

高等学校电子信息类系列教材

超宽带(UWB)原理与干扰

朱刚 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等学校电子信息类系列教材

超宽带（UWB）原理与干扰

朱 刚 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书采用最新的资料、技术标准和研究成果,介绍了超宽带原理及其干扰,内容包括三部分:第一部分对超宽带技术及其所使用的信道、天线及标准进行介绍;第二部分将超宽带基带标准的内容从原理角度归结为信号波形、调制方法及接收方法三个方面;第三部分结合最新研究成果,对超宽带系统干扰问题、抗干扰技术及认知超宽带无线电进行介绍。

本书可作为高等学校通信工程专业课教材或参考书,也可以供相关专业工程技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

超宽带(UWB)原理与干扰/朱刚编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2009.4

(高等学校电子信息类系列教材)

ISBN 978-7-81123-526-5

I. 超… II. 朱… III. 宽带通信系统-高等学校-教材 IV. TN914.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第047431号

责任编辑:解 坤

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京交大印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:10.25 字数:256千字

版 次:2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-526-5/TN·63

印 数:1~3000册 定价:19.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

超宽带 (UWB) 是一种短距离高速无线通信技术。它能够通过组建高速无线个人局域网 (WPAN), 使无线局域网和个人局域网以无线的互联接入成为可能。与现有的无线通信技术相比, 它具有对信号衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、安全性高、系统复杂度低及定位精度高等特点, 可应用于无线多媒体局域网、个域网、雷达定位和成像系统、智能交通系统、公安、救援、医疗、测试等多个领域。2006 年, 国际电信联盟第一研究组 (ITU Study Group 1) 宣布, UWB 成为“全球性监管标准”。目前, UWB 技术已成为短距离高速无线通信领域的研究热点。

2002 年, IEEE 802. 15. 3a 工作组成立, 旨在为 UWB 制定出高速物理层标准, 上层协议由 WiMedia 联盟负责。2003 年, UWB 物理层标准形成两大方案联盟, 即传统的脉冲无线电方案 (IR-UWB) 联盟和多频带正交频分复用 (MB-OFDM UWB) 方案联盟。2005 年, WiMedia 联盟和 MB-OFDM 联盟合并, 建议欧洲的组织 Ecma International 的成员采用其 MB-OFDM 标准作为消费产品中使用的 UWB 全球标准, 并将标准提交 ISO/IECJTC1 快速通过。其中, Freescale 等倡导的是 IR-UWB 方案, 而 WiMedia 联盟成员包括惠普、英特尔、微软、诺基亚、飞利浦、三星、爱立信、索尼等 254 个成员。这说明 UWB 技术得到全球业界的广泛关注。

本书内容包括三个部分。第一部分包括第 1、2、3、4 章, 对 UWB 技术及其所使用的移动信道、天线及标准进行介绍。第二部分包括第 5、6、7 章, 将 UWB 物理层标准的内容, 从原理角度归结为信号波形、调制方法及接收方法三个方面, 结合原理分章介绍, 力求从物理层标准这一点上深入介绍 UWB 技术。第三部分包括第 8、9、10 三章, 对 UWB 与现有窄带无线通信系统干扰及多址干扰进行分析, 并对其抗干扰技术及认知超宽带无线电进行介绍, 这部分内容反映了北京交通大学校基金重点项目“UWB (超宽带) 无线通信系统干扰问题研究”及国家自然科学基金——铁道联合重点项目的最新研究成果。因此, 编著者认为, 这是一本学习 UWB 技术的较好的入门书。

本书与《蓝牙技术原理与协议》是姊妹篇, 同属于短距离无线 (数据) 通信研究领域, 也秉承了从原理阐述通信标准的编著风格, 便于初学者理解和掌握。

本书由朱刚编著, 校基金重点项目课题组成员也参与了编写工作, 其中张敏参与第 1、3、7 章, 王九九参与第 8、9、10 章, 烟翔参与第 6 章, 钱逸群参与第 4 章, 刘玮参与第 2 章, 蒋潺潺参与第 5 章, 全书由朱刚统稿、定稿, 张敏、王九九、刘玮参与统稿。因此, 本书是集体劳动的成果, 是集体心血与智慧的结晶。

感谢北京交通大学校基金重点项目及国家自然科学基金——铁道联合重点项目资助研究; 感谢本书初稿评审专家提出的宝贵修改建议; 感谢我校现代通信研究所钟章队教授给予的支持; 感谢支持课题研究 with 书稿编著的现代通信研究所其他教师和学生。

本书虽已成稿，错误在所难免，编著者恳请批评指正。同时也真诚希望与读者共同探讨短距离无线通信的有关问题，促进短距离无线通信事业的繁荣与发展。

编著者

2009年4月

于北京交通大学现代通信研究所

目 录

第1章 导论	(1)
1.1 UWB 概述	(1)
1.1.1 UWB 背景与历史	(1)
1.1.2 UWB 定义	(2)
1.2 UWB 实现方式	(3)
1.2.1 冲激无线电	(3)
1.2.2 MB-OFDM UWB	(3)
1.3 UWB 特点及应用	(3)
1.3.1 UWB 特点	(3)
1.3.2 UWB 应用	(4)
1.4 UWB 与窄带系统的共存	(5)
1.4.1 UWB 与窄带通信系统间的干扰	(5)
1.4.2 克服 UWB 与窄带通信系统干扰的措施	(5)
小结	(6)
第2章 UWB 信道	(7)
2.1 电波传播基本原理	(7)
2.1.1 电波传播基本理论	(7)
2.1.2 移动通信的电波传播	(9)
2.2 UWB 信道模型	(13)
2.2.1 信道模型基本理论	(13)
2.2.2 S-V 室内信道模型	(15)
2.2.3 IEEE 802.15.3a 信道模型	(16)
2.3 UWB 信道估计	(17)
2.3.1 信道估计基本理论	(18)
2.3.2 UWB 信道估计方法简介	(19)
小结	(22)
第3章 UWB 天线	(23)
3.1 天线理论基础	(23)
3.1.1 天线的分类	(23)
3.1.2 天线的主要参数	(23)
3.2 UWB 信号的天线辐射	(27)

3.2.1	UWB 信号辐射要求	(27)
3.2.2	天线超宽带辐射特性	(28)
3.3	UWB 系统天线	(33)
3.3.1	超宽带天线的设计要求	(33)
3.3.2	超宽带天线的研究现状	(33)
3.3.3	UWB 天线的应用前景	(35)
	小结	(36)
第4章	UWB 标准	(37)
4.1	UWB 标准化之路	(37)
4.2	IEEE 802.15.3a 草案	(37)
4.2.1	DS-UWB 物理层草案	(38)
4.2.2	MB-OFDM 物理层草案	(40)
4.2.3	IEEE 802.15.3a MAC 层标准	(43)
4.3	WiMedia 联盟标准	(46)
4.3.1	物理层标准	(46)
4.3.2	MAC 层标准	(50)
4.3.3	接口标准	(53)
	小结	(58)
第5章	UWB 信号波形	(59)
5.1	高斯脉冲信号	(59)
5.2	升余弦脉冲波形	(63)
5.3	其他波形	(63)
5.3.1	基于 Hermite 矩阵特征向量分解的脉冲	(63)
5.3.2	基于 PSWF 的脉冲波形	(65)
5.3.3	基于 Chirp 脉冲压缩的脉冲波形	(67)
	小结	(70)
第6章	UWB 调制原理	(71)
6.1	数字调制基本原理	(71)
6.1.1	数字传输基本概念	(71)
6.1.2	数字调制基本类型	(72)
6.1.3	现代调制技术	(74)
6.2	UWB 调制	(76)
6.2.1	IR-UWB 调制	(76)
6.2.2	IR-UWB 多脉冲调制与多址技术	(82)
6.2.3	OFDM 原理与特点	(85)
6.2.4	MB-OFDM UWB 发送原理	(90)

小结	(91)
第7章 UWB 接收与同步	(92)
7.1 最佳接收机设计	(92)
7.1.1 最佳接收准则	(93)
7.1.2 相关接收和匹配滤波器接收	(95)
7.1.3 Rake 接收	(98)
7.2 UWB 接收机原理	(99)
7.2.1 IR-UWB 接收机原理	(99)
7.2.2 MB-OFDM UWB 接收机原理	(102)
7.3 UWB 系统同步原理	(103)
7.3.1 通信系统同步概念	(103)
7.3.2 IR-UWB 系统同步	(104)
7.3.3 MB-OFDM UWB 系统同步	(109)
小结	(115)
第8章 UWB 干扰与共存	(116)
8.1 UWB 干扰概述	(116)
8.2 IR-UWB 与窄带无线通信系统间干扰	(117)
8.2.1 IR-UWB 干扰分析	(117)
8.2.2 IR-UWB 共存技术	(118)
8.3 MB-OFDM UWB 与窄带系统干扰	(119)
8.4 UWB 带外辐射干扰	(121)
8.5 UWB 多径干扰	(122)
8.6 UWB 系统干扰	(124)
小结	(125)
第9章 UWB 多址接入与抗干扰	(126)
9.1 信号模型	(126)
9.1.1 发射信号	(126)
9.1.2 信道模型	(126)
9.1.3 接收信号	(127)
9.2 接收端的多用户干扰抑制	(128)
9.2.1 线性多用户检测	(128)
9.2.2 干扰消除多用户检测	(129)
9.2.3 类最小均方误差检测器	(130)
9.3 发射端的多址干扰抑制	(131)
9.3.1 跳时序列设计	(132)
9.3.2 伪随机跳时	(132)

9.3.3 多级模块扩频 UWB 接入	(133)
9.4 一种改进型伪混沌跳时多址接入技术	(134)
9.4.1 混沌编码	(134)
9.4.2 多址接入调制方案	(136)
9.4.3 接收机结构	(136)
9.4.4 误码率分析	(137)
小结	(138)
第 10 章 认知超宽带无线电	(139)
10.1 认知无线电概述	(139)
10.1.1 认知无线电	(140)
10.1.2 认知无线电与超宽带	(141)
10.2 认知超宽带原理与模型	(142)
10.2.1 认知超宽带原理	(142)
10.2.2 认知超宽带模型	(143)
10.3 认知超宽带频谱感知技术	(145)
10.3.1 基于干扰温度的频谱感知技术概述	(145)
10.3.2 基于授权用户信号检测的频谱感知方法	(145)
10.4 认知超宽带检测避免 (DAA) 技术	(148)
10.4.1 UWB 与 WiMax (TDD) DAA 流程	(148)
10.4.2 UWB 与 UMTS (FDD) DAA 流程	(150)
小结	(151)
参考文献	(152)

第1章 导 论

1.1 UWB 概述

1.1.1 UWB 背景与历史

无线技术在通信发展进程中一直扮演着重要角色。伴随着移动通信十几年来来的蓬勃发展及3G、B3G等概念的日益普及，无线家族中的另一成员——短距离宽带无线接入技术近年来异军突起。从蓝牙、HomeRF到IEEE 802.11（即Wi-Fi）系列，越来越多的人开始感受到了短距离无线通信技术所带来的诸多便捷，甚至有人认为短距离无线通信技术具有与3G抗衡之势。

超宽带（Ultra Wide Band, UWB）技术是目前备受关注的一种新型短距离高速率无线通信技术。多年以来，这项技术一直在军事领域中使用。UWB在民用领域开放后，有望凭借其超高的传输速率和低功率、低成本等优势给短距离无线接入市场注入新的活力。

超宽带脉冲通信可追溯到100年前，马可尼试验越洋无线电通信获得成功可看作早期的、粗糙的冲激无线电。1942年，De Rosa提交了随机脉冲系统的专利，但因为“二战”的影响直到50年代才予以发表。1960年以后，学术界才逐渐认识到用作无线传输和雷达的信号并不一定必须具有近似正弦函数的时间变化规律。超宽带信号在科学研究、仪器和检测领域的应用于20世纪60年代开始，并在70年代受到雷达信号处理领域的研究人员的关注。20世纪80年代通信领域的研究人员开始研制超宽带冲激无线电通信系统，但由于受到当时技术条件的限制，未能得到快速的发展和广泛应用。1993年，R. A. Scholtz在国际军事通信会议发表的论文论证了采用冲激脉冲进行跳时调制的多址技术，从而开辟了将UWB脉冲作为无线电通信信息载体的新途径，它具有的优越性使其日益受到重视。UWB发展历程如图1.1所示。

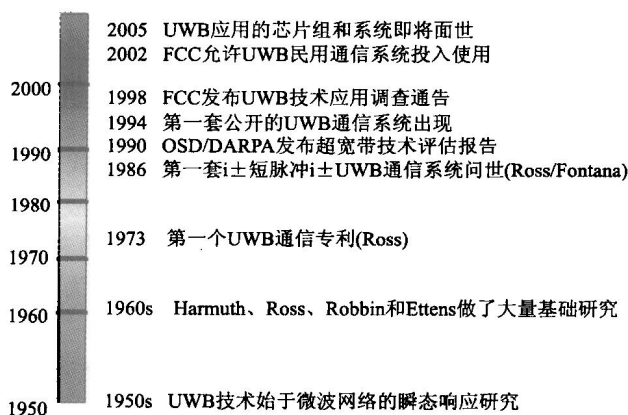


图 1.1 UWB 发展历程

宽带信号优异的传输特性决定了其在军事与安全领域的地位,所以在1994年以前UWB领域的早期研究,特别是冲激无线电通信领域的研究,是美国政府的机密计划。1994年以后,许多研究计划取消了保密限制,加快了UWB的发展速度。2002年2月,美国联邦通信委员会(FCC)通过了超宽带在民用领域应用的初步规范。2003年2月,FCC又对该规范进行了确认,并局部放宽了对成像系统频带的限制,这是超宽带走向商业化的一个重要里程碑。而且,FCC也在此之后的一年至一年半内继续探讨UWB的完善,并进一步放宽超宽带应用标准值方面的限制。

1.1.2 UWB 定义

超宽带无线传输技术是一种与常规无线通信技术(包括窄带通信、常规扩频通信和OFDM技术)相比具有显著差异的新兴无线通信技术。

UWB的定义最早是由FCC给出的,规定-10 dB相对带宽超过25%,或-10 dB绝对带宽超过1.5 GHz就称为超宽带,后来FCC又将此带宽值修改为500 MHz。FCC提出的计算相对带宽的公式为 $B_r = 2(f_H - f_L)/(f_H + f_L)$,计算绝对带宽的公式为 $B_a = f_H - f_L$,计算中心频率的公式为 $f_0 = (f_H + f_L)/2$,其中 f_H 表示-10 dB散射高频率点, f_L 表示-10 dB散射低频率点。

2002年2月,FCC规定准许UWB技术进入民用领域,但制定了非常保守的规则:在发送功率低于美国放射噪声规定值-41.3 dBm/MHz的条件下,可将3.1 GHz~10.6 GHz的频带用于对地下和隔墙之物进行扫描的成像系统、汽车防撞雷达及在家电终端和便携式终端间进行测距和无线数据通信。具体约束如表1.1所示。

表 1.1 FCC 关于室内和室外 UWB 应用的辐射限制

频率/MHz	室 内	室 外
	EIRP/dBm	EIRP/dBm
960 ~ 1 610	-75.3	-75.3
1 610 ~ 1 990	-53.3	-63.3
1 990 ~ 3 100	-51.3	-61.3
3 100 ~ 10 600	-41.3	-41.3
10 600 以上	-51.3	-61.3

传统的超宽带信号采用冲激无线电(Impulse Radio, IR)形式,它作为一种无载波通信技术,利用皮秒至纳秒级的非正弦波窄脉冲传输数据,从而具有极宽的带宽和很低的功率谱密度。使用冲激脉冲发射时,脉冲不需要载波调制,基带信号直接通过宽频带天线辐射出去。天线的共振频率决定冲激脉冲辐射部分的中心频率,天线作为带通滤波器可影响辐射信号的频谱形状。

由FCC对UWB的定义可知,UWB信号可以通过多种方式产生。目前比较受关注的是冲激无线电方式和多频带正交频分复用超宽带(MB-OFDM UWB)方式。

1.2 UWB 实现方式

1.2.1 冲激无线电

冲激无线电是指采用冲激脉冲（超短脉冲）作为信息载体的无线电技术。这种脉冲传输技术的特点是：采用纳秒或亚纳秒级脉冲承载信息，具有很高的时间分辨率和很强的抗多径性能，并可获得非常宽的带宽来传输数据。脉冲频谱范围从直流至 GHz，不需常规窄带调制所需的 RF 频率变换，脉冲成型后可直接送至天线发射。频谱形状可通过甚窄持续单脉冲形状和天线负载特征来调整。作为一种微功率设备，冲激无线电对功率的有效性具有较高要求。一般采用跳时与脉冲位置结合（TH-PPM）方案或直扩与二进制相移键控调制结合（DS-BPSK）方案。在数据高速传输的情况下，DS-BPSK 方式更具优势，所以现今多用 DS-BPSK 方式。它采用单/双频带方式或窄脉冲方式，多个传输任务可共享整个频带的频率。冲激无线电是 UWB 最早的实现方式，发展相对较为成熟。

1.2.2 MB-OFDM UWB

MB-OFDM UWB 是把分配给 UWB 系统的 7.5 GHz 频带划分成多个子频带，子频带可以是几个较大的频带，也可以是多个较小的频带。在 UWB 频谱范围内选择多个频点作为中心频率设定子频带，可以有效提高频带利用率。中心频率的选择可以通过一个伪载波振荡器来实现，振荡波的轮廓限定了脉冲波形。

这种多频带调制方式一方面可以有效地利用 FCC 定义的 7.5 GHz 带宽，因为恰当地选择多频带带宽可以确保完全利用整个频带；另一方面对于各个子频带可以分别处理，增加了 UWB 系统的灵活性。

1.3 UWB 特点及应用

1.3.1 UWB 特点

应用于无线通信领域的 UWB 是一种低功率的无线电技术。按照 FCC 在 2002 年向民用领域开放 UWB 时的定义，超宽带技术指的是信号相对带宽（即信号带宽与中心频率之比）不小于 0.2 或绝对带宽不小于 500 MHz，并使用指定的 3.1 GHz ~ 10.6 GHz 频段的通信方式。与其他传统的无线通信技术相比较，UWB 的技术特点主要有下列 5 点。

(1) 传输速率高

UWB 系统使用上千兆赫兹的超宽频带，所以即使把发送信号功率谱密度控制得很低，也可以实现高达 100 ~ 500 Mbps 的信息速率。根据香农信道容量公式，如使用 7 GHz 带宽，那么即使信噪比低至 -10 dB，理论信道容量也能达到 1 Gbps，因此实际中实现 100 Mbps 以上的速率是完全可能的。

(2) 通信距离短

随着传播距离的增加, 高频信号强度快速衰减, 因此使用超宽频带的系统更适合于进行短距离通信。理论分析表明, 当收发信机之间的距离大于 12 m 时, UWB 的信道容量低于传统的窄带系统。

(3) 平均发射功率低

在短距离应用中, UWB 发射机的发射功率通常可低于 1 mW, 这是通过牺牲带宽来换取的。FCC 规定 UWB 的发送信号功率谱密度必须低于美国放射噪声规定值 -41.3 dBm/MHz , 因此, 从理论上来说相对于其他通信系统 UWB 信号所产生的干扰仅相当于一个宽带白噪声。低功率谱密度带来的好处体现在两方面: 一是可使 UWB 系统与同频段的现有窄带通信系统保持良好共存性, 从而提高无线频谱资源的利用率, 缓解对日益紧张的无线频谱资源的需求; 二是使得 UWB 信号隐蔽性好, 不易被截获, 保密性高。

(4) 多径分辨率极高

由于 UWB 采用持续时间极短的窄脉冲, 其时间、空间分辨力都很强, 因此系统的多径分辨率极高 (1 ns 脉冲的多径分辨率为 30 cm), 接收机通过分集可以获得很强的抗衰落能力, 同时在进行测距、定位、跟踪时也能达到更高的精度。值得一提的是, 窄脉冲具有很强的穿透各种障碍物的能力, 如墙壁和地板, 因此 UWB 具有比红外通信更为广泛的应用。

(5) 适合于便携型应用

传统的 UWB 技术使用基带传输, 无需进行射频调制和解调, 使得 UWB 设备功耗小, 成本低, 灵活性高, 适合于便携型无线应用。

总之, UWB 的诸多优点来自于其使用了上 GHz 的传输带宽, 远远高于现有的 GSM、IS-95、3G 等通信系统。因此, UWB 的技术实现细节也与传统的窄带通信方式有很大区别。

1.3.2 UWB 应用

凭借着短距离传输范围内的高传输速率这一巨大优势, UWB 进军民用市场之初就将其应用定位在无线局域网 (WLAN) 和无线个域网 (WPAN)。现有的各种无线解决方案 (例如 3G、802.11、蓝牙等) 的速率均低于 100 Mbps, UWB 则在 10 m 左右的范围之内打破了这一限制。这样一种近距离的高速率通信通常是用有线连接来完成的, 而 UWB 的应用将使得人们可以摆脱线缆的牵绊, 通信因而变得更为方便。家中的台式计算机不再需要各种线缆分别连接显示器、打印机和扫描仪, 摄像机向电视机实时输送录像也可以借助高速率无线连接, 这将会给人们的生活带来极大的便利; 还可以用同样的技术来帮助警察搜寻隔墙的逃犯, 以及解救那些被围困在倒塌建筑物里面的人们, 甚至防止汽车相撞。类似的应用将会层出不穷, 远远超出人们目前的想像空间。就现在的发展趋势来推断, UWB 的应用将主要集中在以下几个方面。

① 各种移动设备之间的高速率信息传输, 例如 PDA、MP3、可视电话、3G 手机等设备之间的近距离点到点通信, 包括多媒体文件传输、游戏互动等。

② 桌面 PC 机、笔记本电脑、移动设备与各种外设之间的无线连接, 如与打印机、扫描仪、存储设备等的无线连接。

③ 数字电视、家庭影院、DVD机、投影机、数码相机、机顶盒等家用电子设备之间的可视文件和数据流的传输。

总之，UWB 定位于各种消费类电子设备和终端间的高速率无线连接。由于消费类电子设备很多，决定了 UWB 的应用将非常广泛。

1.4 UWB 与窄带系统的共存

1.4.1 UWB 与窄带通信系统间的干扰

由于 UWB 脉冲持续时间非常短，其频谱可能宽达数 GHz，理论上它对现存所有电子系统都会产生干扰。虽然 FCC 已对 UWB 的发射功率谱密度作出了严格的限制，但 UWB 系统对其他无线通信系统仍然存在潜在的威胁，同时 UWB 系统也将受到来自其他无线通信系统的干扰。总体来说，与 UWB 相互干扰的无线系统主要是：地面通信系统，如固定点对点系统、蜂窝通信和广播；GPS；卫星通信；无线电导航或探测系统；工作在 ISM，UJI 波段的系统，如 802.11a，802.11b，Bluetooth 等；其他业余无线电。

关于 UWB 系统与其他窄带系统的共存问题，目前研究最多的主要有以下几个方面。

① 由于 GPS 本身的信号特别的微弱，因此一直以来成为与 UWB 共存最受关注的对象之一。

② IEEE 802.11a 占用的频带刚好在 FCC 规定的 UWB 频带内，UWB 的功率被限制在 -41.3 dBm 以下，即使如此，该功率与 802.11a 设备的功率也是可比拟的。UWB 系统对来自占用同一频段的干扰非常敏感，WLAN 和 UWB 设备的数目和位置等都会对 UWB 系统性能产生影响。

③ 蜂窝移动的频段虽然不在 FCC 规定的 UWB 的使用频段 (3.1 GHz \sim 10.6 GHz) 内，然而基于窄脉冲的 UWB 系统实际的功率谱是分布在整个频段上的，因此两者之间的干扰问题也是当前研究的重点。

1.4.2 克服 UWB 与窄带通信系统干扰的措施

与其他系统的干扰已经严重制约了 UWB 技术的发展，近年来人们从时域、频域、功率、空间和编码等方面试图解决 UWB 与其他系统的相互干扰问题。具体而言，可以通过优化脉冲波形设计、功率控制、编码与自适应信号处理、时分复用和 DAA 等方式来考虑 UWB 与其他系统的共存。

(1) 脉冲波形设计

简单地采用高斯脉冲、Rayleigh 脉冲及它们的高次阶脉冲，其能量主要集中在某段频谱上，不能充分挖掘 UWB 的潜力。新的脉冲波形设计既要符合 FCC 的功率限制并尽可能逼近 FCC 规定的功率最大限，同时也要考虑到与其他系统的共存问题。很多解决思路都与软频谱自适应 (SSA) 设计方案接近，即在时域上设计一组脉冲波形，每个脉冲波形能高效率地匹配上目标功率谱形状的一部分，再通过组合脉冲合成不同的功率谱形状，即使将来 FCC 更改了谱形，也很容易修改设计，同时也提供了动态回避窄带干扰的可能。

(2) 陷波设计

通过脉冲波形设计来回避对其他无线系统的干扰, 这种方案最终实现的复杂度很高。另一种常用的思路是采用陷波设计, 但是该方案也会给系统实现造成额外的开销, 更为直接的方法是在超宽带天线上实现带陷功能。

(3) 平滑 PSD

UWB 信号的带宽是由单脉冲的波形和宽度决定的, 然而在连续发射信号时, 如前所述 UWB 信号反映在频域上有很强的离散谱, 当脉冲重复频率 (PRF) 很高, 并且没有采用抖动技术的时候, 会对窄带接收机产生严重干扰。通过扩频技术可以适当地解决尖锐离散谱问题。无论 TH-SS 或 DS-SS, 优良的码序列可以使脉冲位置更加趋于随机化, 削弱 UWB 信号功率谱中的离散分量, 从而降低对窄带系统的干扰。除了扩频, 对于以固定的 PRF 发射而产生严重离散谱的脉冲, 可以通过改变 PRF 来平滑 PSD。

(4) 窄带干扰抑制算法

在宽带通信发展的过程中。人们一直在考虑窄带干扰抑制问题。例如, 相对宽带 CDMA 而言, 在一段时期内可将其共存的 GSM 等系统所带来的干扰视为窄带干扰。针对 CDMA 系统窄带干扰的解决方案大部分集中于两个思路, 一是设计解扩前的带阻滤波器, 二是采用特殊的解扩算法。由于 UWB 不是以奈奎斯特速率采样, 所以一般情况下采用数字带阻滤波器不太现实, 更倾向于采用模拟陷波器来解决。因此现有的有关 UWB 干扰抑制的文章更多的是基于后者。

传统的 Rake 接收机可以进行有效的多径合并, 但是对于窄带干扰的抑制作用很弱。在接收端可以借鉴先进的自适应滤波器等信号处理的思路来达到窄带干扰抑制及多址干扰抑制的效果。另外也可以采用干扰抵消的方法在一定程度上减轻其他窄带干扰对 UWB 的影响。

传统的干扰解决方案是在空间或频率上将两者分离。因此, 常常会人为地强制限制发射机的有效功率, 从而使干扰最小化。这种方法排除了时间上或是空间上的动态频率复用。而且, 所有的自由频段已经被多次分配, 新的空闲频率并不容易获得, 因此无线网络的发展趋势将是所有新的频率使用者都将被视为次要使用者, 而且必须探测并避开主要使用者。这就需要采用 DAA 技术。

DAA (Detect And Avoid) 技术是一种集检测与避免于一体的新技术, DAA 没有从频谱出发考虑共存问题, 而是通过时域上避免相互冲突来实现减少干扰。DAA 技术实现方式并不唯一, 但遵循统一的步骤: ① 检测信道; ② 判断信道状态; ③ 确定 UWB 工作状态。DAA 的关键在于判断信道状态。DAA 技术一般通过调整 UWB 发射功率及数据率来避免对现有窄带无线通信系统造成的干扰。未来 UWB 网络必须应用一种自适应检测技术来避免干扰, 而 DAA 将会成为首选方案。

小 结

本章对 UWB 技术进行了概述, 介绍了 UWB 的背景、发展历史、定义、频谱规划、实现方式、两种标准方案、技术特点和应用前景, 同时详细阐述了 UWB 与其他窄带通信系统间的干扰问题, 以及当前克服干扰的各种措施。可以看出: UWB 技术是未来近距离无线通信, 尤其是无线个域网、传感器网络等领域很具发展潜力的一种技术。

第2章 UWB 信道

2.1 电波传播基本原理

2.1.1 电波传播基本理论

UWB 技术是短距离无线通信的一种，而无线通信依赖于电波的传播特性，因此，掌握电波传播特性对于 UWB 无线传输技术的研究、开发和系统设计具有十分重要的意义。一般地，无线通信的信道是指基站天线、用户天线和两副天线之间的传播路径。从某种意义上来说，对无线电波传播特性的研究就是对无线信道特性的研究。无线信道的基本特性是衰落特性。这种衰落特性取决于无线电波的传播环境，不同的传播环境其传播特性也不尽相同。复杂的传播环境导致了复杂的信道特性。一般来说，无线电波传播环境包括地貌、人工建筑、气候特征、电磁干扰情况、通信台移动速度情况和使用的频段等。无线电波在此环境下传播表现出了几种主要传播模式：直射、反射、绕射和散射及它们的合成。无线通信中常用的几种传播模式如图 2.1 所示。

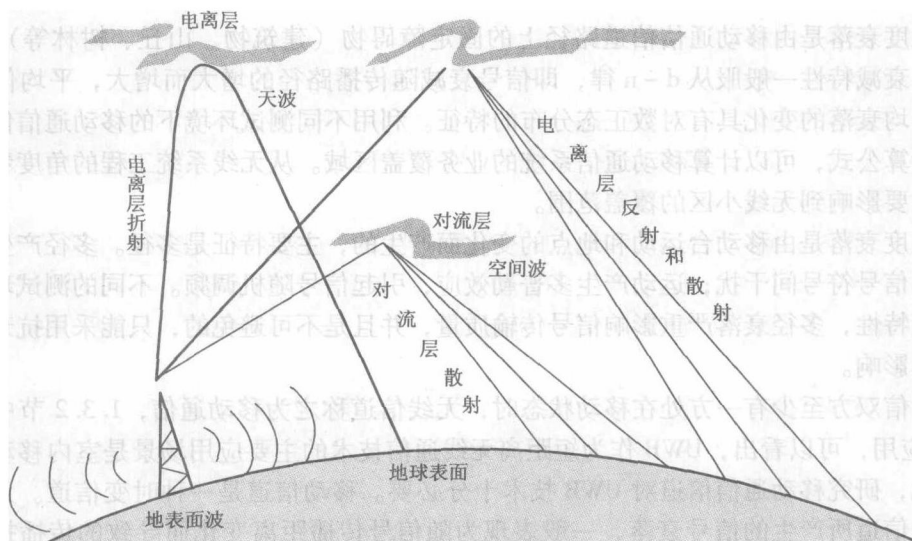


图 2.1 电波传播模式

无线电波依传播模式不同分为 3 种形式：空间波、地表面波和天波。

① 空间波：在大气对流层中进行传播的电波模式称为空间波。在传播过程中，电波会发生折射、散射等现象。

② 地表面波：沿地球表面进行传播的电波模式是地表面波。

③ 天波：利用电离层的折射、反射和散射作用进行传播的电波称为天波。这种电波传播模式可将电波传送到数千里以外。

通常人们在分析研究无线信道时，常常将无线信道电波传播模型分为大尺度传播模型和小尺度传播模型。大尺度模型主要是用于描述发射机与接收机 (T-R) 之间的长距离 (几百或几千米) 信号强度的变化。小尺度模型用于描述短距离 (几个波长) 或短时间 (秒级) 内信号强度的快速变化。由大尺度和小尺度传播引起的信号衰落分别称为大尺度衰落和小尺度衰落。两种衰落并不是独立的，在同一个无线信道中既存在大尺度衰落，也存在小尺度衰落，如图 2.2 所示。一般而言，大尺度衰落表征了接收信号在一定时间内的均值随传播距离和环境的改变而呈现的缓慢变化，小尺度衰落表征了接收信号短时间内的快速波动。

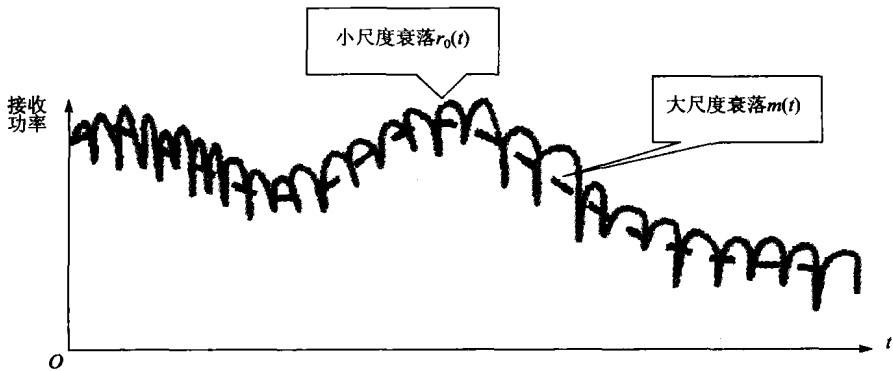


图 2.2 无线信道中的大尺度和小尺度衰落

大尺度衰落是由移动通信信道路径上的固定障碍物 (建筑物、山丘、树林等) 的阴影引起的，衰减特性一般服从 $d-n$ 律，即信号衰减随传播路径的增大而增大，平均信号衰落和关于平均衰落的变化具有对数正态分布的特征。利用不同测试环境下的移动通信信道的衰落中值计算公式，可以计算移动通信系统的业务覆盖区域。从无线系统工程的角度看，传播的衰落主要影响到无线小区的覆盖范围。

小尺度衰落是由移动台运动和地点的变化而产生的，主要特征是多径。多径产生时间扩散，引起信号符号间干扰；运动产生多普勒效应，引起信号随机调频。不同的测试环境有不同的衰落特性，多径衰落严重影响信号传输质量，并且是不可避免的，只能采用抗衰落技术来减少其影响。

当通信双方至少有一方处在移动状态时，无线信道称之为移动通信，1.3.2 节中介绍了 UWB 的应用，可以看出，UWB 作为短距离无线通信技术的主要应用场景是室内移动通信场景，因此，研究移动通信信道对 UWB 技术十分必要。移动信道是一种时变信道。无线电波通过这种信道所产生的信号衰落，一般表现为随信号传播距离变化而导致的传播损耗和弥散。由于传播环境中的地形起伏、建筑物及其他障碍物对电磁波的遮蔽所引起的衰落，一般称为阴影衰落 (大尺度衰落)；无线电波在传播路径上受到周围环境中地形地物的作用而产生的反射、绕射和散射，使得其到达接收机时成为从多条路径传来的多个信号的叠加信号，引起信号幅度、相位和到达时间的随机变化，而导致的衰落称为多径衰落。

另外，移动台在电波传播路径方向上的运动将使接收信号产生多普勒 (Doppler) 效应，