

张明高院士
作序

超宽带室内定位系统 应用技术

赵红梅 | 著

APPLICATION TECHNOLOGY
OF ULTRA WIDEBAND
INDOOR POSITIONING
SYSTEM

超宽带室内定位系统应用技术

赵红梅 著



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要讲述基于脉冲超宽带无线通信技术的室内定位系统中的几大关键技术,包括有源标签设计、小型化超宽带天线设计、滤波器设计、室内电波传播建模及预测、室内定位系统基站设计分析、基于TDOA方法的高精度定位算法研究、移动目标跟踪定位算法研究等。本书基本涵盖了超宽带室内定位系统的整个系统设计内容,包括理论研究、硬件设计及软件设计等。

本书主要章节是基于脉冲超宽带技术的室内定位系统各个组成部分一层层展开,具有较强的工程背景,可读性强。本书可被工科电子信息类以及仪器科学类高年级本科生及研究生作为无线定位技术研究的教材使用,也可作为室内定位技术、电波传播、超宽带无线通信技术科研人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

超宽带室内定位系统应用技术 / 赵红梅著. —北京:电子工业出版社, 2017.9
ISBN 978-7-121-32542-7

I. ①超… II. ①赵… III. ①超宽带技术—应用—无线电定位 IV. ①TN95

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第209177号

策划编辑:米俊萍

责任编辑:董亚峰

特约编辑:刘广钦 刘红涛

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:412千字

版 次:2017年9月第1版

印 次:2017年9月第1次印刷

定 价:56.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:mijp@phei.com.cn。

导航定位关乎国家安全，是全球大国竞争的核心利益。对于室外环境，全球导航卫星系统诸如美国的全球定位服务，基本满足了用户在室外场景中对基于位置服务的需求。然而，个人用户、服务机器人、扫地机器人等有大量定位需求发生在室内场景。而室内场景受到建筑物遮挡，卫星导航信号快速衰减，甚至完全拒止，无法满足室内场景中导航定位的需要。室内外高精度位置服务技术是继互联网、移动通信之后发展最快的新一代信息技术，已成为国际科技经济竞争的制高点。

相对室外导航定位，室内定位技术起步较晚，为实现精确定位与服务，美国国防部高级研究计划局于 2013 年制订“洞悉战场”计划，提出建设更精确锁定位置的打击系统；2013 年美国联邦通信委员会提出“下一代 911 项目”，要求实现精度在 60 米以内的位置服务；德国电信于 2011 年将高精度位置服务定位为未来移动通信服务的核心；日本于 2009 年颁布了《紧急呼叫法案》，要求室内位置服务精度达到 10 米以内。我国在《国家卫星导航产业中长期发展规划》和《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》任务中明确提出要加快室内位置服务建设。目前在各行业应用需求的推动下，室内定位技术得到了快速发展，近几年来成为工业界和学术界研究的热点。

随着室内定位技术的发展，各类室内定位技术百花齐放，包括基于 WiFi 的定位、蓝牙定位、小基站定位、LED 可见光定位、超宽带定位、RFID、惯性导航、地磁定位、伪卫星等多种室内定位技术。而在这些定位技术中，超宽带室内定位技术是一种优势全面的专业级定位技术，具有定位精度高（1~15cm）、抗干扰能力强、分辨率高、功耗低等优点。本书内容来源于作者多年的研究成果，内容丰富，有独特的观点和创新点，对基于脉冲超宽带技术超宽带定位系统各个组成部分设计方案和关键部件及算法进行了详细的介绍，包括超宽带室内定位系统的构成、新型有源标签的设计、多种结构的小型化天线设计、滤波器设计、超宽带信号室内及室内一室外电波传播特性预测及信道建模、定位基站设计和高精度定位算法设计等。本书是一本详细阐述超宽带室内定位技术的书籍，在目前室内定位技术蓬勃发展和市场需求日益增长的大形势下，可供国内研究超宽带定位的有关人员和企业参考，以推动室内定位技术的市场化。

张明高
中国工程院院士

根据诺基亚、谷歌等提供的数据,人们的日常生活中超过 80%的时间都发生在室内,室内位置服务是真正实现万物互联的基础,室内定位技术已经成为解决定位导航最后 100 米的关键手段。《中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》认为,面向大众和面向行业应用的室内定位导航成为刚需,于此同时,大型城市综合体越来越多,大型医院、大型停车场、大型办公楼、大型商场等建筑物室内空间也更加复杂,传统的指示牌已经无法满足人们找寻目的地的需求。室内定位精度高,能够实现跨楼层指引,可以极大提升便利性精准室内定位技术,可为智慧大楼、智慧停车场、智慧工厂、智慧医院、大型会展等行业领域提供诸多室内定位解决方案,当前市场对室内定位的需求越来越多,所以衍生出各种各样的定位技术。

超宽带技术是近年来新兴的一项全新的、与传统通信技术有极大差异的通信无线新技术。它不需要使用传统通信体制中的载波,而是通过发送和接收具有纳秒或纳秒级以下的极窄脉冲来传输数据,从而具有 3.1~10.6GHz 量级的带宽。目前,包括美国、日本、加拿大等在内的国家都在研究这项技术,其在无线室内定位领域具有较强的应用前景。

超宽带室内定位技术是一种基于脉冲超宽带技术的无载波无线通信技术,具有传输速率高、发射功率较低、穿透能力较强、定位精度高等优点,使它在室内定位领域独占鳌头。超宽带室内定位技术常采用 TDOA 测距定位算法,通过信号到达的时间差,利用双曲线交叉实现定位。定位过程中由 UWB 接收器接收标签发射的 UWB 信号,通过过滤电磁波传输过程中夹杂的各种噪声干扰,得到有效信息的信号,再通过中央处理单元进行定位算法分析,解析出位置信息。

基于智慧城市、物联网、移动互联网等相关行业的需求,位置服务也已成为我国经济转型升级的迫切需求。位置服务和移动互联网技术是一种业务支撑的关系,无论是信息消费还是战略信息产业,在国民经济中都是新增长点。由于室内不仅是人们的生活场所,还是工作场所,而且人们大部分时间生活在室内,室内位置服务的发展至关重要。导航与位置服务攸关国家安全、经济发展和社会民生,在新一代信息技术这一战略性新兴产业中,具有举足轻重和不可或缺的地位。

本书的研究内容主要包括:提出了基于双非门结构的新型超宽带窄脉冲信号发生器设计,避免了传统的基于数字逻辑的方法对器件自身的依赖性,改善了脉冲性能;利用小型化、宽带化微带天线设计方法,提出了多种新型结构的小型化超宽带天线及带阻天线设计方法;采用微带线和多指谐振腔设计方法,提出了新型结构的超宽带滤波器设计方法;利用频域测量手段和射线追踪方法,研究了超宽带信号的电波传播特性,揭示了超宽带信号

室内—室外传播的电波传播规律，给出了解析数学模型；分析给出了基于数模混合接收超宽带定位系统定位基站方案，提出了可控积分电路高速模数转换电路方法；构建了到达时间差和物理距离关系模型，提出了偏最小二乘粒子群定位算法，加快了算法的收敛，增强了算法的鲁棒性；分析了 IEEE802.15.3a 信道模型下定位算法的适应性，提出了导频辅助的 2LS-PSO 定位算法，定位误差小于 10cm(TDOA 误差小于 0.5ns 时)；提出了自适应卡尔曼平滑滤波跟踪算法，解决了移动目标机动变化、不良测量条件带来的定位不准确问题。

本书主要章节基于脉冲超宽带技术的室内定位系统各个组成部分层层展开，具有较强的工程背景，可读性强。本书内容来自作者近几年来发表的论文、获奖、申请专利等，涉及最新的电路结构、算法及分析方法，可借鉴性、工程性强，具有较强的工程指导价值。

本书由赵红梅副教授独立编著，负责全书大纲及内容的拟定并定稿。在前期研究及本书撰写过程中，充分借鉴和引用了国内外同行在本领域的的相关研究成果，同时也得到了郑州轻工业学院河南省“超宽带无线通信技术”院士工作站研究团队的各位老师和研究生们的大力支持，他们对本书的撰写及研究成果都做出了大量的贡献，并提出了许多宝贵的意见与建议，在此对他们表示感谢。

第 1 章 绪论	1
1.1 无线定位技术简介	1
1.2 超宽带技术概述	3
1.2.1 UWB 技术定义	4
1.2.2 UWB 技术特点	5
1.2.3 UWB 技术的应用	6
1.3 超宽带室内定位技术简介	7
1.3.1 超宽带室内定位原理及系统构成	7
1.3.2 超宽带室内定位系统的应用前景	9
1.4 超宽带室内定位技术现有产品	9
小结	11
参考文献	11
第 2 章 IR-UWB 窄脉冲设计	13
2.1 超宽带脉冲的产生方法	13
2.2 常用的脉冲模板	16
2.2.1 高斯脉冲及其各阶导数	17
2.2.2 正交 Hermite 脉冲	22
2.2.3 升余弦脉冲	25
2.2.4 基于窗函数载波调制的脉冲	26
2.2.5 小波脉冲	28
2.3 基于数字逻辑电路的窄脉冲的设计	34
2.3.1 利用模拟器件的特性产生窄脉冲	34
2.3.2 利用数字电路产生窄脉冲	37
2.4 基于双非门结构的窄脉冲的设计	41
2.5 超宽带脉冲信号的调制	45
2.5.1 脉冲幅度调制 (PAM)	45
2.5.2 脉冲位置调制 (PPM)	47
2.5.3 多址技术	48
2.5.4 TH-PPM 脉冲序列的电路实现	51

小结	56
参考文献	57
第3章 小型化超宽带天线设计	59
3.1 小型化超宽带天线设计研究现状	60
3.2 天线基本理论概述	62
3.2.1 天线发展的历史	62
3.2.2 天线的基本电参数	62
3.2.3 天线的馈电方法	67
3.3 天线设计数值方法	68
3.3.1 矩量法	69
3.3.2 有限元法	69
3.3.3 时域有限差分法	70
3.4 小型化、宽带化天线设计方法	70
3.4.1 天线的小型化技术	71
3.4.2 扩展带宽的技术	73
3.5 不同结构的小型化超宽带天线设计	74
3.5.1 弧形贴片超宽带微带天线	74
3.5.2 超宽带宽缝隙天线	78
3.5.3 阶梯形超宽带微带天线	82
3.6 具有带阻特性的小型化超宽带天线设计	88
3.6.1 带阻特性的研究	88
3.6.2 倒U形带阻超宽带微带天线	89
3.6.3 倒叉形带阻超宽带微带天线	92
小结	96
参考文献	97
第4章 新型超宽带带通滤波器设计	100
4.1 超宽带信号频谱实现技术	100
4.1.1 带通滤波器实现频谱	101
4.1.2 上变频实现频谱	102
4.2 性能分析	103
4.2.1 交指耦合超宽带带通滤波器	103
4.2.2 槽线锥形谐振器	104
4.3 新型超宽带滤波器的设计	106
4.3.1 新型超宽带带通滤波器的设计思想	106
4.3.2 新型超宽带带通滤波器的设计与仿真	106
小结	108
参考文献	108
第5章 超宽带信道测量及建模	110
5.1 超宽带信号信道测量及建模方法研究现状	110

5.2 超宽带信道模型理论基础	112
5.2.1 大尺度衰落	113
5.2.2 小尺度衰落	113
5.2.3 超宽带标准信道模型	113
5.3 基于频域测量的超宽带室内一室外信道测量及建模	115
5.3.1 信道测量原理和环境	115
5.3.2 路径损耗及阴影衰落	117
5.3.3 信道冲激响应	123
5.3.4 信道参数	126
5.3.5 室内至走廊多径信道模型	129
5.3.6 信道特征参数	130
5.4 基于射线追踪方法的超宽带信道测量及建模	131
5.4.1 信道仿真原理和环境	131
5.4.2 空间功率分布	132
5.4.3 路径损耗及阴影衰落	133
5.4.4 室内及走廊的多径功率剖面	135
5.4.5 室内信道参数	137
5.4.6 室内到走廊多径功率剖面特点	139
5.4.7 幅度衰落特性	139
5.4.8 室内及走廊多普勒扩展	141
5.4.9 信道特征参数	142
5.4.10 实测和仿真结果的比较	142
小结	144
参考文献	145
第6章 超宽带室内定位系统接收机设计及分析	149
6.1 超宽带信号接收机设计简介	149
6.2 接收机同步原理	150
6.2.1 基于检测理论的同步方法	151
6.2.2 基于估计理论的同步方法	151
6.3 超宽带接收机原理及结构	153
6.3.1 相干接收原理和结构	153
6.3.2 自相干接收原理和结构	154
6.3.3 非相干接收原理和结构	155
6.4 方案设计	156
6.4.1 超宽带室内定位接收机射频端设计	158
6.4.2 可控积分检测电路设计	166
6.4.3 超宽带室内定位接收机数字端设计	170
小结	182

参考文献	182
第7章 高精度室内定位算法	185
7.1 UWB 室内定位算法研究现状	185
7.2 常用定位算法简介	186
7.3 超宽带室内定位算法数学模型	188
7.3.1 TOA 估计及其定位模型	188
7.3.2 DOA 估计及其定位模型	189
7.3.3 RSS 估计及其定位模型	190
7.3.4 TDOA 估计及其定位模型	190
7.3.5 基于 TDOA 的 UWB 室内定位方案	191
7.4 超宽带厘米级室内定位算法设计	194
7.4.1 CHAN-TAYLOR 级联定位算法	194
7.4.2 PLS-PSO 混合定位算法	199
7.5 基于实际超宽带信道模型的定位算法设计	203
7.6 干扰对定位精度影响分析	209
7.6.1 信号模型	210
7.6.2 最佳二进制正交脉冲相位调制: 2PPM-THMA	210
7.6.3 二进制反极性脉冲幅度调制: 2PAM-THMA	213
7.6.4 仿真实验与讨论	214
7.7 移动目标的定位跟踪算法研究	218
7.7.1 常用的跟踪滤波算法	218
7.7.2 室内目标跟踪原理和模型介绍	222
7.7.3 无迹卡尔曼滤波算法仿真	223
7.7.4 强跟踪自适应无迹卡尔曼滤波及其仿真	236
7.7.5 超宽带室内跟踪平滑算法分析	244
小结	250
参考文献	250



1.1 无线定位技术简介

随着信息化时代的深入，信息产业的各行各业都呈现出蓬勃发展的趋势，如移动通信已经发展到“4G”通信，正逐步向“5G”迈入；家庭网络也已步入百兆带宽时代。“位置”作为一类信息也开始被人们所关注，尤其是随着信息化时代新生产物无线定位技术的快速发展，使得这一类信息可被广泛使用于日常生活中，促使了许多依赖位置的服务 LBS (Location-Based Services) 产生，基于 GPS 定位技术的相关服务，以及使用电信运营通信实现的 110/120 急救服务都是 LBS 在日常生活中的典型实例。现代定位技术最早应用在军事领域，如全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)，用以提供精确制导、战场监控和单兵作战等系统保障。目前，GPS 是世界上应用最广泛和成功的一种定位技术。然而，特别是随着多媒体和数据业务的快速增加，人们对定位与导航的需求日益增大，尤其是在复杂的室内环境下，常常需要确定移动终端或其持有者、设施与物品在室内的具体位置信息。近几年，随着移动设备与智能终端的广泛普及，LBS 更是渗入人们生活的各个方面，如信息查询（旅游景点、交通情况、商场等）、车辆调度、物资管理、交通指挥、行车导航等服务，体现出了其巨大的潜在价值。

无线定位技术和方案有很多，常见的定位技术包括红外线、超声波、射频信号等^[1~3]。不同于室外的建筑物，室内环境具有更复杂的特性，室内的布置、材料的结构、空间尺度的不同将会导致信号的路径损耗很大。红外线容易受室内灯光的干扰，在定位精度上有一定的局限性；超声波则受非视距传播和多径效应的影响较大；射频信号广泛应用在室外定位系统中。故这些技术都不适合室内定位系统的开发。随着新兴无线网络技术（如 WiFi、ZigBee、蓝牙和超宽带等）的出现，在现有无线定位技术基础上，结合成熟的无线信息融合和网络通信技术，实现精度高、稳定性强、适应性好的短距离室内定位和导航系统将是未来无线定位技术的发展趋势。目前，室内无线定位技术的研究主要集中在射频 (RF) 信号的基础上，同时结合无线网络技术，如 ZigBee、超宽带、WiFi、蓝牙和射频识别 (Radio-Frequency Identification, RFID) 等定位技术^[4,5]的研究。

随着定位技术的发展和定位服务需求的不断增加，未来无线定位技术必须克服现有技

术的缺点，满足以下几个条件：①抗干扰能力强；②定位精度高；③生产成本低；④运营成本低；⑤信息安全性好；⑥能耗低及发射功率低；⑦收发器体积小^[6]。

不管是 GPS 定位技术还是利用无线传感器网络或其他定位手段进行定位都有其局限性。各种无线定位技术的对比如表 1-1 所示。无线定位技术的趋势是室内定位与室外定位相结合，实现无缝的、精确的定位。

表 1-1 各种无线定位技术的对比

类别	名称	定位机制	精度	优缺点
室外定位	GPS	多颗卫星联合定位	1m	室外使用方便/无法在室内使用
	基站定位	基于 Cell ID 定位	小区半径	室内室外都可以用/精度较低
室内定位	WiFi	基于 RSSI 和 TOA	1m	成本低/能耗高，干扰大，限于 2D
	ZigBee	基于 RSSI	3~5m	成本低/精度较低
	RFID	近距离感应激活	可变	能耗低，成本低/需要感应
	超声波	回波测距定位	10cm	精度高/易受干扰，成本高
	光学成像	机器视觉或模式识别	1cm	精度高/需视距，复杂度、成本高
	超宽带	TDOA 和 AOA	15cm	精度高，抗干扰，实时 3D 定位

在室内定位上，由于其定位机制的限制，表现出的性能差强人意，达不到人们所需求的厘米级高精度定位。此时，国内外学者纷纷将目光投向了短距无线定位技术，试图从这方面找到突破口，研究出更加适合室内定位的技术。多年来，经过学者们不懈的努力与钻研，针对电磁环境复杂、多障碍物（墙壁、货物等）遮挡的室内定位提出了多种解决方案，目前新兴的无线网络技术，如 WiFi、ZigBee、BlueTooth 和 Ultra Wide Band（UWB）等，在办公室、家庭、工厂、公园等大众生活的各个方面逐渐得到了广泛应用，未来基于无线网络的定位技术的应用将具有更加广阔的发展前景。依据投资银行 Rutberg 公司、无线数据研究集团和国际数据公司等预测，网络新兴技术将在未来的 3 年内达到几百亿美元甚至上千亿美元的营业收入，而无线定位技术的应用将在其中占有至少上百亿美元的份额，因此，如何最大限度地开发利用无线定位技术已经成了国内外研究的主要热点。表 1-2 从精确度、穿透性、抗干扰性、布局复杂度、成本方面分析了各种定位系统用于室内定位的优劣。

表 1-2 各种定位系统用于室内定位的性能对比

定位系统	精确度	穿透性	抗干扰性	布局复杂度	成本
红外线	★★★★☆	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆	★★★★★	★★☆☆☆
超声波	★★★★★	★☆☆☆☆	★★★☆☆	★★☆☆☆	★★★★★
RFID	★★★★★	★★★☆☆	★★☆☆☆	★★☆☆☆	★★★★★
蓝牙	★★★☆☆	★★★☆☆	★★☆☆☆	★★★☆☆	★★★☆☆
WiFi	★☆☆☆☆	★★★☆☆	★★★★★	★☆☆☆☆	★☆☆☆☆
ZigBee	★★★☆☆	★★★★☆	★★★☆☆	★★★☆☆	★★★☆☆
超宽带	★★★★★	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆
地磁场	★★★★☆	★★★★☆	★★★☆☆	★★★☆☆	★★★★☆

从表 1-2 的对比中可以看出, UWB 技术不同于其他无线通信技术, 它具有隐蔽性好、抗多径和窄带干扰能力强、传输速率高、系统容量大、穿透能力强、功耗低、系统复杂度低等一系列优点, 而且可以充分利用频谱资源, 很好地解决了频谱资源拥挤不堪的问题^[1,2]。超宽带无线通信技术已经成为短距离无线通信中最具竞争力和发展前景的技术之一, 被视为无线互联时代的关键技术。

1.2 超宽带技术概述

UWB 技术的历史可追溯到 20 世纪 60 年代, 它最早出现在时域电磁学的研究中, 通过冲激响应用来完整地描述某一类微波网络的瞬时特性。初期, 超宽带作为一项脉冲雷达技术被军方用于战场中通信与雷达探测, 在此期间超宽带技术的发展可谓停滞不前, 速度缓慢。直到 20 世纪 60 年代, 人们为了利用冲激响应来研究某类微波网络的瞬态特性, 将超宽带技术引入到了电磁学^[11], 之后超宽带迎来了一个发展期。之后, 此种技术被用于设计宽带辐射的天线振子, 接着又被用于开发短脉冲的雷达通信系统。最为显著的是 Sperry 研究中心和 Sperry Rand 公司将这项技术用于各种雷达通信系统的研究与开发, 取得了多项发明专利。1972 年, 一种高灵敏度的短脉冲接收设备的成功研制, 进一步加快了 UWB 技术的发展进程。1973 年 Ross 获得了第一个 UWB 通信系统的专利, 成为 UWB 发展的一个里程碑^[12]。同年, Morey 获得了第一个用于地球物理测量的 UWB 穿地雷达专利^[13]。1978 年 Ross 实现了 UWB 在自由空间内的通信, 并在 1978 年完成了 UWB LPI/D (低截获/检测概率) 通信的演示系统开发。在此之前, UWB 作为一类非正弦、单周期或少数几个周期的极窄脉冲串无线电信号, 并没有统一的术语, 叫法甚多: impulse, carrier-free, time domain, orthogonal function and large-relative-bandwidth radio/radar signal。直至 1989 年美国国防部将其称为 Ultra Wide Band 后, 才统一采用了 UWB 这一术语^[14]。到 1989 年, 超宽带 (UWB) 这个名称才被美国国防部启用, 在此之前, 这项技术常常被称为冲激无线电 (Impulse Radio, IR) 技术或者基带无载波调制 (Baseband Carrier - Free)。在美国, 绝大部分关于 UWB 技术的早期研究工作, 尤其是冲激无线电 (IR) 通信领域, 都是在美国政府机密的计划支持下完成的。直到 1994 年以后, 保密的限制才逐渐被解除, 从而使超宽带方面的研究取得了飞速的发展。随着超宽带通信技术的飞速发展, 越来越多的研究者希望能够允许超宽带无线电技术转入民用。自 1998 年起, 美国联邦通信委员会 (Federal Communications Commission, FCC) 就关于超宽带无线设备对原有窄带无线通信系统的干扰及其电磁兼容的问题开始广泛征求业界意见。2002 年 2 月 14 日, FCC 首次批准了这项无线技术可以用于民用通信的规定, 与此同时, FCC 还修正了关于超宽带的定义, 通过了超宽带在限制功率辐射条件下的商用许可, 并为超宽带通信规划了频谱使用范围 3.1~10.6GHz, 这是超宽带技术发展史上的又一重要的里程碑^[7]。这充分说明此项技术所具有的广阔应用前景和巨大的市场诱惑力。

超宽带技术向民用领域的开放极大地刺激了全球各界对 UWB 技术的研究热情。2003 年 12 月, 在美国新墨西哥州的阿尔布克尔市举行的 IEEE 有关 UWB 标准的大讨论: 一

方是以 Intel 与德州仪器为首支持的 MBOA 标准,该方采用的是多频带的方式来实现 UWB 技术;另一方是以摩托罗拉为首的 DS-UWB 标准,坚持采用单频带方式。这两个阵营各不相让,都表示将单独推动各自的技术。虽然经过讨论,UWB 标准仍尘埃未定,但这两大阵营有了新的加入者。三星采用摩托罗拉的第二代产品 Xtreme Spectrum 芯片实现了全球第一套可同时播放三个不同的 HSDTV 视频流的无线广播系统。而在另一阵营中,Intel 公司首次展示了多家公司联合支持的、采用本公司设计的 UWB 芯片的、应用范围超过 10M 的 480Mbps 无线 USB 技术。美国在 UWB 的积极投入,引起其他国家的重视,欧盟和日本也纷纷开展研究计划。由 Wisair、Philips 等 6 家公司和团体成立了 Ultrawaves 组织,研究家庭内 UWB 在 AV 设备高速传输的可行性研究。PULSERS 是由位于瑞士的 IBM 研究公司、英国的 Philips 研究组织等 45 家以上的研究团体组成,研究 UWB 的近距离无线界面技术和位置测量技术。日本在 2003 年元月成立了 UWB 研究开发协会,共计有 40 家以上的业者和大学参加,并在同年 3 月构筑 UWB 通信试验设备。多个研究机构可在不经过核准的情况下,先行从事研究。

在国内,超宽带无线通信技术受到相当的重视。我国在 2001 年 9 月初发布的“十五”国家“863 计划”通信技术主题研究项目中,首次将“超宽带无线通信关键技术及其共存与兼容技术”作为无线通信共性技术与创新技术的研究内容,鼓励国内学者加强这方面的研究工作。国家自然科学基金委员会信息科学部也积极鼓励相关超宽带无线通信理论与关键技术的探索性研究。随后国内许多高校和研究机构都在进行有关超宽带技术和产品的研究,但还主要以理论和技术研究为主,如由张乃通院士承担的国家自然科学基金《超宽带高速无线接入理论与关键技术》的课题研究,许多高校也已经开展了有关超宽带技术方面的研究,并且已经取得大量的研究成果。与理论研究相比,国内应用产品的开发还处于次要地位,因此,对超宽带定位系统的研究和开发对我国超宽带应用产品的发展具有重要的推进作用。

超宽带(UWB)技术与其他无线通信技术有很大的不同,它为无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)和个域网(Personal Area Network, PAN)的接口卡和接入技术带来了低功耗、高带宽和结构相对简单等优点。同时,超宽带技术解决了困扰传统无线技术多年的关于传播方面的难题。超宽带技术在无线通信方面的创新性、利益性具有非常大的潜力,在商业多媒体设备、家庭和个人网络方面很好地满足了人们对未来无线网络的要求。

1.2.1 UWB 技术定义

超宽带技术最早使用在包括军用雷达和遥感等军事领域中。21 世纪初,美国联邦通信委员会(FCC)批准超宽带技术可以运用到民用领域中。由于该技术得到民用通信方面的巨大关注,因此,得到了迅速发展。FCC 对超宽带信号的定义如下:

$$\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \geq 20\% \text{ or } f_H - f_L = 500\text{MHz} \quad (1-1)$$

即相对带宽大于 20%或者绝对带宽大于 500MHz。 f_H 、 f_L 指信号功率谱密度的峰值衰减 10dB 时所对应的上下限频率。

为了避免对其他通信系统的干扰, FCC 将超宽带的发射功率限定在一定范围内^[10~11], 即在超宽带通信频率范围内的每个频率上都规定一个最大的允许功率, 这个功率值一般通过辐射掩蔽来决定。FCC 规定的各类定位系统的频谱对比图如图 1-1 所示, 超宽带通信使用的频谱范围在 3.1~10.6GHz 多达 7.5GHz 的范围内。如此低的功率谱密度共享频谱的方式在频谱资源相当匮乏的今天有着极其重要的意义, 这也是当今社会超宽带能够兴起和快速发展的主要原因之一。针对超宽带的应用环境, FCC 同样规定了室内通信系统的限制功率和室外手持超宽带通信设备的限制功率, 如图 1-2 所示。

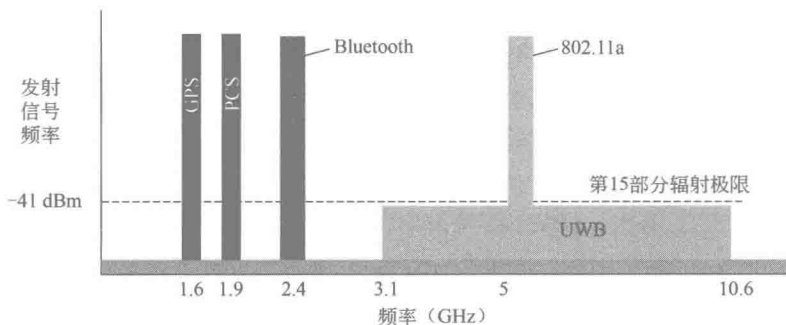


图 1-1 各类定位系统的频谱对比图

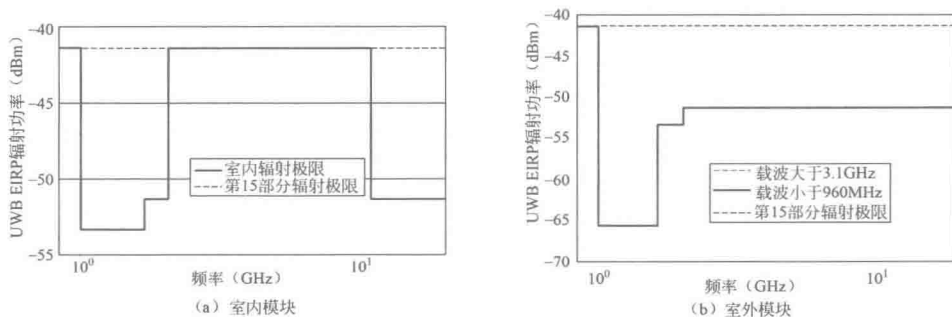


图 1-2 FCC 规定的超宽带系统有效全向辐射

1.2.2 UWB 技术特点

UWB 技术是利用纳秒甚至皮秒级的极窄脉冲来实现信息的传输的。由于是在较宽的频谱上传送极低功率的信号, UWB 可以在 10m 左右的范围内实现数百 Mbps 甚至数 Gbps 的数据传输速率^[15~19]。

现对于 UWB 的特点总结如下:

(1) 抗干扰性能强。在 UWB 常用的跳时系统中, 由于超宽带信号本身的频谱特性, 再加上跳时扩频, 频谱可以达到几千兆赫兹, 是一般扩频系统的 100 多倍, 抗干扰性也就更强了。

(2) 多径分辨能力强。UWB 是利用极窄的脉冲进行信息的传输的。由于其占空比低, 在多径的情况下可以实现时间上的分离, 能够充分利用发射信号的能量。据相关实验表明,

对常规无线电多径衰落深达 10~30dB 的多径环境,对超宽带无线电信号的衰落最多不到 5dB。

(3) 系统容量大。随着无线通信系统技术的不断发展,频谱资源变得越来越紧张,而超宽带技术的通信空间容量却具有相当大的优势。根据 Intel 公司的研究报告,IEEE 802.11b、Bluetooth、IEEE 802.11a 的空间容量分别约为 1 kbps/m²、30 kbps/m²、83 kbps/m²,而 UWB 技术的空间容量可达 1000 kbps/m²。

(4) 传输速率高。UWB 的数据速率可以达到几十 Mbps,理论上传输速率甚至可以达到 Gbps 以上。

(5) 安全性高。由于 UWB 信号拥有 7.5GHz 的频带,而且 FCC 对其功率谱密度的限制低于环境噪声电平,因此,很难被基于频谱搜索的电子侦测设备截获。

(6) 低成本、低功耗。基于超宽带技术的发射端,可以完全由易于集成的数字电路来实现,因此,可以极大地降低生产成本。同时由于 UWB 信号拥有非常宽的频带,为了避免与其他窄带系统产生干扰,UWB 信号发射的功率谱密度受到 FCC 的严格限制,发射功率非常低。

1.2.3 UWB 技术的应用

最初,UWB 技术起源于军事领域,多年来美国也一直将 UWB 技术作为军事作战的技术之一,这在一定程度上限制了 UWB 技术在商用方面的发展。随着无线频谱资源日益紧缺,UWB 技术开始在民用领域蓬勃发展。基于其功率谱密度低、抗多径衰落能力好,超宽带技术被越来越多地应用在室内短距离的保密通信。此外,UWB 技术精确的定位能力也促进了一系列精度高的 UWB 雷达和定位器的应运而生。就目前的发展现状来说,UWB 技术的应用主要分为军用和民用两个方面。

在军用方面,主要应用于 UWB 雷达、UWB 低截获率(LPI/D)的无线内部通信系统(如预警机、舰船等)、警戒雷达、战术手持和网络的 LPI/D 电台、地波通信、无线标签、探测地雷、无人驾驶飞行器、检测地下埋藏的军事目标或以叶簇伪装的物体,等等^[20]。

在民用方面,自 2002 年 2 月 14 日 FCC 批准可将 UWB 用于民用产品以来,UWB 技术凭借着短距离范围内高速传输的巨大优势,将其主要的应用锁定在无线局域网(WLAN)及无线个域网(WPAN)上。通常短距离小范围内的高速通信主要是靠有线连接完成的,而超宽带技术的应用可以使这种通信变为无线,从而使人们能够摆脱线缆的束缚,使通信变得简洁方便。人们也可以利用超宽带技术的成像定位功能,协助警察搜寻室内范围内逃犯,以及搜寻被困在坍塌物下面的人员,甚至可以开发汽车防撞系统。相信在不久的将来,类似这样的应用将层出不穷,大大超过人们的想象。而就目前的发展趋势来看,超宽带技术的应用主要集中在以下几个方面:

1. 家庭无线多媒体网络

在家庭无线多媒体网络中,各种数字家用多媒体设备,如数码摄像机、数字电视、MP3/MP4 播放器、计算机、数字机顶盒及各种智能家电等,可以根据各自的需要在短距离小范围内组成一个 Ad-hoc 网络,从而相互之间传送多媒体数据,并且可通过家中的宽带网

关接入 Internet, 构成一个智能的家庭网络, 使一些相互独立的多媒体能够有机地结合起来。现有的各种短距离的无线通信技术 (如 ZigBee、红外、蓝牙等) 中, 仅有 UWB 技术能够满足多种无线多媒体传输速率的要求。

2. 无线传感网络

在无线传感网络中, 常常要求传感器的功耗较小, 要能够连续工作数月甚至数年之久且无须经常充电。现有的做法是通过媒体接入控制 (MAC) 层和网络层的协议设计, 以尽量减少不必要的传输, 进而有效地利用无线信道的能量资源。无线传感网络在这些基础上, 采用超低功耗的超宽带物理层, 可大大简化控制层和网络层的复杂度, 从而使系统的总功耗进一步降低。

3. 智能交通系统

超宽带 (UWB) 系统同时具有无线定位和通信功能, 能够方便地应用于智能交通系统中, 为汽车测速、防撞系统、监视系统、智能收费系统等提供低成本、高性能的解决方案。此外, 如果在驾车的过程中遇到紧急情况, 司机可以利用车载的超宽带系统向外界发送求助和报警信息。

4. 室内定位系统

超宽带系统, 特别是采用基带窄脉冲方式的超宽带系统, 具有较强的穿透障碍物能力, 能够满足室内复杂环境下无线定位的要求, 同时由于超宽带具有小于 1ns 的时间分辨率, 可以在保持通信的同时实现厘米级的定位精度。

当然超宽带技术的应用还不仅仅局限于以上几个方面, 它在服务、医疗等方面也有诸多应用, 未来的超宽带应用将和其他不同的网络协调共存, 实现随时随地、无缝的通信。

1.3 超宽带室内定位技术简介

UWB 技术用于室内定位较之 WiFi、ZigBee、RFID 等优势突出, 前景相当乐观, 尤其适合室内高精度跟踪定位。这是因为 UWB 是以极窄脉冲传输数据的短距离无线载波通信技术, 由于抗干扰、低功耗、低截获、强穿透等优点, 尤其适合室内高精度定位, 使用时对 UWB 参考点与移动目标上的 UWB 标签进行距离、时间的解算, 从而可获得厘米级的精度, 该技术广泛用于战场定位、虚拟商场、物流管理、电力巡检等领域, 市场空间超百亿元。UWB 技术与互联网结合, 三维地图形成协同, 更是有望涉足智能家居、可穿戴设备市场, 可预见超宽带室内定位系统的智能化将是必然趋势。

1.3.1 超宽带室内定位原理及系统构成

无线定位系统要实现精确定位, 首先要获取定位解算所需的参数信息, 然后构建相应的解算模型, 根据这些参数信息和模型求解定位目标的准确位置。UWB 具有超高的时间