。

CSS 定位技术^[16]：CSS 技术是 Chirp Spread Spectrum 的简称，即线性调频扩频技术。Chirp 信号长期以来被广泛应用于雷达领域，可以很好地解决冲击雷达系统

测距长度和测距精度不可同时优化的矛盾。冲击雷达采用冲激脉冲作为检测信号,要增加测量距离,则必须牺牲测量精度;要增加测量精度,则必须牺牲测量距离。而脉冲压缩技术使用具有线性调频特性的 Chirp 信号代替冲激脉冲,可以同时增加测量距离和测量精度。CSS 定位技术与 UWB 定位技术相仿,通常也都是使用到达时间、到达时间差来实现精准定位。

1.2.2 Wi-Fi 定位技术

相对于其他几种无线定位技术,Wi-Fi 定位技术由于大量智能移动设备中已配备的 Wi-Fi 信号收发模块而更具优势。而且近几年各大运营商以及用户自身应无线上网的需求而大量部署起来的 Wi-Fi 网络基础设施也从另一方面大大降低了 Wi-Fi 定位基础设施的建设费用,从而降低了 Wi-Fi 定位的成本。

Wi-Fi 定位的发展历程大约有 10 多年的时间。较早研究 WLAN 定位比较出名的有微软在 2000 年发布的 RADAR^[17,18]系统,它提出了位置指纹法,并且使用了最近邻算法、 K 近邻算法来进行位置指纹搜索,并且使用连续追踪的 Viterbi-like 算法来提高该方法的定位精准度。之后又有一些大学和研究所跟进研究,2001 年左右加州大学洛杉矶分校的 Nibble^[19]系统使用了基于贝叶斯网络的概率模型。2002 年,Ladd 等^[20]提出了直方图方法,Roos 等^[21]又提出了基于网格的贝叶斯定位感知系统。2004 年,莱斯大学的 Haeberlen 等^[22]使用了高斯方法。2005 年,PlaceLab 系统^[23]提出了 K 近邻 p 未知以及排名方法,马里兰大学的 Horus^[24]系统则在概率模型的基础上又添加了聚簇技术、小范围变动补偿技术、质心算法、时间平均算法来提高定位精度。

2007 年,Liu 等^[9]对室内无线定位系统与技术做了一次全面的总结,其中也包含了大量 Wi-Fi 定位技术与方法的总结;而德国曼海姆大学的 King 等^[25]则总结了前人的研究方法,并且书写了一套 Wi-Fi 定位研究工具集,供研究者使用。

虽然有许多的研究者对 Wi-Fi 定位提出了多种算法来提升 Wi-Fi 定位的精准度,然而由于室内无线环境的复杂性,大部分算法在位置指纹法的基础之上研究更精准的指纹搜索方案。这些方案通常需要先定位环境进行测量建立指纹数据库,建立过程通常需要消耗大量的人力物力。后续的研究则集中在位置指纹数据库的自动构建^[26-28],以及深入物理层进行更精准定位模型的建立^[29,30]。

1.2.3 声波定位技术

相对于电磁波来说,声音的传播速度较慢,所以在定位问题中就更容易计算发送者和接收者之间声音传播所使用的时间,从而能更精确地计算两点之间的距离。

Harter 等的 Active Bat 系统^[31],以及 Priyantha 等的 Cricket 系统^[32]都使用一个快速的电磁波信号来事先同步发送者和接收者,然后测量声波从发送者到接收者的传播时间,利用电磁波和声波的传播时间差来计算发送者和接收者的距离。这两个

系统都是事先在天花板上装好声波的发射设备,然后用特制的声波接收硬件作为接收客户端来进行定位。

Peng 等的 Beep-Beep^[33]则是设计了一种可以免除设备之间时间同步的方法,并且在两个移动设备上完成了基于声音的测距工作。针对高速、本地化,移动设备对移动设备这样的应用场景,Zhang 等又利用移动设备上的声音传感器开发了 SwordFight 系统^[34]。

此外,Liu 等^[35]还提出了使用声音测距技术来约束设备之间的位置关系,从而消除 Wi-Fi 定位中存在的大误差问题。Nandakumar 等^[36]提出的 Centaur 定位系统框架,则是使用声音测距和 Wi-Fi 定位进行贝叶斯推断,设计算法使得声音测距在非视距情况下更具鲁棒性,并且使得仅仅只能发声的设备也能参与声波定位。

1.2.4 其他定位技术

除了使用无线电波和声波进行室内定位,还存在着使用红外线、机器视觉以及机器人等方法进行室内定位。而目前,基于智能移动设备配备的大量惯性系统传感器来进行室内定位的方法也逐渐受到研究者的青睐。按照计算运动距离的方法,惯性定位技术可以分为两类:惯性导航系统^[37]和航位推算技术。惯性导航系统主要通过惯性传感器的加速度或者速度的积分来计算运动距离,因此对传感器精度和环境噪声要求比较高,主要用于车载、飞机、武器等导航领域;基于运动模型的航位推算技术采用运动模型对目标进行计步和步长估计来间接获得移动距离,同时计算目标的运动方向,通过历史位置和当前运动距离、运动方向来计算下一个位置点。基于运动模型的航位推算技术不仅在建设成本和维护成本具有很大的优势,而且避免了惯性导航系统中积分漂移引起的误差,具有很高的可靠性、方便性,逐渐成为个人定位导航技术的研究热点和发展趋势。

1.3 室内无线定位技术研究现状

1.3.1 室内无线定位技术研究现状

随着无线通信技术与相关的信息处理技术、硬件技术的快速发展,新兴的无线通信手段不断出现,如近场通信(Near Field Communication, NFC)、ZigBee、UWB、3G/LTE、WiMax 等,越来越多的设备具有无线通信功能,室内无线定位技术不再局限于传统的红外、超声波等,而更多地依靠无线电的参数测量来进行室内定位。

总体来讲,对应于不同的无线通信手段,无线定位技术可大致分为非测距定位技术和基于测距的定位技术两大类。非测距定位方法主要有质心定位算法^[38]、利用多跳通信节点间跳数信息估算的 DV-HOP 算法^[39]、APIT 法^[40]等,这些方法主要应

用于大范围的无线传感网中,可满足对静态节点的较低精度定位要求;基于测距的定位主要有 TOA 估计定位、TDOA 估计定位、AOA 估计定位和基于 RSSI 的定位等方法。室内定位由于距离尺度小、精度要求高,通常采用基于测距或指纹匹配的定位方法,如 Radar 定位系统^[17]、MoteTrack 定位系统^[41]、Horus 定位系统^[42]等采用 RSSI 构建指纹数据库,利用模式匹配的方法进行室内定位, TI 公司的 CC2431 定位引擎基于 RSSI 与传播模型进行三边定位^[43],基于 CSS 与 UWB 等无线技术则通常采用 TOA 或 TDOA 测量进行定位,另外配置天线阵列的情况下,可以结合 AOA 估计进行室内无线定位。

1.3.2 室内无线定位技术标准化现状

室内无线定位技术标准化主要指两方面,一是可用于进行室内无线定位的无线通信技术本身,二是定位技术与定位系统的标准化。

无线技术的标准制定的一个主要组织便是美国电气电子工程师协会(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE),可用于进行室内无线定位的标准主要为 802.11 标准簇与 802.15 标准簇,分别对应无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)与无线个域网(Wireless Personal Area Network, WPAN)。IEEE 主要负责为无线网络的物理层与媒体访问控制层制定标准,上层主要由各技术联盟制定和维护相应标准,具体如图 1-2 所示。

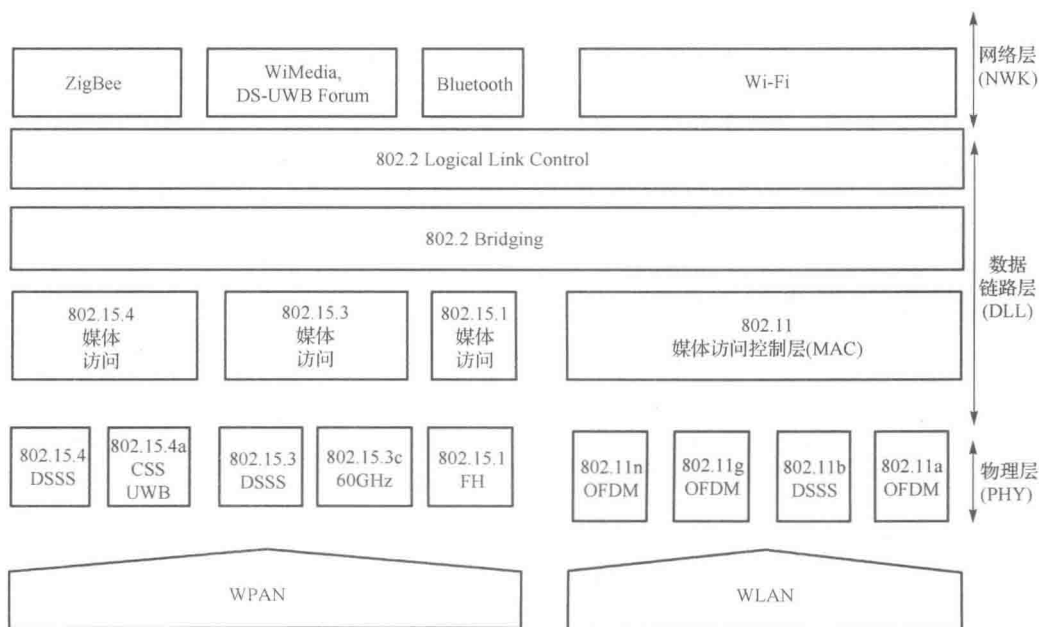


图 1-2 无线个域网与无线局域网标准

ISO 组织制定了关于实时定位系统的标准 ISO/IEC 24730。ISO/IEC 24730 第 1 部分为应用程序接口, 基于 ANSI371.3 标准制定; 第 2 部分为 2.4GHz 空中接口, 基于 ANSI371.1 标准制定, 该部分包含 Savi Technology 公司的 4 项专利和 WhereNet 公司的 5 项专利; 第 2 (B) 部分为 2.4G 宽带 CSS 定位系统, 第 3 部分为 433MHz 空中接口, 基于 ANSI371.2 标准制定; 第 4 部分为全球定位系统; 第 5 部分为 UWB 定位系统。

1.3.3 基于 CSS 的宽带无线定位技术研究

具体到基于 CSS 的宽带定位技术, 由于该定位技术是基于 TOA 估计进行测距, 进而完成定位, 因此 TOA 估计问题是一个重要的研究的方向。在 TOA 估计方面已有大量的工作, 从最初的两路信号互相关法到使用三阶统计量的双谱时延估计方法^[44], 以及应用四阶累积量和互四阶累积量的估计方法^[45]。超分辨算法^[46]的提出以及在此基础上改进, 如矩阵束 (matrix pencil) 方法^[47]、基于无线传播信道估计的改进超分辨算法^[48]、结合最小均方误差与矩阵束的方法^[49,50]等都有效地提高了 TOA 估计的精度。基于 IEEE 802.15.4a CSS 的四个 Chirp 子信号间的关系而设计的匹配滤波器^[51]降低了用于 TOA 的硬件复杂度; 基于 Chirp 信号子空间的载波频偏抑制方法^[52]结合采样频偏抑制方法可以有效提高基于 CSS 无线网络节点的 TOA 估计精度。

基于 CSS 的宽带无线定位技术已得到一定程度的认同, 在室内定位领域也有较好的发展前景, 也得到了越来越多的关注, 但由于其真正提出应用于室内定位的时间较晚, 目前已有的单独针对基于 CSS 的宽带定位技术进行的研究并不多, 偶见有研究成果分散于测距报告算法、测距滤波算法、定位算法、MAC 控制协议、数据包检测等方面。例如, Ullah 等^[53]分析了 IEEE 802.15.4a CSS 物理层的理论吞吐量与延迟边界, 并测试了其带宽效率, 并将结果与 IEEE 802.15.4 标准进行了比较, 为 CSS 物理层的应用研究打下了基础; Yoon 等^[54]通过实验分析了基于 CSS 技术的测距特性, 并统计了测距误差与自动增益控制 (Automatic Gain Control, AGC) 值、数据包传输成功率、测距成功率等几个指标的关系, 为进一步提高基于 CSS 的测距精度的研究工作打下了基础; 王沁等^[55]为减少因时钟频偏导致的测距误差提出了基于时钟频率比的测距算法; Lee 等^[56]基于卡尔曼滤波器, 设计了基于 CSS 技术的多小区定位系统; Wang 等^[57]基于最大似然估计提出了用于抑制非视距 (Non Line of Sight, NLOS) 误差的定位算法; Hur 等^[58]通过设计的射频电路来消除时钟偏差影响, 从而提高基于 CSS 技术的测距精度; Cho 等^[59,60]通过设计新的 MAC 控制方法解决了基于 CSS 的测距过程中需要反复争用信道的问题; Jang 等^[61]提出了一种新的 Chirp 数据包检测方法, 以提高 CSS 通信的信噪比和稳定性。

这些工作的出发点基本都是为了提高基于 CSS 无线测距精度和测距的鲁棒性, 然而通过消除节点时钟频偏来抑制采样频, 通过信号子空间方法抑制偏载波频偏以