

<http://www.phei.com.cn>



现代通信网实用丛书

超宽带 隐蔽通信技术

王鹏毅 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代通信网实用丛书

超宽带隐蔽通信技术

王鹏毅 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统阐述了超宽带隐蔽通信技术的实现方法。首先给出了超宽带通信系统的体系框架，然后针对超宽带通信的各项关键技术的实现方法进行了逐一论述，主要包括超宽带信号产生、信息调制、发射信道、空间传播、接收信道、信号捕获、精密跟踪和信息解调等多个环节，另外还对超宽带高速通信、多用户工作和阵列信号处理等实现方法进行了论述，最后给出了相关实物图片及样机试验波形和数据结果。

本书系统性强，与工程实现结合紧密，涉及超宽带通信实现的主要技术瓶颈和解决方法，可供电子通信领域的研究生和通信工程技术人员等参考，尤其对从事超宽带工程实现的研究人员有一定帮助。

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

超宽带隐蔽通信技术 / 王鹏毅著. —北京: 电子工业出版社, 2011.10

(现代通信网实用丛书)

ISBN 978-7-121-14784-5

I. ①超… II. ①王… III. ①宽带通信系统 IV. ①TN914.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 206088 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

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: 787×980 1/16 印张: 19 字数: 422 千字

印 次: 2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 58.00 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。

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

服务热线: (010) 88258888。

出版前言

通信行业正处在一个新的转折时期，无论是技术、网络、业务，还是运营模式都在经历着一场前所未有的深刻变革。从技术的角度来看，电路交换技术与分组交换技术趋于融合，其主要体现为语音技术与数据技术的融合、电路交换与分组交换的融合、传输与交换的融合、电与光的融合。这将不仅使语音、数据和图像这三大基本业务的界限逐渐消失，也将使网络层和业务层的界限在网络边缘处变得模糊，网络边缘的各种业务层和网络层正走向功能乃至物理上的融合，整个网络将向下一代融合网络演进，终将导致传统电信网、计算机网和有线电视网在技术、业务、市场、终端、网络乃至行业运营管理和政策方面的融合。从市场的角度来看，通信业务的竞争已达到了白热化的程度，各个通信运营商都在互相窥视着对方的传统市场。从用户的角度来看，各种新业务应运而生，从而使用户有了更多、更大的选择空间。但无论从那个角度，在下一代的网络中，我们将看到三个世界：从服务层面上，看到一个 IP 的世界；从传送层面上，看到一个光的世界；从接入层面上，看到一个无线的世界。

在 IT 技术一日千里的信息时代，为了推进中国通信业的快速、健康发展，传播最新通信网络技术，推广通信网络技术与应用实践之经典案例，我们组织了一些当今正站在 IT 业前沿的通信专家和相关技术人员，以实用技术为主线，注重实际经验的总结与提炼，理论联系实际，策划出版了这套面向 21 世纪的《现代通信网实用丛书》。该丛书凝聚了他们在理论研究和实践工作中的大量经验和体会，以及电子工业出版社编书人的心血和汗水。丛书立足于现代通信中所涉及的最新技术和成熟技术，以实用性、可读性强为其自身独有特色，注重读者最关心的内容，结合一些源于通信网络技术实践的经典案例，就现行通信网络的结构、技术应用、网络优化及通信网络运营管理方面的问题进行了深入浅出的翔实论述。其宗旨是将通信业最实用的知识、最经典的技术应用案例奉献给业界的广大读者，使读者通过阅读本套丛书可得到某种启示，在日常工作中有所借鉴。

本套丛书的读者群定位于 IT 业的工程技术人员、技术管理人员、高等院校相关专业的高年级学生、研究生，以及所有对通信网络运营感兴趣的人士。

在本套丛书的编辑出版过程中，我们得到了业界许多专家、学者的鼎力帮助，丛书的编著者们为之付出了大量的心血，对此，我们表示衷心的感谢！同时，也热切欢迎广大读者对本套提出宝贵意见和建议，或推荐其他好的选题（E-mail: mariams@phei.com.cn），以帮助我们在未来的日子里，为广大读者及时推出更多、更好的通信网络技术类优秀图书。

电子工业出版社

2005 年 1 月

序

通常定义带宽在 500 MHz 以上或带宽占其中心频率 20% 以上的信号称为超宽带信号，简称为 UWB。超宽带技术是过去数年中无线通信领域涌现出的一个具有巨大发展潜力的技术。它与常规的无线通信技术不同，使用极窄的冲激脉冲（极宽的带宽）进行信息调制传输，脉冲的宽度一般为纳秒量级，从而具有吉赫兹量级的带宽。该技术具有高性能、低功耗和低成本的无线数据通信能力，是未来富有竞争力的技术之一。

超宽带（Ultra Wideband, UWB）通信的最早历史可以追溯到 1894 年马可尼发明的第一个无线通信系统，当时马可尼采用的火花隙脉冲信号就属于超宽带信号。之后，随着窄带载波通信技术的发展和广泛应用，无载波 UWB 通信技术陷入了沉寂。直到 20 世纪 60 年代，随着 UWB 技术在雷达和定位系统中的应用，才开始出现了现代意义上的 UWB 技术研究。

从 20 世纪 90 年代中期以来，美国研制了多种超宽带无线电通信、雷达、成像和高精度定位系统，以及通信 / 定位和通信 / 雷达等具有综合功能的超宽带系统。作为军队和政府部门专用设备的超宽带无线电系统已得到实际应用。

2002 年 2 月，超宽带无线技术首次获得了美国联邦通信委员会（FCC）的批准而用于民用通信，从而引起了世界各国的广泛关注。自 FCC 批准超宽带无线通信用于民用以后，超宽带无线通信技术研究就被许多国际知名大公司所重视，成了研究的热点。

我国也非常重视这项革命性的技术，在 2001 年 9 月初发布的“十五”863 计划通信技术主题研究项目中，把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。2008 年 863 计划支持并开展了“超宽带无线通信系统研发与应用示范”研究。

UWB 技术独特的信号调制方式，使得它具有不同于其他技术的固有特点：① 信号频谱密度低、隐蔽性好，属于低截获 / 探测信号（LPI/D）；② UWB 信号采用极窄脉冲，大大提高了时间分辨率，可显著提高抗多径衰落的能力，并能提高扩频处理增益；③ UWB 技术应用在定位和测距中，由于脉冲宽度为纳秒级至皮秒级，将可使测距定位精度达到厘米级；④ UWB 的基带传输特性使它具有很好的穿透性，可以用于军事和紧急救援中的特殊通信手段或探测 / 定位雷达；⑤ 如果采用基带传输，UWB 发射机和接收机结构都相对简单，而且可以采用全数字化设计，从而降低了成本，提高了灵活性；⑥ 超宽带跳时扩频体制可使更多用户工作，方便大容量用户组网；⑦ 占用宽的带宽，有利于超宽带扩频高速通信传输；⑧ UWB 通信同时可完成高精度定位。正是由于上述特点，超宽带技术的研究有着十分重要的意义。

超宽带通信是近几年发展起来的新技术，国内理论研究文献很多，但有关实际工程实现技术方法的书籍和文献极少。随着超宽带通信技术的迅速发展，国内技术人员不仅需要了解超宽带的概念和理论，更需要学习超宽带工程实现的技术方法。中国电子科技集团公

司第五十四所研究员王鹏毅博士带领的研究小组在我国较早地开展了超宽带通信系统实现研究，在系统工程应用方面有较强的技术突破，为了推动超宽带技术在我国的应用，受电子工业出版社之约，王鹏毅博士特编写了本书。

本书作者从 2002 年起，就开始从事超宽带技术的研究，撰写了超宽带研究相关的文献和报告 20 多篇，曾经带领 CETC54th 超宽带通信技术研究团队，主持了总装“十五”和“十一五”多项预研技术研究，参加了 2008 年开始的“超宽带无线通信系统研发与应用示范”等国家 863 相关项目总体工作。

本书是作者多年来在该领域的科研工程实践及科研成果的结晶，其最大特点是：首次在国内比较系统和完整地介绍了超宽带通信系统的工程实现方法。

本书包括超宽带通信的体制架构、信号产生、调制、解调、捕获、精密跟踪、多用户工作、高速数据传输、信道色散设计、超宽带天线设计和应用及超宽带阵列信号处理等超宽带工程实现的各个环节，书中对关键技术理论及其工程实现方法进行了详细介绍，并给出了作者在超宽带样机工程试验中的大量试验数据和样机试验图片。本书逐一论述了超宽带通信技术实现的关键环节和技术瓶颈，所论述内容系统性强，实现理论方法新颖，与工程实现联系紧密。

感谢孙玉院士和五十四所科技委对本书出版的支持和资助。希望本书的成功出版，不仅在超宽带通信理论体系框架方面，更重要的是在实际工程实现方面，能带给电子通信领域的技术研究人员和相关院校师生一些新的启发和思考，尤其是能为从事超宽带工程实现的研究人员提供强有力的帮助。

姚奇松

中国电子科技集团公司第五十四研究所 研究员

2011 年 10 月

前 言

超宽带 (UWB) 机理是利用脉冲冲激调制, 形成扩频超宽带信号进行信息传输。美国从 20 世纪 90 年代中期以来, 研制了多种超宽带无线电通信、雷达、成像和高精度定位系统, 超宽带无线电系统作为军用设备已得到实际应用。目前, 商用和军用都对通信系统的信息安全提出了更高的要求, 超宽带信号功率远小于热噪声, 可以进行隐蔽传输, 具备较强的抗干扰和抗截获能力, 其多用户通信无线入网可具备入网认证和身份识别功能。这种通信体制具备很强的信道安全能力, 它和其他信息加密综合应用, 能够满足很高的信息安全要求。所以, 研究超宽带的通信技术具有重要的商用和军用价值。

本书是作者根据多年来在该领域的科研工程实践及科研成果, 结合国外的相关技术文献, 经过分析整理而撰写的, 主要介绍了超宽带信号的通信理论和工程实现技术, 包括超宽带通信体制架构, 超宽带信号的产生及工程实现方法, 超宽带信号的调制方式, 超宽带信号的解调实现方法, 超宽带信号的捕获方法, 超宽带信号的精密跟踪体制, 无线局域网及超宽带多用户工作, 超宽带高速数据传输技术研究, 超宽带信道色散影响和设计, 超宽带天线的设计和应用, 超宽带阵列信号处理, 超宽带信号的空间传播研究等相关内容。其中对关键理论进行了计算和仿真, 并结合理论和仿真内容介绍了作者在超宽带样机工程试验中的一些数据和试验图片。本书的具体内容如下:

第 1 章 主要分析了超宽带通信的背景, 介绍了超宽带通信的发展过程和国内外研究情况, 对超宽带的潜在优点和用途进行了归纳和总结。

第 2 章 给出了超宽带通信系统的组成、架构和工作机理, 包括超宽带通信系统的体制分类、信号形式及调制和解调等基本实现过程和实现过程; 对超宽带接收性能进行了计算和分析, 并给出了接收工程实现的示意框图; 指出了实现超宽带通信的主要关键技术环节和实现难点。

第 3 章 介绍了 UWB 脉冲定义和冲激序列的数学模型, 给出了 UWB 模拟产生和数字产生等多种实际工程实现方法, 介绍了高功率超宽带脉冲的实现方法和工程实现案例。其中模拟方法产生脉冲方法简单一些, 但脉冲形状和宽度控制不灵活, 适用于要求不高的情形; 数字方法产生的脉冲形状和宽度方便控制, 虽然方法稍复杂一些, 但带来了使用的方便性和灵活性。

第 4 章 介绍了常用的超宽带调制方式, 并对它们的性能和特点进行了比较。简要介绍了超宽带多载波调制的特点, 并给出了典型案例设计参数和 CETC54th 的实际调制波形频谱案例。在实际应用中, 可以根据上述基本调制方式进行灵活变通和应用。

第 5 章 从工程设计和应用角度出发, 针对常用解调体制的工程实现方法进行分析论证, 给出了各种不同解调方法的解调性能及它们之间的性能对比; 主要包括简单接收解调方案、传输参考解调方案、模拟匹配滤波解调实现方案和全数字匹配滤波解调实现方案。

最后给出了 CETC54th 的接收解调案例。

第 6 章 讨论了 UWB 信号捕获的主要性能指标,给出了多种 DS-UWB 信号的捕获方法,每种方法都有各自的特点和使用条件。串行捕获方法设计简单,但所需捕获时间长。非相干捕获方法,虽然捕获时间短,但信号检测有损失,只适用于信噪比较高的情况。发射辅助脉冲信号的捕获方法减少了需要搜索的脉冲相位空间,因此缩短了脉冲平均捕获时间,在伪码序列较长,脉冲占空比较低时,该方法优势明显。

第 7 章 对高动态情况下时变超宽带信号的捕获跟踪进行了研究。在高动态时变超宽带信号的捕获跟踪方面,针对超宽带时变信号提出了时变模板的概念和矩阵相关的方法,建立了基于分数阶域的超宽带时-频联合匹配滤波的框架,解决了超宽带时变信号的检测问题,能够满足超宽带高动态特种情况的捕获应用要求。

第 8 章 对超宽带信号精密跟踪体制进行了研究,提出了一种应用于超宽带冲激脉冲早迟跟踪环路的实现方法。通过对高斯白噪声下的环路跟踪精度和性能进行理论计算,给出了超宽带时延测量精度的理论值;分析并仿真了实际工程中影响跟踪精度的多项因素,表明跟踪误差均方值与脉冲宽度成正比,与环路输出信噪比成反比。当存在多普勒频率时,环路带宽越宽,环路锁定速度越快,同时,环路对噪声抑制能力越差。在实际情况下,要根据输入信噪比的大小,适当选择环路带宽。

第 9 章 主要介绍了无线局域网的相关标准协议,对无线局域网的结构和组成要素进行了描述。针对中远距离的多用户测控问题,提出了多种超宽带多目标隐蔽通信体制,给出了 DS-UWB, TH-PPM 和 TH-PAM 三种多用户组网工作信号体制,并对这些信号的产生、调制和相干捕获方法进行了描述,对多目标测控传输的误码率进行了工程计算;提出了多目标超宽带载波二次调制工作信号形式,并对该信号捕获解调进行了计算分析,对该信号的多用户定位精度进行了计算分析;提出了超宽带多目标测控网络拓扑结构,并对其工作过程进行了分析。

第 10 章 对超宽带高速数据传输技术进行了研究,提出了超宽带多个伪码和多个正交 Walsh 函数并行调制传输的两种方法。分析表明,采用并行传输可以有效提高超宽带系统的传输速率,降低码间干扰和实际工程处理难度。然后比较了这两种方法的优缺点,对相关性能进行了讨论。最后给出了 CETC54th 超宽带高速并行传输的实际试验波形图片。

第 11 章 超宽带信道包括发射信道和接收信道两类信道,本章通过仿真和实际测试相结合的方法,对超宽带收、发信道部件的传输色散影响进行了详细仿真和分析,对实际工程实现的收、发部件性能进行了测试,结合仿真结果对超宽带信道对信号传播的影响进行了评估和分析。表明 CETC54th 研制的实际部件在色散影响方面对解调损失的影响低于 0.3 dB,能够满足超宽带远距离传输的需求。

第 12 章 给出了超宽带天线设计的基本方法;结合 CETC54th 实际应用情况,给出了适用于短距离通信的超宽带全向天线的设计实例;还给出了适于远距离超宽带传输的定向天线设计的基本方法,并对 CETC54th 的天线实例和实测性能进行了介绍。这些技术方法

可为超宽带通信天线的设计提供参考。

第 13 章 从传统阵列信号分析入手，对超宽带扩频信号的阵列信号合成进行了详细研究，提出了超宽带阵列处理的基本框架，给出了一种自适应 UWB 阵列信号处理的方法，可以解决时延控制精度受限等工程实际问题；本章还采用数学方法，推导证明了阵列系统的时延测量精度是各阵元时延测量精度的统计平均值，并对阵列抗干扰能力进行了分析。

第 14 章 对超宽带信号的空间信号传输进行了理论分析。在室外复杂移动环境下，由于 UWB 的大带宽特性，传统的窄带航空信道的特性并不适合 UWB 应用。就超宽带的多径传输分双径模型和多径模型进行了仿真和分析，建立了高速移动环境下的超宽带信号尺度-时延信道模型，给出了多径传输的 Rake 接收架构。各种情况的仿真和分析表明，超宽带系统的空间传播抗多径性能明显优于传统扩频通信的传输性能，比较适合复杂的多径环境下的信息传输。

第 15 章 对 CETC54th 自主研发的超宽带试验硬件平台样机案例进行了简单的介绍。主要内容包括试验系统组成、样机平台实现的超宽带信号的产生、调制和解调技术，给出了实物、实测频谱和波形的相关照片或数据。这些超宽带的实现方法具有自主知识产权。

超宽带通信是近几年发展起来的崭新技术，理论研究文献很多，但描述实际工程实现技术方法的文献极少。随着超宽带通信技术的迅速发展，国内技术人员不仅需要了解超宽带的概念和理论，更需要获得超宽带实现的技术方法。本书是作者对近年来所承担的多项与国家“十一五”超宽带通信相关的预先研究和基金项目研究的总结，书中逐一论述了超宽带通信技术实现的关键环节和技术瓶颈，所论述内容系统性强，实现理论方法新颖，与工程实现联系紧密。

本书由王鹏毅著，参与编写工作的还有王西夺、段旭、成亚勇、王丽韞、裴培和杨建永。在本书的撰写过程中，要特别感谢中国电子科技集团公司第 54 研究所副所长韩玉辉、孙玉院士、周祥生副总工程师、刘云飞副总工程师和文运丰副总工程师，感谢他们对本书编著工作的大力支持，感谢 54 所的同事在超宽带项目研究期间的帮助。另外还要一并感谢北京邮电大学杨义先教授、西北工业大学王永生教授和北京理工大学刘庸博士对作者所研究内容的指导和帮助。最后感谢电子工业出版社宋梅编辑为本书出版所做的大量细致的工作。

超宽带技术发展日新月异，由于作者水平有限，文中难免有遗漏、错误和不足之处，恳请同行和读者批评指正。

作 者
2011 年 10 月

目 录

第 1 章 概述	1
本章导读	2
1.1 背景	2
1.2 国内外发展动态.....	3
1.2.1 超宽带的由来和发展.....	3
1.2.2 UWB 的开发现状	4
1.2.3 UWB 的普及与标准化.....	4
1.2.4 国外的军事用途研究现状.....	5
1.2.5 国内研究现状.....	6
1.3 超宽带通信系统的特点.....	6
参考文献	8
第 2 章 超宽带通信体系框架	11
本章导读	12
2.1 超宽带系统典型组成.....	12
2.2 有无载波的超宽带系统.....	13
2.2.1 有无载波调制的超宽带系统频谱结构.....	13
2.2.2 无载波调制的超宽带体系架构.....	13
2.2.3 单载波调制的超宽带体系架构.....	14
2.2.4 有无载波调制超宽带系统的特点.....	15
2.3 超宽带系统收、发处理基本原理.....	15
2.3.1 超宽带信号产生.....	16
2.3.2 超宽带信号的典型调制.....	16
2.3.3 超宽带信号的接收、解调典型方案.....	19
2.4 超宽带工作频段分配.....	20
2.4.1 宽频段的频率分配方案.....	20
2.4.2 窄频段的频率分配方案.....	21
2.4.3 频带使用说明.....	22
2.5 超宽带系统工程设计的关键技术瓶颈.....	22
2.6 小结.....	24
参考文献	24

第 3 章 超宽带脉冲信号的工程实现方法	27
本章导读	28
3.1 概述	28
3.2 超宽带单脉冲信号定义	28
3.2.1 超宽带瑞利单脉冲	28
3.2.2 超宽带高斯单脉冲	29
3.3 超宽带信号的冲激脉冲序列	31
3.4 超宽带脉冲的模拟电路产生方法	32
3.4.1 阶跃恢复二极管产生方法	32
3.4.2 隧道二极管产生方法	34
3.4.3 雪崩三极管产生方法	35
3.5 超宽带脉冲的数字电路产生方法	36
3.5.1 简单直流 UWB 脉冲设计方法	36
3.5.2 UWB 直流脉冲的双极性化改进方法	37
3.5.3 最简易数模结合的双极性 UWB 脉冲设计方法	37
3.5.4 脉冲周期和宽度可控的 UWB 双极脉冲产生方法	38
3.5.5 UWB 脉冲参数可控性探讨	39
3.5.6 国外典型的数字 UWB 双极脉冲产生方法	39
3.6 特殊用途的大功率高压超宽带脉冲产生简介	40
3.7 实际 UWB 脉冲波形产生案例	42
3.8 小结	43
参考文献	44
第 4 章 超宽带信号的一般调制方式	45
本章导读	46
4.1 概述	46
4.2 超宽带脉冲序列的数据调制	46
4.2.1 基于幅度的调制	46
4.2.2 基于时延相位调制	48
4.2.3 实用的几种复合调制体制	49
4.2.4 几种主要调制体制比较	53
4.3 多载波的调制方式简介	53
4.3.1 CI-UWB 信号系统及其特点	54
4.3.2 FH-UWB 系统及其特点	55
4.3.3 OFDM-UWB 系统及其特点	55

4.4 典型案例设计参数	56
4.4.1 DS-UWB 典型案例参数	56
4.4.2 OFDM-UWB 典型案例参数	56
4.5 CETC54 th 超宽带信号调制波形实例	57
4.6 小结	59
参考文献	59
第5章 超宽带信号解调工程实现方法	61
本章导读	62
5.1 概述	62
5.2 超宽带接收解调方法的应用分类	62
5.2.1 简单的短距离通信接收方案	62
5.2.2 传输参考的超宽带信号解调方案	63
5.2.3 基于模拟相关器匹配滤波的实现方案	65
5.2.4 基于全数字化的匹配相关接收处理方案	66
5.3 非均匀采样理论和超宽带信号并行数字采样	66
5.3.1 超宽带信号的并行采样	66
5.3.2 非均匀采样信号的频谱分析	67
5.3.3 实际实现考虑	69
5.4 主要调制信号形式的解调性能	70
5.5 CETC54 th 模拟相关器解调实现案例	72
5.6 小结	73
参考文献	73
第6章 超宽带信号捕获方法研究	75
本章导读	76
6.1 概述	76
6.2 超宽带脉冲信号捕获的数学内涵	76
6.3 UWB 脉冲捕获的主要指标	78
6.3.1 检测概率	78
6.3.2 虚警概率	79
6.3.3 平均捕获时间	79
6.4 超宽带通信脉冲序列的捕获特点分析	79
6.5 超宽带脉冲信号捕获的一般实现方法	80
6.5.1 基于 UWB 脉冲本地信号扫描的简单捕获方法	80
6.5.2 基于数字化判决的捕获方法	81

6.6	串行捕获方案及其性能分析	83
6.6.1	有用信号和噪声分析	84
6.6.2	高斯噪声下系统检测概率、虚警概率和漏检概率	85
6.6.3	系统平均捕获时间	87
6.6.4	基于串行捕获方案的仿真	88
6.6.5	虚警概率与门限的设定	89
6.6.6	脉冲平均捕获时间	89
6.6.7	脉冲部分对齐对检测概率的影响	91
6.7	基于伪码和 UWB 脉冲分离的非相干快速捕获方法	93
6.7.1	复合信号形式简介	93
6.7.2	伪码复合脉冲冲激信号的快速捕获方法	94
6.7.3	非相干处理应用说明	98
6.8	辅助脉冲序列快速捕获方法	98
6.8.1	辅助脉冲序列捕获方法原理	99
6.8.2	性能分析	100
6.8.3	辅助脉冲序列方法检测概率仿真	101
6.8.4	脉冲平均捕获时间性能仿真	103
6.9	小结	105
	参考文献	105
第 7 章	高动态超宽带信号的捕获	107
	本章导读	108
7.1	概述	108
7.2	超宽带冲激信号的时变形式	108
7.3	时变、非时变超宽带信号的捕获方法	109
7.3.1	非时变超宽带信号的捕获方法	109
7.3.2	时变超宽带信号的捕获方法	109
7.4	超宽带调制载波相位时变的捕获	111
7.4.1	信号的时频分布	111
7.4.2	时 / 频信号的分数阶滤波	112
7.4.3	时变超宽带信号的捕获	114
7.5	超宽带时变信号情况的进一步讨论	115
7.6	小结	116
	参考文献	116

第 8 章 超宽带信号精密跟踪体制研究	117
本章导读	118
8.1 概述	118
8.2 伪码调制脉冲的自相关函数	118
8.3 脉冲序列跟踪原理	119
8.4 跟踪环路分析	122
8.4.1 跟踪模型	123
8.4.2 频率偏移影响	125
8.4.3 时间抖动影响	126
8.4.4 噪声的影响	126
8.4.5 环路滤波器系数的选择	127
8.5 跟踪系统仿真试验	127
8.5.1 没有频率偏移时的脉冲跟踪仿真	127
8.5.2 有频偏时的脉冲跟踪	131
8.5.3 系统跟踪和数据解调联合仿真	132
8.6 小结	135
参考文献	135
第 9 章 无线局域网及超宽带多用户工作	137
本章导读	138
9.1 概述	138
9.2 无线局域网简介	138
9.2.1 无线局域网相关标准	139
9.2.2 WLAN 的结构	140
9.2.3 无线局域网部件和组网结构	141
9.2.4 基于 UWB 的民用组网方案	142
9.3 基于 DS-UWB 的超宽带多用户体制研究	143
9.3.1 DS-UWB 信号接收模型	143
9.3.2 多用户码介绍	145
9.3.3 超宽带多用户解调	148
9.3.4 系统性能仿真分析	150
9.4 基于超宽带 TH-PPM 调制的多用户体制研究	153
9.4.1 多用户信息的调制形式	153
9.4.2 多用户组网信号直接接收性能	154
9.4.3 多用户组网信号载波调制和下变频接收	156

9.5 TH-PAM 超宽带多用户体制研究	157
9.5.1 概述	157
9.5.2 TH-PAM 信号多用户信息的调制形式	157
9.5.3 TH-PAM 多用户组网信号接收性能分析	158
9.5.4 TH-PAM 多用户组网信号定位性能分析	160
9.6 超宽带测控系统无线组网	161
9.7 小结	162
参考文献	162
第 10 章 超宽带高速数据传输研究	165
本章导读	166
10.1 引言	166
10.2 超宽带冲激信号的直接调制传输	166
10.3 基于多伪码调制的并行传输	167
10.3.1 多伪码并行超宽带信号的调制发射	167
10.3.2 多伪码并行超宽带信号的接收解调	168
10.3.3 多伪码并行传输的性能分析	169
10.4 基于正交 Walsh 函数调制的多用户高速并行传输	170
10.4.1 Walsh 正交码并行传输方法	170
10.4.2 Walsh 正交码并行传输信号接收性能	171
10.4.3 Walsh 正交码并行多用户信号传输	172
10.5 比较	173
10.6 CETC54 th 高速并行传输试验	173
10.7 小结	174
参考文献	175
第 11 章 超宽带信道的色散影响和设计	177
本章导读	178
11.1 超宽带信道的内涵和作用	178
11.2 超宽带信道的特点	178
11.3 超宽带传输信道的典型组成模型	178
11.4 超宽带传输信道的色散特性仿真	179
11.4.1 系统仿真思路	179
11.4.2 系统仿真试验	180
11.5 CETC54 th 超宽带信道部件传输性能测试	189
11.6 小结	191

参考文献	192
第 12 章 超宽带天线的设计和应用	193
本章导读	194
12.1 概述	194
12.2 超宽带天线的发展	194
12.3 超宽带全向天线的设计实例	199
12.3.1 单极子全向天线设计理论	199
12.3.2 典型性能仿真	201
12.3.3 CETC54 th 的超宽带天线实物和指标测试	205
12.4 典型超宽带定向天线的工程设计	208
12.4.1 螺旋天线	208
12.4.2 单极化喇叭天线	209
12.4.3 螺旋天线的典型图片	210
12.5 小结	211
参考文献	211
第 13 章 超宽带阵列信号处理	213
本章导读	214
13.1 概述	214
13.2 传统阵列信号处理	214
13.3 窄带信号阵列幅相加权	215
13.4 超宽带阵列信号处理原理	216
13.4.1 超宽带信号的阵列布阵基本形式	216
13.4.2 超宽带信号的阵列加权	217
13.5 UWB 阵列信号处理技术的工程实施方案	218
13.5.1 基于延迟线网络结构的理想阵列信号处理方案	219
13.5.2 基于延迟线网络的实际信号处理考虑	223
13.6 自适应 UWB 阵列信号处理方法	224
13.6.1 自适应 UWB 阵列信号处理说明	224
13.6.2 系统处理流程	224
13.6.3 UWB 阵列信号自适应幅相加权合成算法	226
13.6.4 UWB 阵列信号合成仿真	229
13.7 UWB 阵列信号合成中的技术难点	234
13.8 超宽带阵列的合成时延精度分析	235
13.8.1 合成信号时延相位和单个信号时延相位的关系	235

13.8.2 阵列信号的时延相位测量精度	236
13.9 超宽带阵列信号的抗干扰能力简要分析	237
13.10 小结	237
参考文献	237
第 14 章 超宽带信号的空间传播研究	239
本章导读	240
14.1 概述	240
14.2 正弦波调制和冲激调制信号的自由空间无多径传输	240
14.3 正弦波调制和冲激调制信号的双径传输模型	241
14.3.1 正弦波调制信号的双径传输模型	241
14.3.2 超宽带信号的双径传输模型	243
14.3.3 超宽带信号的室外复杂环境传输初步分析	244
14.4 UWB 移动信道尺度-时延信道模型	245
14.5 超宽带飞行目标链路预算	250
14.5.1 自由空间及对数正态阴影衰落路径损耗模型	250
14.5.2 UWB 飞行目标链路模型实例分析	253
14.5.3 结论	255
14.6 超宽带抑制多径的 Rake 接收框架	255
14.7 小结	256
参考文献	256
第 15 章 CETC54th 超宽带样机试验简介	259
本章导读	260
15.1 概述	260
15.2 CETC54 th 试验系统组成	260
15.3 试验系统的主要实物图片	261
15.4 主要试验结果	265
15.4.1 单目标超宽带脉冲宽度	265
15.4.2 多目标超宽带信号	266
15.4.3 样机主要性能	267
15.5 小结	268
参考文献	268
附录 A 跳时序列的设计与仿真	269
参考文献	282