

 国防电子信息技术丛书

Ultrawideband Radar: Applications and Design

# 超宽带雷达 应用与设计

[美] James D. Taylor 主编

胡明春 王建明 孙俊 等译



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

国防电子信息技术丛书

智能感知前沿技术系列

# 超宽带雷达应用与设计

Ultrawideband Radar: Applications and Design

[美] James D. Taylor 主编

胡明春 王建明 孙俊 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书编者为 IEEE 超宽带雷达委员会主席。全书汇集了多位作者的精辟文章,对超宽带雷达系统的特点和优势、发展历程、工作原理进行了简要介绍,针对超宽带雷达的多种应用领域(如医疗、安保、工业、建筑业和地球物理学)进行了详尽阐述,并注重介绍超宽带雷达各项技术的最新进展和潜在应用方向(如考古、取证和运输管理等)。

本书的读者对象为从事超宽带雷达研究、开发、生产的专业技术人员、管理人员,以及该领域的高等院校师生。

Ultrawideband Radar: Applications and Design, James D. Taylor

ISBN: 9781420089868

Copyright © 2012 by Taylor & Francis Group, LLC

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; Publishing House of Electronics Industry is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版,并经其授权翻译出版。版权所有,侵权必究。本书中文简体翻译版授权由电子工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2013-5742

## 图书在版编目(CIP)数据

超宽带雷达应用与设计/(美)詹姆斯 D. 泰勒(James D. Taylor)主编;胡明春等译. —北京:电子工业出版社, 2017. 1

(国防电子信息技术丛书)

书名原文: Ultrawideband Radar: Applications and Design

ISBN 978-7-121-30657-0

I. ①超… II. ①詹… ②胡… III. ①超宽带雷达-研究 IV. ①TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308346 号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 李秦华

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

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: 25.75 字数: 727 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 79.00 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: classic-series-info@phei.com.cn。

# 《超宽带雷达应用与设计》编委会

## 翻译委员会

主任：胡明春

副主任：孙俊

委员：金林 吴道庆 周志鹏 李明 邢文革 夏贤江 范义晨  
吴迤 贾中璐 尹德成 李大圣 陈勇华 杨予昊 周海林  
燕飞 张建设 遇实 蔡晓睿 韩长喜 陈丽 邵余红  
薛慧 李筠 林晶 倪迎红 冯晓磊 王虎 张昊  
刘平

## 校对委员会

主任：王建明

副主任：陈玲 邓大松

委员：邵春生 倪国新 谢勇光 杨剑飞 彭为 袁刚 史国庆  
傅有光 王秀春 吴明敏 伍光新 方能航 朱宝明 张蕾  
沙舟 张春雁

# CETC 中国电子科技集团公司第十四研究所



中国电子科技集团公司智能感知技术重点实验室

智能感知技术重点实验室是由中国电子科技集团公司于 2014 年 10 月批复设立的首批集团重点实验室之一，被列为中国电科集团示范实验室建设行列。

作为国内预警探测领域首个系统级创新研究型实验室，智能感知技术重点实验室的主要任务是面向未来复杂作战环境下武器装备发展信息化、体系化的新需求，建设一流研发平台，吸引国内外优势学术资源，从事智能感知体系、先进探测系统和基础技术研究，牵引专业技术发展，促进探测技术多学科融合，引领国家探测领域技术发展方向，提升国家探测领域自主创新能力，是技术创新体系重构的重要组成部分。

智能感知技术重点实验室始终坚持人才是科技创新的第一资源。目前，实验室已形成一支初具规模、结构合理、素质优良的人才队伍。其中，具有研究员与高级工程师职称的人员占比达 70% 以上，具有硕博学位的人员占比达 85% 以上。

“惟创新者进，惟创新者强，惟创新者胜”。智能感知技术重点实验室将瞄准国际前沿，面向国家重大需求，努力整合联合内外部优势力量，布局具有战略性、前瞻性、基础性科技创新资源，努力将实验室打造成聚集国内外一流人才的科技创新高地。

## 译者序

超宽带雷达(UWBR)概念自1990年提出以来,在国际上备受重视,美国国防部曾连续多年将超宽带雷达作为高灵敏度雷达技术研究项目的重点方向。

最初,超宽带雷达的研究目标仅为了改善雷达的探测距离分辨率,从而获取复杂目标的细微特征。随着超宽带技术经历25年的飞速发展,其获取目标和环境信息的能力在频域大幅扩展,同时激励目标瑞利区、谐振区及光学区散射特性,一方面可有效抑制杂波和干扰,另一方面通过更灵活的信息处理手段提取更为丰富的目标特征,全面提升雷达系统性能,在极高距离分辨率、高精度成像、目标识别、穿透能力等方面具有常规窄带雷达无法比拟的优势,因而在目标探测、成像识别、反恐作战、安保、医疗、灾后救援等军用和民用领域均具有广泛应用价值。

作为IEEE超宽带雷达委员会主席,James D. Taylor见证了超宽带雷达技术的诞生与飞速发展,编写了《IEEE标准-1672,超宽带雷达定义》。《超宽带雷达应用与设计》是该作者前两本专著《超宽带雷达系统导论》(1995年)、《超宽带雷达技术》(2000年)的深入修订版,紧跟超宽带雷达技术的发展潮流,全面、深入地阐述了超宽带雷达相关理论、特点优势、前沿技术及未来发展方向,针对材料穿透、全息探地、穿墙、隐蔽武器探测等领域应用进行了详尽阐述,对相关领域的研究人员具有非常高的指导价值。

本书由中国电子科技集团公司智能感知技术重点实验室组织翻译,胡明春、王建明、孙俊、陈玲、邓大松、蔡晓睿、韩长喜、倪迎红等参与了翻译,并得到了中国电子科技集团公司第十四研究所各部门领导及专家的大力支持和帮助,在此一并感谢。由于水平和经验有限,翻译错误与不妥之处在所难免,敬请读者批评指出,以便今后进一步完善,不胜感激!

## 主编简介



James D. Taylor 见证了电子技术从真空管发展到高速集成数字电路。他用一把计算尺获得了科学学士学位，并用穿孔卡片在 FORTRAN 语言上完成了 CDC 大型计算机硕士论文。他曾在美国空军担任工程师的经历，显示他一直处于电子技术的前沿。

在高智商父母的祝福中，他成长在马里兰州华盛顿特区银泉市郊。作为美国农业部线虫学调查主管，他的父亲 Albert L. Taylor 引导他进入了科学的殿堂，让他不知疲倦地追寻万物工作的原因。他的母亲 Josephine S. Taylor 是一名助理雷达工程师，在约翰霍普金斯大学应用物理实验室担任秘书和办公室主管。他的母亲激发了他对雷达的兴趣，并在早年让他学会了心算、盲打和清晰写作。

他的电子学知识来自于阅读 Marcus 和 Marcus 书籍《无线电元素》，以及后来为科学实验项目建造的无线电台和设备。他在弗吉尼亚军事学院获得电气工程学士学位。1963 年毕业之后，他立即进入美国陆军服役，担任防空炮兵军官的职务。在美国陆军防空学校的两次轮训为他提供了雷达和制导导弹系统的理论和实践知识。在被分配到德国以及美国第 101 机械师之后，他于 1968 年被调入美国空军，担任电子研究和开发工程师的职务。

他的空军职业生涯始于在美国新墨西哥州霍洛曼空军基地中央惯导测试基地作为一名高速火箭滑轨测试项目工程师。他继续研究生学业，并在 1977 年获得俄亥俄州怀特-帕特森空军基地美国空军技术学院控制理论硕士学位。他在美国空军航空电子实验室作为一名主管工程师的经历，让他接触到最先进的电子学概念和军事需求。他最后被任命为马萨诸塞州汉考斯空军基地美国空军电子系统部的一名远程技术规划主管，负责研究远程巡航导弹探测方案，并涉足超宽带雷达领域。

1991 年退役之后，他开始提供超宽带雷达咨询服务。他为 CRC 出版社撰写并编辑了《超宽带雷达系统》(1995 年)和《超宽带雷达技术》(2000 年)。他的小说《信号追逐》显示了超宽带雷达在军事上应用的可能性。他曾在美国、苏格兰、意大利和俄罗斯讲授短期课程。他曾担任 IEEE 超宽带雷达委员会主席，并编辑了 IEEE 标准——1672“超宽带雷达定义”。目前，他生活在佛罗里达州盖恩斯维尔，是一名工程师、咨询师和主编。

# 前言

如果我写了一本书，大学二年级的学生质疑我，傻瓜谴责我，教区牧师指责我的异端，酒商切断我的信用。那每个晚上我都祈祷，“亲爱的上帝，请带我脱离写书的渴望”。

Voltaire(1685 - 1778)

## 超宽带雷达应用与设计历史

近 25 年来，我一直关注超宽带(UWB)雷达技术的发展。我的前两本专著《超宽带雷达系统导论》(CRC 出版社, 1995 年)和《超宽带雷达技术》(CRC 出版社, 2000 年)，介绍了超宽带雷达技术的最新发展状况、系统演示和理论。本以为我已经脱离了该领域，直到 CRC 出版社的编辑问我是否修订从前的两本专著。认真审视了超宽带雷达技术的发展及其潜在的应用之后，决定撰写一本书，以介绍超宽带雷达的最新进展。

人们并不是购买技术，而是购买书中的技术所带来的好处。鉴于超宽带雷达的潜在好处，我相信超宽带雷达技术将继续演变，并随着更多实际应用领域的发现，而获得重视。从冲厕传感器到癌症探测器等应用的提议为雷达的潜在应用提供了一些思路。2002 年美国 and 欧盟辐射频谱标准的问世以及集成电路技术的发展，促进了超宽带雷达在安保和医药等领域的新应用。最后，我们可能在家用、公共场所、汽车、诊所、医院、飞机、军事和警务等领域发现超宽带雷达传感器的身影。

在本书中，会发现超宽带雷达的理论、应用和设计在现实中的样例，涵盖雷达精确测距在材料穿透、成像和医疗领域中应用的历史、政府法规、传播理论和样例等。读者会发现有关材料属性和传播理论方面的数据。

衷心感谢我的打字员，感谢他们配合我的大篇幅校订和修正。

## 本书概要

第 1 章“超宽带雷达应用与设计导论”由 J. D. Taylor 协会的 James D. Taylor 撰写，总结了超宽带雷达的特点和优点。该章节首先给出一些定义，并介绍“超宽带”这一术语的演变史。IEEE 和政府条例中给出的超宽带定义各有不同。读者会发现本书对这些定义进行了汇总，并指出各种定义之间的异同。过去 20 年间出现了很多超宽带雷达著作，本书给出了一份有用书籍的清单。

要想理解超宽带雷达信号，需要转变大多数电子学书籍所涵盖的传统频域稳态分析的思维。超宽带信号的脉冲宽度小，因此需要在时域进行考虑和分析，从而把握瞬时效应。本章的最后部分总结了超宽带雷达的潜在应用领域。最后，本章描绘了一个理想的未来系统，该系统采用了所有最新的小目标探测技术。

第 2 章“超宽带通信系统和雷达系统的发展”由 Terence W. Barrett 撰写，介绍超宽带无线电和雷达的完整发展史。本章介绍对超宽带雷达基础理论和技术发展做出贡献的很多人，并

给出了曾在2001年《微波杂志》和《射频设计杂志》上发表文章的最新版本。此外,读者还将发现更多超宽带相关的参考书目。

第3章“超宽带系统波形变换:起因和影响”由莫斯科航空学院的 Igor Y. Immoreev 撰写。Immoreev 博士长年从事超宽带传播理论研究。超短(纳秒、皮秒)脉宽(或具有较短自动相关功能)的超宽带无线信号在发射和接收时会出现巨大的波形变化,这种情况在窄带信号上并不会出现。当超宽带信号的物理长度  $\sigma$  等于或短于辐射和接收的天线和/或雷达目标尺寸时,给出了信号波形如何在发射、接收和反射过程中发生变化。信号波形的变化不能采用传统的信号相关接收方法,需要采用新的信号处理方法。Immoreev 博士开发了一种理论,展示了可以预测信号波形如何改变雷达系统特性的多种分析方法。这些变化需要一种新的雷达方程,仅采用表征雷达能量特性天线能量方向性因数和表征目标能量的雷达横截面(RCS)。他还展示了天线发射和接收方向图如何变化,这意味着天线发射方向图与天线接收方向图不同,因此无法使用类似的可逆性原理。他在超宽带信号波形如何变化以及为什么变化方面的理论研究有助于优化系统设计,并发现具有丰富信息量信号的各种优点。

第4章“美国及欧洲国家对于超宽带系统的有关规定”由 James D. Taylor 撰稿,简要介绍关于非授权超宽带系统发射限制的官方规定。由于该主题的法律特性,规定的适当部分以最原始的措辞方式出现,以免发生混淆。请仔细阅读,因为所陈述的发射限制来自特定的测量程序,具有特殊含义。还将找到一份指导工程师开发非授权超宽带雷达和无线电设备的基本指南。我推荐失眠人士在就寝时间阅读本章。

第5章“穿透材料超宽带系统的原理”由 James D. Taylor 撰写,介绍本书描述的雷达系统的基本原理。材料穿透超宽带雷达(MPR)系统可穿透多层媒介,如土壤、岩石、混凝土、木材、空气和动物组织。常见类别包括探地、穿墙、探矿、医疗超宽带测量和成像系统。由于媒介的电属性不同,造成信号的传播速度、信号衰减和反射也不同,因此穿透多个媒介的遥感会遇到的特殊问题。本章概述了MPR技术的基本理论。媒介特有的电属性,如导电性、介电常数和磁导率,会驱使您选择适当的工作频段范围和波形。目标和背景媒介的对比将严重影响雷达的性能。本章讨论的主题包括MPR系统的应用、工作原理、频率选择和成像样例等。

第6章“超宽带与随机信号雷达”由新加坡南洋理工大学 Hongbo Sun 博士撰写,介绍如何使用微波噪声信号生成随机噪声调制波形。本书其他章节描述的常规脉冲雷达具有信号能量低的缺点,限制了雷达的性能。使用超宽带随机噪声信号在增大信号能量的同时,可增加信号带宽和雷达分辨率。随机信号雷达的一些常用名称包括噪声调制雷达、相关雷达、随机噪声雷达、扩展频谱雷达等。6.1节介绍随机信号雷达的发展历史,并描述该类雷达的三种典型应用架构和两种处理方案。6.2节分析超宽带技术与随机信号雷达的结合,包括载频调制随机信号雷达和采用随机编码的无载频雷达的随机信号生成。6.3节介绍超宽带随机信号雷达的好处,包括反RFI能力、低截获概率(LPI)和电磁兼容(EMC)等。6.4节介绍超宽带随机信号雷达在高分辨率成像和测量方面的一些典型应用。

第7章“地面介电常数自动测量与使用含局部对象响应的GPR图像的目标位置自动探测”由来自乌克兰哈尔科夫市乌克兰国家科学院 Usikov 无线电物理与电子研究所的 Mikhail M. Golovko 和 Gernadiy P. Pochanin 撰写。本章讲述在水文领域和农业领域,如何利用探地雷达的响应信号探测被埋管线的漏水和漏油现象,并确定土壤含水量。由于译解探地雷达的数据需要复杂的处理过程,因此目标探测过程的自主化,以及利用GPR图像测量地面的介电常数,具有很好的商业应用价值。本章作者提出了一种地面特性的自动化评估方法,即利用超宽带

雷达的响应信号,估算出地面的介电常数。

第8章“均匀半空间附近目标的UWB后向散射”由来自乌克兰哈尔科夫市哈尔科夫空军大学的Oleg I. Sukharevsky和Vitaliy A. Vasilets,以及来自乌克兰哈尔科夫市乌克兰内政部内务部队学院(academy of the interior forces)的Stanislav A. Gorelyshev撰写。该章介绍来自完美导电(PEC)大型目标的超宽带脉冲信号的后向散射理论。分析过程中使用的目标位于均匀半空间边界附近,具有真实的和复杂的电参数。他们对脉冲(瞬时)波前特性进行高频(物理光学法)近似值处理,通过卷积转换,计算被超宽带目标反射的信号响应。计算方法采用的是场整数积分表示法和在常见的双基地斜入射条件下的PEC目标的脉冲特性高频近似值法。本章还解释了超宽带信号在半空间上的散射问题,半空间代表了一个多层均匀介质,该介质的任意层均具有复杂的磁导率。这些分析方法在估算大型目标的超宽带信号响应上,具有很大的潜在应用价值。

第9章“超宽带雷达的医学应用”由James D. Taylor撰写,概述医疗诊断和成像的理论和应用。医疗应用在过去20年里得到了长足发展,其最初源自基于美国劳伦斯·利夫莫尔国家实验室的微功率脉冲雷达而开发的雷达听诊器概念。美国空军资助的多项研究开启了搭建人体组织的电属性体系。Igor Immoreev和Teh-Ho Tao的工作成果解释了心率和呼吸次数的遥测理论及技术。人们将发现急救医疗人员用来快速探测颅内血肿和气胸的一些设备样例。最后一段讨论了雷达和X射线断层扫描仪在探测乳腺癌或其他类型癌症的潜在应用。基于廉价的超宽带雷达成像和诊断系统可为远程诊所和紧急医疗专家提供更强的诊断能力。

第10章“大电流辐射器:问题、分析和设计”由来自乌克兰哈尔科夫市乌克兰国家科学院Usikov无线电物理与电子研究所的Gennadiy P. Pochanin和Sergey A. Masalov撰写,讲述大电流辐射器(LCR)设计时出现的物理问题和技术问题,以及这些问题的解决方法。与常规的电偶极子天线相比,LCR的阻抗低,允许在低驱动电压下使用大电流,类似磁偶极子,并提高辐射效率。作者给出了理论和实验调研结果,用以阐明改进型LCR设计概念。

第11章“Novelda纳米脉冲雷达”由James D. Taylor和来自挪威Novelda公司执行总裁Dag T. Wisland撰写,对Novelda公司的纳米级脉冲雷达进行技术描述。Novelda雷达的所有主要电子器件全部安装在一个 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的CMOS芯片上。该雷达具有60 m的探测距离,采用了新颖的连续时间二元信号采集技术,实现雷达回波检测,并给出512个距离单元的数字信号返回值。信号检测采用了扫频阈值和随机共振采样,可提高信噪比。信号检测和信噪比改进的叙述演示了脉冲雷达设计的新方法。Novelda公司可提供完整的雷达开发包,包括多部天线和一个计算机接口,可帮助潜在的用户开发特殊应用。

第12章“材料穿透UWB雷达成像的原理和方法”由位于马萨诸塞州贝尔彻镇A&E合伙公司的Anatoliy Boryssenko和Elen Boryssenko撰写,讲述材料穿透超宽带雷达和成像的主要工作原理和设计概念。作者的撰写重点放在主要雷达构成模块的系统级分析和应用。所述的成像技术包含了合成孔径技术和物理孔径技术。作者通过自己参与咨询的几个现实项目的结果,对原理进行了举例说明。

第13章“全息探地雷达技术与应用”由Sergey I. Ivashov、Lorenzo Capineri和Timothy D. Bechtel撰写,描述全息探地雷达(HSR)和其他两种探地雷达之间的差别,前者可提供平面地下图像或雷达全息图。HSR采用的信号处理方法类似于D. Gabor在1948年首次提出并实现的光学全息技术。作者讲述了全息成像雷达的发展过程,并给出了雷达在旧建筑翻新过程中的测试结果。

第14章“Xaver穿墙超宽带雷达设计研究”由James D. Taylor与Camero公司的Eyal

Hochdorf、Jacob Oaknin、Ron Daisy 和 Amir Beeri 共同撰写，给出穿墙雷达(TWR)设计的一个样例。几家公司已经建造并销售了多种适用于警务、军事和急救人员的穿墙雷达系统。本章讨论穿墙雷达的实用问题，说明雷达的设计限制并给出了最新系统。案例研究介绍 Camero 公司的工程师如何开发能够为操作员提供三维图像的雷达系统，该系统可穿透钢筋混凝土墙壁，显示房间居住者和房间摆设。Xaver 800 穿墙高分辨率成像样例显示了这种先进设计概念的成果。

第 15 章“Camero 公司信噪比改善的雷达信号采集系统”由 James D. Taylor 与 Eyal Hochdorf、Amir Beeri 和 Ron Daisy 共同撰写，讲述一种改善信噪比(SNR)的新概念。Camero 公司的工程师发现信号回波电平低的主要问题，这将限制穿墙成像雷达系统的性能。在建造 Xaver 400 系列和 800 系列穿墙雷达时，他们希望改善各个距离上的回波信噪比，从而在所有的作用距离上实现高质量成像。本章简述了以色列 Kfar Netter Camero 公司的工程师 Amir Beeri 和 Ron Daisy 发明的专利“超宽带(UWB)雷达信号采集系统和方法”(美国专利号：US7773031B2, 2010 年 8 月 10 日)。该专利描述了一种从一系列离散距离上采集距离信息，存储来自距离单元上多个脉冲的回波信号，并将这些信号进行积分，从而提高 SNR 的方法。该系统的积分次数因作用距离的不同而不同，从而在整个作用距离上获得较高的 SNR。

第 16 章“Camero 公司用于距离单元同步的时间延迟校准系统”由 James D. Taylor 与 Eyal Hochdorf、Nimrod Shani 共同撰写，讲述了多个发射机/接收机成像雷达天线阵列的距离单元对准问题。用于高分辨率成像的多通道超宽带雷达需要对每个通道采集的距离单元数据进行精确校准。Xaver 公司的工程师开发了一套自我校准系统，该系统可测量由发射机和接收机，以及天线阵列单元的物理位移所产生的时延问题。这种时延校准系统(TDCS)可对每个发射机-接收机通道进行延迟测量，从而实现多个距离单元数据阵列的同步化。这项专利方法对于建造多单元高分辨率雷达系统具有应用价值。

第 17 章“Camero 公司的检测隐藏武器的超宽带雷达”由 James D. Taylor 和 Eyal Hochdorf 共同撰写，简要讲述最新的安保检查系统。Camero 公司开发并演示了可对通过安保隔离区域的人员进行扫描的一种超宽带成像雷达。该雷达通过穿透衣物，探测隐藏的武器、爆炸物、违禁材料。尽管其他公司也尝试使用 X 射线和毫米波后向散射成像技术，但尚无一家具有实时高分辨率成像能力的用于机场、公共建筑和其他高安保区域的检查系统超宽带雷达。

## 注意事项和邀请

超宽带雷达技术将在未来继续发展，但原理始终不变。在本书中，您将发现对超宽带雷达理论和实践的解释。书籍只能呈现出版时的最新知识。1775 年，《英语语言辞典》的编撰者萨缪尔·约翰逊曾回应批评，称“辞典好似手表：差表聊胜于无表，而好表走时也未必精准”。在面对新理念和未明领域时，请利用您的判断力。如果希望参与即将面世的超宽带雷达书籍的撰写，请通过出版商联系我，告知您对于本系列下一本书籍的创意。

James D. Taylor

J. D. Taylor 协会

佛罗里达州盖恩斯维尔

## 合著者名单

**Terence W. Barrett**

BSEI(弗吉尼亚州, 维也纳)

**Timothy D. Bechtel**

宾夕法尼亚州立大学地球与环境科学院(宾夕法尼亚州, 费城)

**Amir Beeri**

Camero 公司(马里兰州, 杰斐逊)

**Anatoliy Boryssenko**

A&E 合伙公司(马萨诸塞州, 贝尔彻镇)

**Elen Boryssenko**

A&E 合伙公司(马萨诸塞州, 贝尔彻镇)

**Lorenzo Capineri**

佛罗伦萨大学电子和电信学院(意大利, 佛罗伦萨)

**Ron Daisy**

Camero 公司(马里兰州, 杰斐逊)

**Mikhail M. Golovko**

乌克兰国家科学院 Usikov 无线电物理与电子研究所(乌克兰, 哈尔科夫市)

**Stanislav A. Gorelyshev**

乌克兰内政部(乌克兰, 哈尔科夫市)

**Eyal Hochdorf**

Camero 公司(马里兰州, 杰斐逊)

**Igor Y. Immoreev**

莫斯科航空学院(国家研究大学)(俄罗斯, 莫斯科)

**Sergey I. Ivashov**

Bauman 莫斯科国家技术大学遥感实验室(俄罗斯, 莫斯科)

**Sergey A. Masalov**

乌克兰国家科学院 Usikov 无线电物理和电子所(乌克兰, 哈尔科夫市)

**Jacob Oaknin**

Camero 公司(马里兰州, 杰斐逊)

**Gennadiy P. Pochanin**

乌克兰国家科学院 Usikov 无线电物理与电子研究所(乌克兰, 哈尔科夫市)

**Nirmrod Shani**

Camero 公司(马里兰州, 杰斐逊)

**Oleg I. Sukharevsky**

乌克兰哈尔科夫空军大学(乌克兰, 哈尔科夫市)

**Hongbo Sun**

新加坡南洋理工大学(新加坡)

**James D. Taylor**

J. D. Taylor 协会(佛罗里达州, 盖恩斯维尔)

**Vitaliy A. Vasilets**

乌克兰哈尔科夫空军大学(乌克兰, 哈尔科夫市)

**Dag T. Wisland**

Novelda 公司(挪威, 泰勒马克郡)

## 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第1章 超宽带雷达应用与设计导论 .....     | 1  |
| 1.1 引言和目的 .....            | 1  |
| 1.1.1 超宽带雷达的概念 .....       | 1  |
| 1.1.2 编者目的 .....           | 1  |
| 1.2 超宽带雷达的起源 .....         | 1  |
| 1.2.1 我与超宽带雷达的渊源 .....     | 1  |
| 1.2.2 带宽和雷达距离分辨率 .....     | 2  |
| 1.2.3 早期超宽带雷达演示计划 .....    | 3  |
| 1.3 超宽带雷达资源 .....          | 4  |
| 1.4 超宽带雷达的定义和条例 .....      | 5  |
| 1.4.1 超宽带雷达的早期历史 .....     | 5  |
| 1.4.2 超宽带雷达的标准定义 .....     | 5  |
| 1.4.3 带宽名称与定义 .....        | 7  |
| 1.5 超宽带雷达的时域和频域分析 .....    | 7  |
| 1.6 非正弦信号传播 .....          | 8  |
| 1.6.1 背景 .....             | 8  |
| 1.6.2 收发过程高斯脉冲转换样例 .....   | 8  |
| 1.6.3 高斯脉冲信号传播的结论 .....    | 11 |
| 1.7 超宽带雷达：未来趋势与应用 .....    | 11 |
| 1.7.1 开放空间测量和监视 .....      | 11 |
| 1.7.2 材料穿透遥感应用 .....       | 12 |
| 1.7.3 医学测量和成像 .....        | 12 |
| 1.7.4 安保 .....             | 12 |
| 1.7.5 军事遥感应用 .....         | 12 |
| 1.8 超宽带雷达发展的未来方向 .....     | 12 |
| 1.8.1 超宽带天线阵列几何结构优化 .....  | 12 |
| 1.8.2 天线阵列信号同步 .....       | 12 |
| 1.8.3 接收机信噪比改进 .....       | 13 |
| 1.8.4 多基地雷达 .....          | 13 |
| 1.8.5 目标成像和识别的高阶信号处理 ..... | 13 |
| 1.9 未来超宽带雷达的架构 .....       | 14 |
| 1.10 小结 .....              | 15 |
| 参考文献 .....                 | 15 |
| 第2章 超宽带通信系统和雷达系统的发展 .....  | 17 |
| 2.1 引言 .....               | 17 |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 2.2   | 超宽带通信的概念           | 17 |
| 2.3   | 超宽带无线电通信系统的发展历史    | 18 |
| 2.4   | 超宽带无线电通信系统的主要组成    | 23 |
| 2.4.1 | 脉冲串的产生和发射          | 24 |
| 2.4.2 | 脉冲调制               | 24 |
| 2.4.3 | 脉冲检测和接收            | 25 |
| 2.4.4 | 超宽带天线的效率           | 25 |
| 2.5   | 超宽带信号的检测和放大        | 25 |
| 2.5.1 | Tektronix 公司的系统    | 27 |
| 2.5.2 | Harmuth 的系统        | 28 |
| 2.5.3 | Ross 和 Robbins 的系统 | 29 |
| 2.6   | 超宽带发射信号的相干测试技术难点   | 30 |
| 2.7   | 超宽带发展的总体概述         | 31 |
| 2.7.1 | 干扰问题               | 31 |
| 2.7.2 | 超宽带通信系统的信道容量       | 32 |
| 2.7.3 | 超宽带发射机             | 33 |
| 2.7.4 | 超宽带辐射测量            | 33 |
| 2.8   | 超宽带雷达传感器           | 34 |
| 2.8.1 | 概述                 | 34 |
| 2.8.2 | 目标的超宽带响应特性         | 34 |
| 2.8.3 | 雷达和传感器             | 36 |
| 2.8.4 | 超宽带接收机             | 37 |
| 2.8.5 | 能够穿墙、穿透地面和植被的雷达    | 38 |
| 2.8.6 | 俄罗斯的超宽带雷达系统        | 39 |
| 2.9   | 高阶信号处理             | 40 |
| 2.9.1 | 奇点展开法              | 40 |
| 2.9.2 | 白噪声分析法             | 41 |
| 2.9.3 | 高分辨率目标识别的时频分析法     | 42 |
| 2.9.4 | 高分辨率目标检测的时频分析法     | 43 |
| 2.10  | 小结                 | 46 |
|       | 致谢                 | 46 |
|       | 参考文献               | 47 |
| 第3章   | 超宽带系统波形变换: 起因和影响   | 54 |
| 3.1   | 引言                 | 54 |
| 3.1.1 | 窄带和超宽带信号           | 54 |
| 3.1.2 | 信号波形、带宽和传播影响       | 54 |
| 3.2   | 辐射过程中 UWB 信号波形变化   | 55 |
| 3.2.1 | UWB 辐射分析: 简介和背景    | 55 |
| 3.2.2 | 天线如何辐射 UWB 信号      | 55 |
| 3.2.3 | UWB 天线远场辐射影响       | 56 |

|       |                                      |     |
|-------|--------------------------------------|-----|
| 3.3   | UWB 天线的辐射图 .....                     | 59  |
| 3.3.1 | 辐射波形如何随着感测角变化 .....                  | 59  |
| 3.3.2 | 时域辐射的 UWB 域 .....                    | 60  |
| 3.4   | 确定在接收和产生天线接收方向图过程中 UWB 信号波形的变化 ..... | 62  |
| 3.4.1 | UWB 脉冲波形如何随观测角变化 .....               | 62  |
| 3.4.2 | UWB 天线方向性 .....                      | 65  |
| 3.5   | UWB 天线接收和发射方向图以及可逆性原理 .....          | 65  |
| 3.6   | UWB 信号检测中的特殊问题 .....                 | 66  |
| 3.7   | 利用 UWB 信号的目标 RCS 测量 .....            | 70  |
| 3.8   | UWB 雷达距离方程: UWB 雷达应用的局限性和特点 .....    | 73  |
| 3.9   | 实际应用的近程超宽带雷达设计 .....                 | 75  |
| 3.9.1 | 用于病人心跳和呼吸频率 24 小时监测的超宽带雷达 .....      | 75  |
| 3.9.2 | 用于人体生理遥测的超宽带雷达 .....                 | 76  |
| 3.9.3 | 用于穿墙探测人员的超宽带雷达 .....                 | 76  |
| 3.10  | 小结 .....                             | 77  |
|       | 致谢 .....                             | 77  |
|       | 参考文献 .....                           | 77  |
| 第 4 章 | 美国及欧洲国家对于超宽带系统的有关规定 .....            | 79  |
| 4.1   | 简介 .....                             | 79  |
| 4.1.1 | 背景 .....                             | 79  |
| 4.1.2 | 本章目标 .....                           | 79  |
| 4.1.3 | 警告 .....                             | 79  |
| 4.2   | 美国关于超宽带设备的一些规定 .....                 | 79  |
| 4.2.1 | 美国超宽带规定的来源 .....                     | 79  |
| 4.2.2 | U. S. C. 第 47 条对超宽带设备的限制 .....       | 79  |
| 4.3   | 欧盟颁布的有关超宽带的条例 .....                  | 97  |
| 4.3.1 | 简介 .....                             | 97  |
| 4.3.2 | 欧盟条例的历史 .....                        | 98  |
| 4.3.3 | 欧盟与超宽带相关条例的节选内容 .....                | 98  |
|       | 参考文献 .....                           | 119 |
| 第 5 章 | 穿透材料超宽带系统的原理 .....                   | 121 |
| 5.1   | 引言 .....                             | 121 |
| 5.2   | MPR 的应用 .....                        | 121 |
| 5.3   | MPR 系统架构和操作 .....                    | 122 |
| 5.4   | MPR 系统设计 .....                       | 123 |
| 5.5   | 固体媒介中的电磁波传播 .....                    | 124 |
| 5.5.1 | 媒介特性 .....                           | 124 |
| 5.5.2 | MPR 信号传播 .....                       | 125 |
| 5.5.3 | 发射媒介特性和 MPR 设计 .....                 | 126 |

|       |                                             |     |
|-------|---------------------------------------------|-----|
| 5.6   | MPR 成像 .....                                | 130 |
| 5.7   | 小结 .....                                    | 131 |
|       | 参考文献 .....                                  | 131 |
| 第 6 章 | 超宽带与随机信号雷达 .....                            | 133 |
| 6.1   | 随机信号雷达介绍 .....                              | 133 |
| 6.1.1 | 随机信号雷达概述 .....                              | 133 |
| 6.1.2 | 随机信号雷达的历史 .....                             | 133 |
| 6.1.3 | 随机信号雷达的实施架构 .....                           | 135 |
| 6.1.4 | 随机信号雷达处理方案 .....                            | 139 |
| 6.2   | 超宽带与随机信号雷达的联合 .....                         | 140 |
| 6.2.1 | 随机信号的产生 .....                               | 141 |
| 6.2.2 | 超宽带载波调制随机信号雷达 .....                         | 141 |
| 6.2.3 | 超宽带无载波随机编码脉冲雷达 .....                        | 148 |
| 6.3   | 超宽带随机信号雷达的优势 .....                          | 151 |
| 6.3.1 | 抗射频干扰能力 .....                               | 151 |
| 6.3.2 | 低截获概率 .....                                 | 153 |
| 6.3.3 | 电磁兼容性 .....                                 | 158 |
| 6.4   | 超宽带随机信号雷达的应用 .....                          | 162 |
| 6.4.1 | 埋藏物的探测 .....                                | 163 |
| 6.4.2 | 短距离 SAR 成像 .....                            | 165 |
| 6.4.3 | 结构变化的远程监视 .....                             | 169 |
| 6.4.4 | 随机信号雷达的未来可能应用 .....                         | 171 |
|       | 参考文献 .....                                  | 172 |
| 第 7 章 | 地面介电常数自动测量与使用含局部对象响应的 GPR 图像的目标位置自动探测 ..... | 177 |
| 7.1   | 引言 .....                                    | 177 |
| 7.2   | 电容率测量 .....                                 | 178 |
| 7.3   | Hough 变换用于双曲线检测 .....                       | 178 |
| 7.3.1 | 二元成像 .....                                  | 178 |
| 7.3.2 | GPR 信号的 Hough 变换 .....                      | 179 |
| 7.3.3 | 加速 Hough 变换计算 .....                         | 181 |
| 7.4   | Hough 空间对电容率误差的依赖性 .....                    | 181 |
| 7.5   | 计算电容率的算法 .....                              | 183 |
| 7.6   | Hough 变换方法的结论 .....                         | 185 |
| 7.7   | 自动目标探测方法的性能数值评估 .....                       | 185 |
| 7.8   | 目标探测方法的度量标准 .....                           | 185 |
| 7.9   | 模拟 GPR 图像中的目标探测 .....                       | 186 |
| 7.10  | 试验 GPR 图像中的目标探测 .....                       | 189 |
| 7.11  | 小结 .....                                    | 192 |
|       | 参考文献 .....                                  | 192 |