

超宽带通信原理及应用

ULTRA- WIDEBAND COMMUNICATIONS

FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS

[美] 法拉纳克·尼库加 著
(Faranak Nekoogar)

任品毅 廖学文 梁中华 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



Authorized translation from the English language edition, entitled ULTRA-WIDEBAND COMMUNICATIONS, FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS, 1st Edition, ISBN: 0131463268 by NEKOOGAR, FARANAK, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright © 2006, Pearson Education, Inc.

All right reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED Language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS Copyright © 2007

本书中文简体字版由培生教育出版集团授权西安交通大学出版社独家出版。未经出版者书面许可,不得以任何形式或方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,侵权必究。

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

超宽带通信原理及应用/(美)尼库加(Nekoogar, F.)著;任品毅,廖学文,梁中华译. —西安:西安交通大学出版社, 2007. 8

书名原文: Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications
ISBN 978-7-5605-2521-1

I. 超… II. ①尼…②任…③廖…④梁… III. 宽带通信系统
IV. TN914. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 117824 号

陕西省版权局著作权合同登记号: 25-2007-051 号

书 名: 超宽带通信原理及应用
著 者: [美]法拉纳克·尼库加
译 者: 任品毅 廖学文 梁中华
出版发行: 西安交通大学出版社
地 址: 西安市兴庆南路 10 号(邮编: 710049)
电 话: (029)82668357 82667874 (发行部)
 (029)82668315 82669096 (总编办)
电子邮件: xjtupress @ 163. com
印 刷: 西安交通大学印刷厂
字 数: 151 千字
开 本: 687mm×1012mm 1/16
印 张: 13. 25
印 次: 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷
印 数: 0001~3000
书 号: ISBN 978-7-5605-2521-1/TN·99
定 价: 26. 00 元

版权所有 侵权必究

译者序

译者的话

目前短距离无线通信已经进入前所未有的发展时期。伴随着 3G 的使用和 B3G (Beyond 3G) 系统的日益临近,无线局域网 (WLAN) 和无线个域网 (WPAN) 的需求和应用也在迅速增长。可以相信,这两种类型的异构网络最终必将融合在一起。现在的短距离无线网络一般都是孤立的工作在室内的家庭或办公环境中,尚没有与大型的无线广域基础设施集成。而超宽带 (Ultra-Wideband 以下简称 UWB) 技术的出现和发展,为改变这一现状带来了希望。在短距离无线通信领域,UWB 技术具有巨大的潜力。UWB 无线通信的独特优势在于它能够提供高速率、低功耗及低成本的短距离无线链路,并且由于 UWB 是对现在已被占用的频率资源的重用,因而可以缓解目前日趋紧张的频带资源需求。此外,UWB 也非常适合室内密集多径传输环境下的高速无线传输。目前,这种无线通信技术已经被美国联邦通信委员会 (FCC) 采纳,允许 UWB 技术和产品参与商业化运作,并且颁布了 UWB 占用带宽的相关条例。IEEE 802.15.3a 标准已经将超宽带技术选为其实现无线个域网中物理层的基本技术,此外,最近提出的 IEEE 802.15.4a 标准中也包括了超宽带的物理层方案。与此同时,欧洲和亚洲的诸多国家(包括我国)也在积极地展开研究和指定各自的标准,期望形成独立自主的 UWB 技术知识产权。

事实上,UWB 无线通信技术的基础就是脉冲无线电技术 (Im-

pulse Radio)。人类对脉冲无线电技术的应用可以追溯到一百多年前马可尼所发明的无线电波发射机。从本质上来说,马可尼所发出的电报信号就是一个 UWB 信号,这可以看作是早期 UWB 技术的萌芽。任何一个通信系统,如果其瞬时带宽远远大于信息传输所需的最小带宽,就可以被归为 UWB 通信系统之列。

UWB 的技术优势是明显的,但在 2002 年 4 月 FCC 在其第一份 UWB 报告中为 UWB 设备分配频谱资源之前,对 UWB 的研究大部分集中于军事通信和雷达系统。在报告颁布之后,对 UWB 的研究引起了全世界的关注,不管是学术界还是工业界都对 UWB 的应用提出了很多新的建议。目前,基于 UWB 的技术主要应用于高速短距离通信、雷达和精确定位等领域。

此外,UWB 技术还可以应用于 Channel Sounding 或者测量无线信道的冲击响应。脉冲 UWB 通过极短的脉冲可以用来跟踪无线环境中的多径分量,这不仅对于研究 UWB 信号的传输特性很重要,还可以用来测量窄带信道多径的数量、平均功率和相对时延等信息。基于 UWB 技术的潜在应用很多,可以相信,随着 UWB 技术的深入研究,UWB 的应用潜力必会不断地得以开拓。

“目前超宽带通信技术还不为众人所知,但此项技术将会对以后的社会和经济带来重大的影响”。“它现在的位置就像 Internet 在 1993 年到 1994 年的时期一样”(Time Domain 公司总裁 Ralph Petroff 语)。

鉴于 UWB 广阔的应用前景和技术优势,尤其它在军事通信中的应用前景,很多国家的政府都积极地引导对 UWB 技术和应用的研究,这些研究涉及超宽带信号的产生、调制、发送、传播、接收及检测、组网、应用等诸多方面。很多国家都已经开始了 UWB 系统商用的尝试,而在我国,对 UWB 技术的研究几乎还是空白。因此,在我国积极开展对 UWB 技术和应用的研究,对于争取我国在无线

通信的研究方面取得世界领先地位,开发出具有中国知识产权的技术和系统等,有重要的社会意义和经济意义。

本书采用浅显易懂的语言全面介绍了 UWB 通信系统,内容涵盖窄脉冲产生、传播、系统限制,以及 UWB 信号干扰、应用范围以及商业市场前景等诸多内容。本书面向广泛的读者群体,采用简明易懂的语言对这项技术全面的介绍,使得本书能成为刚刚进入超宽带通信研究领域的个人以及非专业的读者阅读的完整的参考资料,同时也能成为研究生阅读和理解更多的技术手册的帮助资料。另外,从事管理、营销、技术与市场分析、采购的人员,以及专栏作者和学生、刚加入本领域的工程师等,也能从本书中获益良多。

全书由任品毅、廖学文、梁中华翻译并且由任品毅整理,其中任品毅翻译了第 1 章和第 2 章以及附录,廖学文翻译了第 3 章和第 5 章,梁中华翻译了第 4 章。在翻译的过程中,得到了本书的责任编辑贺峰涛和赵丽萍两位老师的大力协助,在此表示衷心的感谢。由于本书内容的新颖性和译者不可避免存在的主观片面性,书中不妥和错误之处在所难免,殷切地希望广大读者及同行专家批评指正。

译者

2007 年夏于西安交通大学

序 言

——为《超宽带通信系统》一书而作

在未来的无线通信系统中,超宽带(UWB)无线电很可能扮演一个革命性的角色。2002年2月美国联邦通信委员会颁布的关于超宽带无线电的应用规则,批准了包括7500MHz无线频谱资源无需额外授权即可商业应用,这激起了对超宽带通信研究的广泛兴趣。这项新兴的技术利用极窄、超低功率的射频脉冲在收发两端传递信息。使用短持续期的脉冲作为基本的通信单元将使这项技术获得独特的优势,同时也带来技术上的挑战。

本书采用简明易懂的语言全面系统地介绍了超宽带通信系统,涵盖了窄脉冲的产生、传播、系统限制,超宽带信号干扰、应用范围以及商业市场前景等诸多内容。本书的主要内容如下:

- 超宽带技术基本理论,包括窄脉冲产生、超宽带天线、调制及多址技术以及超宽带应用。
- 比较分析了超宽带系统、窄带系统和扩频通信系统,在与传统连续信号无线通信技术的对比中着重给出了超宽带技术的优势和缺点。
- 详细描述了与超宽带系统在频谱资源上共存的一些窄带和宽带扩频系统的相互干扰问题,例如无线局域网(IEEE 802.11 a/b)、全球定位系统(GPS)以及蜂窝电话等。
- 美国联邦通信委员会给出的关于超宽带通信系统的应用规

则介绍以及世界范围内应用的一些调整。

- 超宽带系统潜在商业市场的界定和讨论,包括如军事、娱乐、汽车工业,关于综合市场研究和技术前景分析。

- 每章末给出详细的参考文献信息以供读者在本书讨论的相关概念的基础上进一步深入研究。

- 给出本书中使用的所有技术术语的简明术语表,使很少有无线通信领域相关背景的读者也能从本书中受益。

本书面向广泛的读者群体,采用简明易懂的语言对这项技术进行全面的介绍使得本书成为刚刚进入超宽带通信研究领域的个人以及非专业的读者阅读的完整的参考资料,同时也能成为研究生阅读和理解更多的技术手册的帮助资料。另外,对从事管理、市场营销、技术和市场分析、采购的人士,以及专栏作者和学生、刚加入本领域的工程师等,也能从本书中获得益处。

本书各章节的组织如下:

- 第1章提供了完整的超宽带通信的历史和背景介绍。讨论了超宽带通信中的有关概念和超宽带技术的优势和挑战。这一章详细解释了超宽带与传统扩频通信的区别,阐明了超宽带通信与窄带系统以及扩频宽带通信系统的优势和劣势。还介绍了包括单带和多带两类系统,这是在IEEE标准化组织中最为重要的两类技术。并且也对当前美国联邦通信委员会和世界范围的监管组织对超宽带技术的使用的限定进行了介绍,最后简单总结了超宽带技术的应用。

- 第2章总结了超宽带脉冲生成技术。介绍了脉冲生成技术的有关概念,阶跃恢复二极管(SRDs)和漂移阶跃恢复二极管(DSRDs)脉冲的产生方法,以及脉冲成形技术。这一章也给出了关于超宽带天线的详细介绍,还包括系统和网络需考虑的事项。

- 第3章集中于几种脉冲调制/解调方案的优缺点讨论。这

些调制技术包括开关键控(OOK)、脉冲幅度调制(PAM)、脉冲位置调制(PPM)、二相调制,以及发射参考调制(TR)。本章还讨论了能量检测器和经典匹配滤波器的概念,这是绝大多数脉冲检测技术的基础。进而诠释了基于各调制方案的超宽带多址技术,包括跳时和延迟跳变这些多用户信道中冲突避免的技术。

- 第4章考查了超宽带系统面临与其它窄带以及宽带系统共存的干扰问题。按照超宽带发射机密度不同粗略讨论了一些特殊例子,如无线局域网 WLAN(IEEE 802.11 a/b),全球定位系统(GPS)和蜂窝电话网络,它们会使无线服务的性能降低,直至达到有害的程度。

- 第5章给出了超宽带一些关键应用场景的细致和定量预测,包括娱乐、军事和汽车行业、工业领域等。本章给出了过去、现在和将来的超宽带通信的商业部分的目标市场,并依据其市场化的速度优势、技术适应时间表以及直至2010年的超宽带产品市场规划和预测,对其进行了全面市场分析。

- 附录给出了超宽带与 WLAN、GPS 和蜂窝电话干扰问题的深入理论分析,尤其是读者可能会感兴趣的干扰的理论公式推导,作为对第4章的讨论的补充。

致 谢

20080910-11-12 20080910-11-12 20080910-11-12 20080910-11-12 20080910-11-12

在本书的整个准备工作中,我得到了许多人给予的宝贵的帮助、支持和建议。对此,我致以衷心的感谢。我感谢 Prentice Hall 的工作人员,尤其是 Bernard Goodwin 对于本书的支持。我还要对下面这些对本书不同章节做出贡献的人士致以感谢,他们是:Next RF 公司的 Hans Schantz 博士;瑞士 Swisscom Innovation 公司的 Christian Fischer 博士;OFCOM 公司的 Julia Fraser 和 ON World 公司的 Mareca Hatler。

我尤其感谢 Joe O'Neil, Ron Sailors 和 Roger Tilley 对本书手稿的细致审阅,建设性的批评和建议。他们的努力使得本书能让更大范围的读者更容易理解本书。

然后,我还想对下面这些为本书引用的资料提供版权支持的人士表示特别的感谢,他们是:Staccato 通信公司的 Mark Bowles;加拿大通信研究中心的 Mike Sablatash 博士;加拿大工业公司的 Salim Hanna 博士。

作者介绍

法拉纳克·尼库加(Faranak Nekoogar)博士是 Prentice Hall 出版社出版的 *From ASICs to SOC's: A Practical Approach* 一书的合著者。她在加州大学戴维斯分校应用科学系研究超宽带技术多年。她在多址技术、信道估计、同步和超宽带安全无线传感器网络等超宽带研究领域申请了不少专利并发表了大量科技论文。她最近在 Lawrence Livermore 国家实验室的 UWB-RFIDs 小组领导相关研究工作,并在专门集成电路和片上系统的功能和时序验证方面有多年的工作实践经验。

目 录

CONTENTS

译者序

序言

致谢

作者简介

第 1 章 超宽带通信导论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 历史与背景	(2)
1.3 超宽带的相关概念	(3)
1.4 超宽带信号	(5)
1.5 优势	(7)
1.5.1 共享频谱的能力	(7)
1.5.2 大信道容量	(8)
1.5.3 在低信噪比下工作的能力	(9)
1.5.4 低截获和检测概率	(9)
1.5.5 抗干扰	(9)
1.5.6 多径信道中的高性能	(10)
1.5.7 超强的穿透特性	(11)
1.5.8 简单的收发信机结构	(12)
1.6 挑战	(13)
1.6.1 脉冲形状失真	(13)
1.6.2 信道估计	(14)
1.6.3 高频同步	(14)
1.6.4 多址干扰	(15)
1.7 超宽带和扩频系统之间的差别	(16)
1.7.1 直接序列扩频	(16)
1.7.2 频率跳变扩频	(17)

1.7.3 基本的差异	(18)
1.8 单带与多带	(19)
1.8.1 直接序列超宽带	(20)
1.8.2 多带正交频分复用	(21)
1.9 规范化的形势	(22)
1.9.1 当前美国联邦通信委员会的规则	(22)
1.9.2 全球规范化努力	(23)
1.10 美国联邦通信委员会辐射限制	(25)
1.10.1 通信设备	(26)
1.10.2 成像设备	(27)
1.10.3 车载雷达系统	(28)
1.11 超宽带的应用	(30)
1.12 小结	(32)
参考文献	(33)
参考书目	(33)
第2章 超宽带源和天线	(38)
2.1 引言	(38)
2.2 超宽带脉冲的生成	(39)
2.2.1 隧道二极管	(40)
2.2.2 阶跃恢复二极管	(40)
2.2.3 漂移阶跃恢复二极管	(41)
2.2.4 超宽带脉冲的成形	(42)
2.3 超宽带天线	(43)
2.3.1 超宽带天线的概念	(45)
2.3.2 对超宽带天线系统和网络需考虑的事项	(47)
2.4 小结	(54)
参考文献	(55)
参考书目	(57)
第3章 脉冲检测和多址技术	(59)
3.1 引言	(59)
3.2 传统脉冲检测技术	(60)
3.2.1 能量检测器	(60)
3.2.2 传统的匹配滤波器	(60)

3.3 脉冲调制和检测技术	(62)
3.3.1 开关键控	(62)
3.3.2 脉冲幅度调制	(63)
3.3.3 脉冲位置调制	(65)
3.3.4 二相调制	(67)
3.3.5 发射参考调制	(68)
3.4 超宽带多址技术	(74)
3.4.1 跳时-脉冲位置调制	(77)
3.4.2 时延跳变-发射参考调制	(78)
3.5 小结	(79)
参考文献	(80)
参考书目	(81)
第4章 干扰问题	(84)
4.1 引言	(84)
4.2 对 IEEE 802.11 a/b 无线局域网的干扰	(86)
4.2.1 干扰模型	(87)
4.2.2 WLAN 小区覆盖	(89)
4.2.3 超宽带在 IEEE 802.11 a/b 系统带内的发射功率 限制	(95)
4.2.4 超宽带干扰与超宽带发射机分布密度的关系	(97)
4.2.5 SNR 衰减 1 dB 时所允许的超宽带设备分布密度	(104)
4.2.6 单个超宽带干扰的最小隔离距离	(105)
4.2.7 在实际分布密度条件下超宽带设备的最大发射功率	(106)
4.2.8 在超宽带干扰下 802.11a 及 802.11b 系统的最大速 率容量比较	(108)
4.3 对 GPS 接收机的干扰	(111)
4.3.1 干扰模型	(112)
4.3.2 超宽带干扰源与 GPS 接收机之间的隔离指标	(114)
4.4 对蜂窝系统的干扰	(116)
4.4.1 对乡村环境下 CDMA 蜂窝系统的干扰	(118)
4.4.2 对市区环境下 CDMA 蜂窝系统的干扰	(120)

4.5 小结	(122)
参考文献	(123)
参考书目	(123)
第5章 应用和市场目标	(129)
5.1 引言	(129)
5.2 初期大量的市场机遇	(129)
5.3 市场化速度的优势	(131)
5.4 超宽带加快消费电子、个人电脑和移动通信行业的融合	(133)
5.5 潜在市场	(134)
5.6 消费电子产品	(135)
5.7 目标个人电脑市场	(137)
5.8 超宽带在消费电子中的应用	(139)
5.9 面向个人电脑的应用	(140)
5.10 未来的庞大市场	(142)
5.11 采用时间表	(144)
5.12 其它适用的市场	(145)
5.12.1 有线电视	(145)
5.12.2 定位和测量(资产管理)	(146)
5.12.3 雷达和成像	(146)
5.13 超宽带技术的主要参与公司	(149)
5.14 小结	(150)
参考文献	(150)
参考书目	(152)
附录:超宽带干扰对已存在的无线系统的干扰的理论推导	(154)
A.1 802.11 a/b 无线局域网系统	(154)
A.2 GPS 接收机	(157)
A.3 基于 CDMA 的蜂窝系统	(160)
参考文献	(162)
缩略语表	(163)
术语表	(168)
索引	(177)

第1章

超宽带通信导论

1.1 引言

近年来无线通信技术的迅猛发展及其在商业中的成功应用深深地影响了我们的日常生活。从模拟蜂窝通信到数字蜂窝通信的转变,第三代、第四代无线通信系统的出现,以及用 Wi-Fi 和蓝牙取代有线连接,使得消费者们在任何时间以及任何地点都能够接入大量的信息。随着消费者对更高的容量、更快速的服务以及更安全的无线连接的需求的不断增长,我们不得不在过度拥挤以及有限的无线频谱上寻找新的增强型技术。这是因为每一种无线技术都占有某一特定的频段:例如,电视信号、广播信号、蜂窝电话等等,它们都是以不同的频率发射从而避免相互之间的干扰。其结果就是当有新的无线业务引入时,对可用的频谱的限制变得越来越苛刻。

超宽带技术通过允许新的业务与当前的无线通信系统以最小或者没有干扰的方式共存,为几近枯竭的无线频谱资源提供了一种极有前途的解决方案。这种共存带来的好处就是避免了所有其它无线业

务的提供者都必须支付的昂贵的频谱授权费^①。

本章从其历史与背景出发,对超宽带通信做了全面的概述。接着讨论了超宽带技术的相关概念,以及在无线通信中的优势和所面临的挑战。本章还消除了关于超宽带和扩频的常见错误概念,并调查了与窄带和宽带通信相比,超宽带的长处与弱点。进而解释了单带和多带这两种方法,它们是被 IEEE 标准所考虑的两种主要的超宽带技术。接着我们讨论了当前美国联邦通信委员会(FCC)对超宽带在美国的开展制定的管制条例并简要地讲述了全球范围内在管制方面的努力。我们以对超宽带应用的简明概括结束本章;对当前以及未来超宽带应用和它们的潜在市场的详细讨论将在第 5 章中给出。

1.2 历史与背景

超宽带通信与其它通信技术的根本不同之处在于它在发射机和接收机之间采用非常窄的射频脉冲进行通信。应用短持续期的脉冲作为其基本信号单元通信直接带来非常宽的带宽并且带来了若干优势,诸如大的吞吐量、隐密性、对干扰的鲁棒性,与现有的无线业务可以共存(见 1.4 节)。

超宽带通信并非一项全新的技术;事实上,早在 1901 年就被马可尼所采用,他通过使用火花隙发射机来发射莫斯码序列穿越大西洋。然而,在当时人们从未考虑电磁脉冲所带来的使用大的带宽的好处以及实现多用户通信系统的能力。

在马可尼之后约 50 年,基于脉冲的现代发射机以脉冲雷达的形式在军事应用中获得了动力。上个世纪 60 年代晚期,美国的一些现代超宽带通信的先驱有美国 Catholic 大学的 Henning Harmuth 以及 Sperry Rand 公司的 Gerald Ross 和 K. W. Robins^[2]。从上个世纪 60

^① 在 2000 年 4 月,英国对下一代无线应用的频谱拍卖获得了 354 亿美元^[1]。

年代到 90 年代,该技术作为诸如高保密通信一类的机密项目,一直被限制为军队和国防部的应用。然而,近期微处理器以及半导体技术中的快速切换技术的进步,使得超宽带技术的商业应用已具备一切条件。因此,将超宽带技术视为一种已长期存在技术的新的名字更为合适。

在过去的几年中,将超宽带技术商业化的兴趣在不断增加,超宽带系统的开发者们开始向美国联邦通信委员会施加压力,促使其同意超宽带技术的商用。2002 年 2 月,美国联邦通信委员会通过了超宽带技术的各种设备在严格功率辐射限制下的商用的初期报告和规则(R&O)。1.9 节和 1.10 节将对超宽带技术标准化和全球管制的近期历史进行详细描述。图 1-1 总结了超宽带技术发展的时间表。

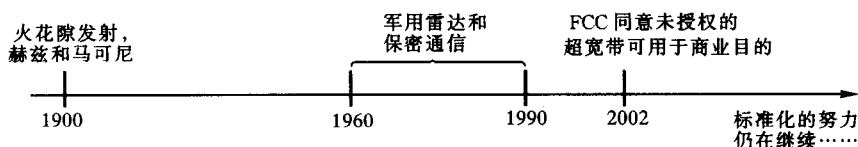


图 1-1 UWB 发展简史

1.3 超宽带的相关概念

传统的窄带通信系统对调制的连续波射频信号使用某一特定的载波频率来发射和接收信息。连续波在较窄频带内的信号能量有明确的定义,这使得其很容易被检测到和截获而易于受到攻击。图 1-2 中描述了时域和频域中的窄带信号。

如 1.2 节中所述,超宽带系统不使用载波,采用低占空因子(小于 0.5 个百分点)的短持续期(皮秒至纳秒)脉冲来发射和接收信息。对占空因子的一个简单定义就是脉冲出现的时间与总的传输时间之比。