

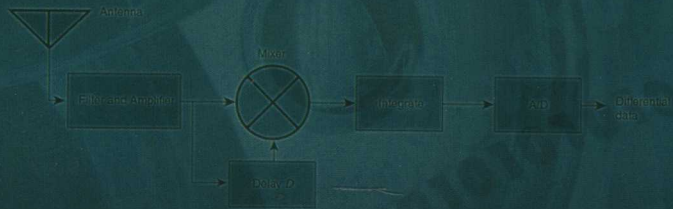
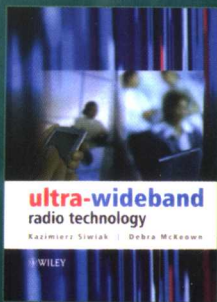
国外电子与通信教材系列



UWB

# 超宽带无线电技术

## Ultra-Wideband Radio Technology



[美] Kazimierz Siwiak 著  
Debra McKeown

张中兆 沙学军 等译  
张乃通 审校



电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

# 超宽带无线电技术

Ultra-Wideband Radio Technology

[美] Kazimierz Siwiak 著  
Debra McKeown

张中兆 沙学军 等译  
张乃通 审校

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

## 内 容 简 介

超宽带 (UWB) 无线通信是目前技术发展的前沿, 与传统载波通信系统相比, 具有明显的特点。本书从超宽带的发展史开始, 介绍了其基本原理和特点、标准化进程、各个国家和地区的发展进程, 并比较完整地介绍了 UWB 标准以及信号的产生、传输、发射、传输、接收等过程。最后从系统的角度分析了系统容量和限制因素等问题, 并描述了 UWB 的应用和将来的发展方向。

本书汇集了多位作者的研究经验, 对 UWB 系统进行了深入、全面的介绍。本书的主要特点是, 在不进行复杂的数学和理论推导的前提下, 将 UWB 系统的关键技术问题进行了清楚描述, 对于一般读者易于理解, 对于专门的研究人员, 本书提供比较全面的分析介绍, 推导过程严谨, 除了基本的分析外, 也介绍了学术前沿和技术发展。

本书是一本较好的技术参考书, 适合于电子通信类专业高年级本科生、研究生和工程技术人员使用。

Kazimierz Siwiak, Debra McKeown: **Ultra-Wideband Radio Technology.**

ISBN 0-470-85931-8

Copyright © 2004, Kazimierz Siwiak and Debra McKeown.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by Wiley Publishing, Inc.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of Wiley Publishing, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2005 by Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由 Wiley Publishing, Inc 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2005-3580

### 图书在版编目 (CIP) 数据

超宽带无线电技术 / (美) 西瓦尔克 (Siwiak, K.) 等著; 张中兆等译. - 北京: 电子工业出版社, 2005.9  
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Ultra-Wideband Radio Technology

ISBN 7-121-01751-2

I. 超... II. ①西... ②张... III. 宽带通信系统 - 无线电通信 - 通信技术 - 教材 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 104668 号

责任编辑: 窦 昊

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 980 1/16 印张: 12.5 字数: 251 千字

印 次: 2005 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换; 若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077。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。

# 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。


我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

# 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

# 教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长, 中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报(英文版)》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘彩	中国通信学会副理事长、秘书长
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长

## 译 者 序

超宽带(UWB)是最近信息领域研究的一个热点问题,新的技术方法不断涌现,并在通信应用领域形成了无载波以及调制载波的 DS-UWB, OFDM-UWB 体制,但是在国内的研究还是刚刚开始。

在跟踪国外同类研究的基础上获得国家自然科学基金重点项目资助的同时,电子工业出版社向我们介绍了本书并提供了样书。课题组几位老师看后,认为本书比较强调 UWB 的基础理论和概念,同时对 UWB 研究的方向也做了较好的评述,可以作为研究人员和研究生的参考用书。

本书从宽带信号的历史入手,介绍了 UWB 标准的产生和发展,可以使得读者对 UWB 通信和其他应用有较好的前期准备。之后,本书介绍了 UWB 信号的产生、传输以及电波的辐射、传播损耗和接收。最后介绍了应用 UWB 系统时受到的限制和系统容量,指出了多种应用前景和未来的研究发展方向。

本书的翻译由张中兆教授主持,沙学军教授参加。全书由张乃通院士、张中兆教授、沙学军教授统稿和审校。参加本书初稿录入、翻译工作的还有迟永钢老师,吴宣利、汪洋、聂森博士生,段威、王力、叶亮、唐珣、孙亚楠、番禺、李峰同学。此外,电子工业出版社为本书的翻译做了大量工作。译者谨向所有为本书中译本出版提供帮助的人士表示感谢!由于译者水平有限,翻译不妥之处,望广大读者指正。

# 中译本序

——中国工程院院士张乃通

超宽带(Ultra-wideband,简称为UWB)通信的最初形式为直接利用脉宽为纳秒或亚纳秒级的脉冲作为信息载体的冲激无线电技术(Impulse Radio,简称为IR),其历史可以追溯到1942年De Rose提出的随机脉冲的专利。20世纪60年代对时域电磁学的研究进一步促进了UWB技术的发展,从其出现到20世纪90年代以前,UWB技术主要采用最初冲激无线电形式,并主要用于军事上的雷达和低截获/低侦察率的无线系统。1993年,R. A. Scholtz在军事通信会议上发表“论证IR进行调时/调位多址技术”的论文,开辟了将IR作为无线通信载体(简称为I-UWB)的新途径;从而使得IR作为点对点通信以及无线通信网络的信息载体。同时,随着微电子器件的高速发展,I-UWB技术开始应用于民用领域,在国际上掀起了对其研究、开发和应用的热潮,并被认为是下一代无线通信的革命性技术。为了促进和规范UWB技术的发展,2002年4月,美国联邦通信委员会(FCC)发布了UWB设备的初步规范,并重新对UWB做了定义。按此定义,UWB信号带宽大于500 MHz或相对带宽,其中分别为系统的高低端频点(按照-10 dB计算)。由此定义可以看出,现在的UWB已不仅仅局限于IR,而是包括了任何使用超宽频谱的系统。这样,UWB的主要信号形式可以分为:窄脉冲作为I-UWB的载体形式以及调制载波形式(例如通常的窄带扩谱技术)。前者具有超宽带、低截获率/低侦察率、抗多径、穿透力强、逻辑结构简单等优点;后者可以将UWB信号搬移到合适的频段进行传输,从而更加灵活,有效地利用频谱资源,其信号处理方法与一般通信系统的方法相似。相比而言,前者的传输理论、性能与分析方法都与传统方法不同,非常需要这方面的知识。

Kazimierz Siwiak和Debra McKeown等编著的“*Ultra-wideband Radio Technology*”一书具有:(1)关于UWB的简单的,不涉及低层的高层概念设计;(2)集中科学的、数学的和工程的基础,在书中有许多图解和基于常识、易于理解的类推方法。对于容量、应用等有争议的技术,书中尝试使用深奥的与众不同的概念来传递清晰的信息。这样,可使非技术层面的人员和经验丰富的技术人员学习理解I-UWB技术,同时使更多读者易于阅读掌握I-UWB的基本概念,正确使用该技术。

为此,我们翻译了此书,得到了电子工业出版社的大力支持,出版了本书,以期在我国研究I-UWB的过程中起到一些作用。



# 序 言

通过多年来向潜在的消费者、商业投资者、科学家、工程师和技术人员们详细地介绍 UWB(Ultra-wideband,超宽带)技术,我们很明显地认识到人们需要一本全面介绍该技术的书籍。这种需要来源于两个层面:(1)市场营销管理人员、商务开发人员、工程和技术管理人员、潜在投资者、金融分析家、招聘主管者、技术文档写作者以及其他领域的技术人员,需要基础性的知识和技术上的精确信息,但是不需要专业上的技术细节和详细分析;(2)经验丰富的技术人员、工程师、科学家以及专家学者,初步接触 UWB 技术而要更进一步了解该技术,需要的是 UWB 技术在技术和工程方面尽可能详细的细节。我们特别鼓励学生用实验的方法去探索 UWB 技术的简单性(参见 <http://timederivative.com/pubs.htm>)。我们将在网站 <http://timederivative.com/UWBbook.html> 上定期提供及时更新的文档,包括问题和习题。

我们的目标是将两种不同目的的书籍融合成为一体:第一,关于 UWB 的简单的、高层的<sup>①</sup>、概念上的讨论;第二,更加细节化的部分,集中在科学的、数学的和工程的方面。在本书中,有许多用于解释 UWB 技术的图和基于常识且容易理解的好的类推方法。我们提供的材料在两个层面上:面向非技术层面的基础水平,以及面向经验丰富的技术人员提供的技术细节以使他们入门。作者之一是在商业无线技术和专业技术知识写作方面有很多经验的技术专家,另外一个和技术培训和媒体方面的专家,同时也是一位在向读者提供技术资料方面有很多经验的专业技术作家和教师。在这里我们一起为广大读者提供有效的介绍、指南和内部的培训。

UWB 是当代最具争议的技术之一。它的应用看起来是无止境的,它的容量是不可思议的,但即使是那些经常接触它的人对它的了解也非常贫乏。我们尝试着用深奥的和与众不同的技术概念来传递清晰的想法。我们期待着 UWB 能对我们未来的生活方式产生深刻的影响。因此,这本书的目的就是将 UWB 技术的一些基本知识提供给更多的读者,而不仅仅是技术人员,这样才会有更多的创新性想法被发展和应用起来,从而使我们的生活更加方便、安全、高效和有趣,同时也使人们之间的关系更加紧密。

本书主要概述 UWB 技术——为读者打下基础,内容包括历史的简单说明、对现在应用的标准和规范的说明——然后提供关于这个技术的一些介绍。读者将会看到,那些对于其他无线解决方案来说是阻碍的问题可能对 UWB 系统非常有用。我们会解释如何在理论和

---

<sup>①</sup> 应该是不涉及底层。——译者注

实践上产生 UWB 信号。最后给出了一些可能的应用上的建议,希望读者能够以这些例子为跳板,应用自己的创造力和巧妙的构思,取得一些我们从来没有想到过的进步。希望这本书能够达到传递知识和教育的目的,就像这一技术曾经激励了我们一样来激励读者。尽管前期所做的大部分工作是在美国,但我们还是尝试以全球视角来看待这个问题。事实上,本书的不同部分分别产生于四大洲,然后通过互联网传递到全球。

本书第 1 章介绍 UWB 的历史。要了解任何一项技术,首先需要了解它的历史。如果能够理解一种技术是如何发展的,以及它是基于先前的什么技术,那么我们就能够更好地理解这项技术是如何应用的。UWB 的开始很有趣,它的第一次出现是在最早的火花隙机械装置中。但是直到现在,这种早期的宽带无线技术仍然不能非常有效地使用。从这些价值不高的和低技术含量的开始中,我们逐渐了解了为什么在成为今天的高科技奇迹之前,UWB 需要等待其他技术的发展。在向 UWB 技术简单的开端献上它应得的敬意之后,我们开始按照它今天的样子来了解这一技术的本质。

与规范一样,发明和创新可以锤炼一种技术的发展进程,这也正是我们在第 2 章将要研究的:无线电规范的发展趋势。像用来处理人与技术之间相互影响的规范一样,任何技术都有它所独有的特性和物理实现上的限制条件。政府规范限制技术的运行方式,使得技术与社会和谐共存,以保证公众的安全、促进经济对社会的贡献等。读者将会看到规范确实会改变一种技术的发展,包括这种技术是如何实行的、它以什么可能的方式进入大众市场。在美国,规范除了规定 UWB 可以采用的频谱范围之外,并没有对 UWB 给出更多的限制。这些规范非常概括,以至于一些常用的无线通信系统都可能被误认为是 UWB 系统。然而,本书的目的却不是研究那些常用的技术,而是探索那些使 UWB 更为有利的相关技术。下面我们将要集中在具有 UWB 特征的那些解决方案上。关于 UWB 的规范仍然在发展中,因此在第 2 章,我们关注的是这个领域中现有的东西。然而,作者也指出,在考虑 UWB 时,规范的制定者已经改变了频谱管理的方法。

当一种技术能够以标准的方式进行宣传,而且能够在全球范围内获得经济利益,那么这种技术在社会中就会开始普及。第 3 章是 UWB 的标准化。伴随着一系列标准化活动,UWB 技术逐渐变得清晰起来。除了规定技术如何与这个世界上的其他事物相互影响之外,我们必须对这些技术之间如何相互影响,以及多个设备供应商如何使不同制造商的产品之间无缝连接取得一致意见。像 UWB 历史的其他部分一样,现在对于 UWB 标准的更新已经逐渐减慢了步伐,但在写作这本书的时候,它却还在改变着。尽管标准对于理解一种技术是如何工作的并非必需,但是如果要是为市场设计一个实际的设备,那么标准就是非常关键的了。因此,第 3 章展示了本书出版时被提议为商业标准的一些相关资料。当然,任何“标准”产品的发展都必须等待一个标准的确定。

在产生 UWB 信号的过程中,需要一些与产生通常的无线信号有所不同的技术,关于这

一部分将在第4章“UWB信号的产生和传输”中进行详细的介绍。进行无线通信的第一步就是产生一个将欲发送数据调制于其中的合适信号。UWB在产生信号这一步遇到了一些特殊的困难,这些困难一部分来源于规范所产生的限制,另一部分来源于实际物理实现的限制。读者将会学到如何得到一个满足限制条件的信号。当然,我们的焦点集中于产生具有UWB特性的信号,因为对常用的无线技术而言,有许多产生信号的方法。

电磁波的发射和传播是分开描述的,因为在分析两者中的任何一个的时候,都会发现UWB信号所独有的一些有趣特性。在第5章“UWB信号的辐射”中,我们看到有限时间的概念赋予了UWB信号传输的一些有趣特性。与持续时间相对长一点的窄带信号相比,宽带信号的脉冲是“出现又马上消失”。这一在时间上高度的断续特性赋予UWB信号一些独特和有趣的发射特性。我们给出了发射的时域解决方案,同时也介绍了宽带信号与相对应的窄带信号的不同点。

信号一旦发射出去,将会按照第6章“UWB信号的传播”所描述的方式进行传播。携带有很多信息的信号当然是好的,而我们的目的是接收信号。然而,在信号被接收到以前,它首先必须通过环境进行传输。对于信号而言,我们的家居和办公室环境可能是非常糟的,这一章将解释在不同的环境中,UWB信号是如何与实际环境相互影响的。我们讨论了在多种不同环境中UWB信号是如何表现的,这样可能会明白如何最好地利用UWB信号独特的传播特性。

当然,发射出来的信号需要被接收。在第7章“UWB信号的接收”中,我们捕获了信号并得到它所携带的信息。在UWB的规范中,UWB信号的接收是实际中所必需的。UWB信号的接收与其他无线通信系统的接收没有太大的区别。然而,有效接收信号和正确解调出原始信号确实是一门技术。在这一章,我们讨论信号的有效接收技术。

UWB技术的一个显著特点就是其巨大的系统容量。在第8章“UWB系统的限制与容量”中,我们将了解环境和其他无线用户是如何影响在链路上所传输的信息量的。因此,在了解了如何产生、传播和有效地接收信号以后,必须知道有多少用户可以共享这个系统。在这一章,我们试着评价系统的性能和传输链路的预算。这里将“包”的概念与公认的链路负载联系在一起——本章是用来评估UWB无线链路系统性能的。

在第9章“UWB系统的应用和未来方向”中,我们将深入到UWB系统中去。一些人想知道UWB系统是如何工作的,而不仅仅是满足自己的好奇心。这正是我们所希望的。一些读者将会被激励着继续进行他们的工作,直到最后发明出一些能够促进整个世界发展的产品。本章解释了一些理念,包括一些已经被市场提出来的想法和一些思想上的火花,希望这些想法能够激发一些读者的兴趣,并使我们产生一些开放性的思维。

技术并不是整个世界“技术进步”这一领域的惟一问题。尽管UWB技术最早出现在美国,而且这种技术的规范也是第一次在美国形成文字,但是我们希望这种技术能够在全世界范

围产生影响。标准化的进程促使 UWB 技术在任何地方变得可行且性价比很高。我们的地球是一个复杂的机构,而且会被技术弄得更加复杂。最初,技术首先是在世界上那些发达的和经济稳定的地区获得发展和进步,这通常是由于发展所需要的巨大开支。但是这些技术的应用并不会因此受到限制。比如说,蜂窝和移动电话在那些陆上通信不存在或者费用太昂贵的地区占统治地位——在一些地方,移动电话的增长已经远远超出了那些在技术上走在前面的地区,例如手提电话最初的诞生地美国。这是由于移动电话在美国是一种很好的技术,然而在那些技术不是很发达的地区,他们简单地绕过了那些过时的有线技术的昂贵开发费用。UWB 看起来也在走着相同的道路。一些技术已经有一些足够好却并非完美的解决方案。那些现在还没有找到解决办法的地区是最适合使用 UWB 技术的。在美国,是“UWB 如何做得更好”;在肯尼亚,那可能就是“UWB 能够为我们现在还没有解决方案的难题做什么”。UWB 被看做是今天我们一些问题低成本的办法,这可能会使这种技术在那些发展中国家得到广泛应用。我们鼓励大家用自己的想像来使这一切成为现实。

## 致 谢

本书是集体写作的结果。这个写作集体很好地扩展了两位著名作者的优点,因此,我们感谢许多人,正是他们使得本书跟上了研究的最新进展。

感谢 Jay Bain 在标准方面的支持; Larry Fullerton 在发展史方面的帮助……人们会注意到你思想上的闪光点,我们也要感谢你人格上的闪光点; Paul Withington 对技术细节的阐述; Hans Schantz 在电磁分析方面的帮助; Laura Huckabee-Jennings 在业务领域发展方向上以及本书开始阶段的帮助。

感谢 Gammz 耐心地将我们的初步设想进行详细描绘并加入他自己独特的风格。

对于我顽固地坚持使用各种例子、进行定义和讲解,更要感谢 Kai 的渊博知识、绅士风度和开明思想。我相信他将来写的每个字在他的脑海中都是我唠叨的声音。

——Debra McKeown

同样感谢 Deb, 她的友善、智慧和对我在技术思想上的混乱的容忍。她的阐述,提升了本书的文字表达。

——Kazimierz Siwiak

本书的创作更多的是在路途中,合作者跨越了遥远的距离,这是一件很费劲的事情。

但是,在一个夜晚,我们将所有的部分合成在一起,所以我们要感谢: Tori Amos 以及我们在加州度过的美妙一晚,感谢他的帮助和鼓励;感谢 Kenya 在项目的最后阶段提供的帮助,让我们享受了阳光与大自然。

本人要感谢尊敬的祖母 Helen Boling McCoy 和 Joyce McKeown Owens,感谢她们赋予我勤奋工作、勇于创新的个人品格。

——Debra McKeown

我要感谢我的家人, Ann, Diana 和 Joseph,感谢他们在写作期间给予的支持,感谢他们与我一同行走人生之路。他们的爱给我以决心、力量和灵感。

——Kazimierz Siwiak

# 目 录

<b>第 1 章 历史</b> .....	1
概述 .....	1
1.1 无线电基础知识 .....	1
1.2 无线电的历史 .....	5
1.3 当前的技术进展 .....	11
1.4 由无线变为无线电:广播和规范的时代 .....	12
1.5 宽带的优势 .....	13
1.6 无线电开启了其他更宽带宽的探索 .....	13
1.7 更宽的带宽具有更多的优点 .....	14
1.8 小结 .....	14
参考文献 .....	15
进一步的阅读材料 .....	16
<b>第 2 章 无线电规范的发展趋势</b> .....	17
概述 .....	17
2.1 电磁频谱:“以波长划分” .....	17
2.2 无线电规范 .....	19
2.3 UWB 在美国的采用 .....	21
2.4 第一报告与规范的摘要 .....	23
2.5 亚洲的规范:新加坡的超宽带友好区(UFZ) .....	25
2.6 欧盟的规范化行动 .....	26
2.7 小结 .....	28
参考文献 .....	29
<b>第 3 章 UWB 的标准化</b> .....	30
概述 .....	30
3.1 IEEE 的 UWB 高数据速率标准化活动 .....	31
3.1.1 OFDM 方案的 UWB .....	33

3.1.2 DS-UWB 方案的 UWB .....	35
3.1.3 TD/FDMA 方案的 UWB .....	37
3.2 UWB 标准中的定位和寻址 .....	38
3.3 欧洲标准化的成就 .....	38
3.4 小结 .....	40
参考文献 .....	40
<b>第 4 章 UWB 信号的产生和传输 .....</b>	<b>42</b>
概述 .....	42
4.1 UWB 信号的定义 .....	44
4.2 产生 UWB 信号的方法 .....	44
4.2.1 UWB 信号设计 .....	45
4.2.2 精确信号设计 .....	47
4.2.3 重复发射脉冲时的功率计算 .....	50
4.3 信号脉冲设计举例 .....	52
4.3.1 脉冲设计的限制 .....	52
4.3.2 脉冲形状的选择 .....	53
4.4 UWB 系统波段设计 .....	55
4.5 精确信号的覆盖 .....	58
4.6 信号调制 .....	59
4.6.1 脉位调制(PPM) .....	61
4.6.2 $M$ 元相互正交的键控调制 .....	61
4.6.3 脉冲极性与 BPSK 和 QPSK 调制 .....	63
4.6.4 脉幅调制 .....	63
4.6.5 差分调制 .....	64
4.7 小结 .....	66
参考文献 .....	66
<b>第 5 章 UWB 信号的辐射 .....</b>	<b>68</b>
概述 .....	68
5.1 窄脉冲辐射过程 .....	68
5.1.1 任意天线的远场 .....	70
5.1.2 理想点源天线的远场辐射 .....	72

5.2	接收天线 .....	73
5.2.1	任意形状接收天线 .....	73
5.2.2	点源接收天线 .....	75
5.2.3	恒增益天线间的自由空间传输 .....	75
5.2.4	恒孔径天线间的传输 .....	76
5.3	信号的发射、辐射和接收 .....	76
5.3.1	宽带信号的仿真 .....	77
5.3.2	中等带宽 UWB 信号 .....	80
5.4	天线对 UWB 信号的影响 .....	81
5.4.1	TE <sub>10</sub> 模式喇叭天线 .....	82
5.4.2	偶极子馈电抛物面反射天线 .....	82
5.4.3	宽带天线的考虑 .....	84
5.5	小结 .....	84
	参考文献 .....	85
<b>第 6 章</b>	<b>UWB 信号的传播 .....</b>	<b>86</b>
	概述 .....	86
6.1	自由空间的传播 .....	87
6.2	带有地面反射的传播 .....	87
6.2.1	UWB 和带有地面反射的窄带正弦或余弦信号 .....	89
6.2.2	一个 2 GHz UWB 宽带信号的设计实例 .....	91
6.2.3	2 GHz 带宽脉冲的 EIRP .....	93
6.2.4	2 GHz 带宽 UWB 信号的地表传播 .....	93
6.3	多径中的 UWB 脉冲传播 .....	96
6.3.1	建筑物中的脉冲传播 .....	96
6.3.2	多径和延迟扩展 .....	100
6.3.3	多径中的 UWB 信号传播 .....	101
6.3.4	与最大 rake 增益的关系 .....	105
6.3.5	SBY 中值多径传播模型 .....	105
6.3.6	阴影变化和统计链路设计 .....	106
6.3.7	传播模型和参数 .....	107
6.4	小结 .....	108
	参考文献 .....	108



<b>第 7 章 UWB 信号的接收</b> .....	111
概述 .....	111
7.1 UWB 信号的接收 .....	111
7.2 噪声和干扰 .....	112
7.3 接收检测效率 .....	113
7.4 简单模板的效率 .....	116
7.5 自相关接收机 .....	118
7.6 小结 .....	118
参考文献 .....	119
<b>第 8 章 UWB 系统的限制与容量</b> .....	120
概述 .....	120
8.1 通信限制 .....	120
8.1.1 噪声 .....	120
8.1.2 山农容量公式 .....	121
8.1.3 不同调制方式的通信效率 .....	123
8.1.4 规则限制 .....	124
8.1.5 天线孔径与传播 .....	125
8.2 UWB 的基本限制 .....	126
8.2.1 UWB 系统基本限制 .....	126
8.2.2 传统系统限制 .....	129
8.3 UWB 无线链路 .....	130
8.3.1 UWB 无线链路计算 .....	130
8.3.2 接收机灵敏度与系统增益 .....	131
8.3.3 非加性高斯白噪声信道中 UWB 系统的优点 .....	132
8.4 链路容量 .....	133
8.4.1 多径中的 UWB 链路 .....	134
8.4.2 UWB 容量模型 .....	136
8.4.3 IEEE 802.11a 容量模型 .....	136
8.4.4 IEEE 802.11b 容量模型 .....	137
8.4.5 UWB 与 802 系列的比较 .....	138
8.5 小结 .....	139
参考文献 .....	139