

跳时超宽带(TH-UWB) 通信集成电路设计

段吉海 王志功 李智群 著



科学出版社

跳时超宽带 (TH-UWB) 通信 集成电路设计

段吉海 王志功 李智群 著

桂林电子科技大学学术著作出版基金资助出版

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要针对跳时超宽带(TH-UWB)无线通信系统,系统地论述和研究 TH-UWB 基带信号收发信系统及其集成电路设计方法,研究 TH-UWB 通信射频收发信系统及其集成电路设计方法。全书共 9 章,主要包括:UWB 通信技术的发展过程和概况;UWB 无线通信系统;UWB 多址通信 TH-PPM 信号产生的建模与设计;TH-PPM UWB 系统的接收处理与设计;UWB 通信系统中的射频集成电路工艺、器件模型及设计方法;TH-UWB 通信射频发信机集成电路设计;TH-UWB 通信射频接收机的 LNA 集成电路设计;TH-UWB 通信射频接收机的主放大器集成电路设计;TH-UWB 通信射频接收机的射频解调器集成电路设计。

本书的读者对象主要是通信与信息系统学科、电路与系统学科、集成电路设计学科和微电子学与固体电子学学科的高年级本科生、硕士研究生、博士研究生以及从事相关技术工作的工程技术人员等。

图书在版编目(CIP)数据

跳时超宽带(TH-UWB)通信集成电路设计/段吉海,王志功,李智群著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033318-6

I. 跳… II. ①段…②王…③李… III. 通讯设备-集成电路-设计 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 004864 号

责任编辑:魏英杰 张 宇 / 责任校对:钟 洋

责任印制:赵 博 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 2 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 2 月第一次印刷 印张: 10 1/4

字数: 196 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

超宽带(UWB)技术具有很多独特的特点:①低截获/检测概率;②强抗多径能力;③具有良好的穿透障碍物能力;④低成本、低功耗、效率高。随着 UWB 信号形成与接收技术的发展,人们对 UWB 信号传播特性有了较深入的认识,并已意识到其在通信、雷达、定位、导航等多个领域的广泛应用前景。因此,UWB 技术已成为无线通信领域的一个研究热点。

随着集成电路的快速发展和芯片特征尺寸的不断缩小,集成电路生产工艺线的投资费用越来越高,因而出现了集成电路设计和制作两个独立的产业方向,即出现了专门从事集成电路制造的代工厂(Fabfoundry)和无生产线(Fabless)的专业集成电路设计单位。无生产线集成电路设计方式可以利用代工厂先进的集成电路生产线工艺,充分发挥集成电路设计人才优势,降低成本,实现具有自主知识产权的集成电路设计。

本书作者在 UWB 通信以及集成电路设计方面进行了多年的理论与技术研究,积累了一定的理论知识和实践经验。

本书在 863 课题(无线传感网节点嵌入式 SoC 芯片和射频收发芯片设计, No. 2007AA03Z454)、国家自然科学基金(基于 TH-UWB 的室内无线语音通信 SoC 研究与设计, No. 61161003)和广西自然科学基金(TH-UWB 通信专用集成电路芯片的研究, No. 0575096)等的支持下,基于 UWB 通信的相关技术标准,针对跳时超宽带(TH-UWB)无线通信系统,研究 TH-UWB 基带信号收发信系统及其集成电路设计方法、TH-UWB 通信的射频收发信系统及其集成电路设计方法,旨在为 UWB 通信技术的进一步发展提供理论和技术基础。

在桂林电子科技大学学术著作出版基金的大力资助及科学出版社的帮助下,本书由科学出版社出版,作者在此表示感谢!

由于作者水平有限,错误和不当之处在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

作 者
2012 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
参考文献	5
第 2 章 UWB 无线通信系统	7
2.1 UWB 通信技术概述	7
2.1.1 UWB 信号的定义	7
2.1.2 UWB 信号波形的时域与频域特性	7
2.1.3 UWB 无线通信的优点	14
2.1.4 UWB 通信的标准与规范	16
2.1.5 UWB 通信的调制技术	17
2.2 UWB 无线多址通信系统的组成	20
2.2.1 TH-UWB 和 DSSS-UWB 多址发信系统及信息调制方式	21
2.2.2 接收系统信号处理	23
2.3 超宽带通信射频收发前端	24
2.3.1 一种带射频调制的 UWB 脉冲发射机	24
2.3.2 超宽带射频接收前端	25
2.4 小结	26
参考文献	27
第 3 章 UWB 多址通信 TH-PPM 信号产生的建模与设计	29
3.1 UWB 发信系统 TH-PPM 信号产生的建模原理	29
3.2 TH-PPM UWB 发信系统的具体实现模型与设计	30
3.2.1 基准时钟产生器	31
3.2.2 分频器的建模与 VHDL 程序设计	31
3.2.3 信息码产生器	32
3.2.4 PN 码(伪随机码)产生器	32
3.2.5 二进制加法器	36
3.2.6 比较器	37
3.2.7 PPM 信号形成器	38
3.3 TH-PPM 信号产生的顶层电路与时序仿真	40
3.4 小结	41

参考文献	41
第 4 章 TH-PPM UWB 系统的接收处理与设计	43
4.1 TH-PPM UWB 系统的接收信号处理	43
4.2 UWB TH-PPM 信号接收系统的 VHDL 设计	45
4.2.1 时钟信号提取	45
4.2.2 “模板信号”模块	47
4.2.3 “相关检测器”模块	48
4.2.4 “搜索控制与失步保护”模块	49
4.2.5 “判决器”模块	50
4.3 接收系统的 VHDL 设计顶层电路与时序仿真	51
4.4 接收系统的位同步及状态同步性能分析	53
4.4.1 位同步系统的性能分析	53
4.4.2 接收系统的状态同步性能分析	54
4.5 小结	56
参考文献	56
第 5 章 UWB 通信系统中的射频集成电路工艺、器件模型及设计方法	57
5.1 集成电路发展状况	57
5.2 UWB 通信系统中的射频集成电路工艺	58
5.2.1 CMOS 工艺	59
5.2.2 GaAs 工艺	60
5.2.3 SiGe BiCMOS 工艺	61
5.3 器件模型	62
5.3.1 MOS 有源器件模型	62
5.3.2 无源器件模型	64
5.4 UWB 通信系统中射频集成电路的设计方法	67
5.4.1 UWB 通信系统中射频集成电路的设计流程	67
5.4.2 UWB 通信系统中射频集成电路设计的注意事项	68
5.5 小结	68
参考文献	68
第 6 章 TH-UWB 通信射频发信机集成电路设计	70
6.1 UWB 射频发信机模型	71
6.1.1 传统的 UWB 发信机结构	71
6.1.2 单脉冲 UWB 信号的发信机结构	72
6.1.3 多脉冲 UWB 信号的发信机结构	73
6.2 多脉冲 TH-UWB 射频发信机的设计	74

6.2.1 设计要求	74
6.2.2 设计原理	74
6.2.3 前仿真	84
6.3 芯片版图与测试结果分析	85
6.4 小结	88
参考文献	88
第7章 TH-UWB 通信射频接收机的 LNA 集成电路设计	91
7.1 低噪声放大器网络的噪声分析	91
7.1.1 二端口网络的噪声分析	91
7.1.2 MOS 晶体管噪声模型	94
7.1.3 MOS 晶体管最小噪声系数的计算	96
7.2 MOS 低噪声放大器的基本电路结构和技术指标	98
7.2.1 CMOS 低噪声放大器的几种电路结构	98
7.2.2 CMOS 低噪声放大器的技术指标	101
7.3 TH-UWB 通信超宽带低噪声放大器设计	101
7.3.1 UWB LNA 的研究现状	102
7.3.2 UWB LNA 的电路设计	102
7.3.3 宽带输入阻抗匹配与噪声匹配	103
7.3.4 平衡输出的实现	103
7.4 UWB 低噪声放大器电路仿真	104
7.5 版图与芯片及结果分析	105
7.6 小结	107
参考文献	108
第8章 TH-UWB 通信射频接收机的主放大器集成电路设计	110
8.1 超宽带主放大器的指标要求	110
8.1.1 带宽要求	110
8.1.2 增益要求	110
8.1.3 具有 AGC 功能	111
8.1.4 其他要求	111
8.2 传统的宽带放大技术	112
8.2.1 平衡放大器	112
8.2.2 负反馈放大器	112
8.2.3 并联补偿放大器	113
8.3 超宽带主放大器设计的基本原理	114
8.3.1 超宽带主放大器的分类与选择	114

8.3.2	跨阻放大器基本原理	117
8.3.3	跨导放大器基本原理	123
8.3.4	跨阻跨导宽带放大器电路结构	124
8.4	TH-UWB 通信射频接收机中的主放大器集成电路设计	126
8.4.1	主放大器的组成	126
8.4.2	电路结构	127
8.4.3	参数选取与设计优化	129
8.4.4	版图与引脚图	130
8.4.5	芯片照片	130
8.4.6	测试与结果	132
8.5	小结	134
	参考文献	134
第9章	TH-UWB 通信射频接收机的射频解调器集成电路设计	136
9.1	射频信号解调的基本原理	136
9.1.1	射频信号解调的种类和特点	136
9.1.2	包络检波工作原理	138
9.2	TH-UWB 射频解调器的基本要求	145
9.2.1	输入电路带宽要求	146
9.2.2	灵敏度要求	146
9.2.3	动态范围要求	146
9.2.4	其他要求	146
9.3	TH-UWB 射频解调器系统结构	147
9.4	TH-UWB 射频解调器电路拓扑结构与工作原理	148
9.4.1	解调器电路拓扑结构	148
9.4.2	MOS 检波电路工作原理分析	148
9.4.3	其他功能电路工作原理分析	150
9.4.4	设计优化	150
9.5	系统实验架构	151
9.6	版图、仿真及测试	151
9.6.1	版图与引脚图	151
9.6.2	前仿真波形	153
9.6.3	芯片照片与测试结果	153
9.7	小结	155
	参考文献	155

第 1 章 绪 论

人类社会已发展到了信息化社会,社会的信息化进一步促进了现代通信技术的高速发展,而现代通信技术的发展,又加速了社会的信息化进程。目前通信系统的发展面临若干问题,主要有:室内高速数据的传输问题;带宽与数据率的矛盾问题,即提高数据率就必须增加系统带宽;频率资源不足的问题等。超宽带(Ultra Wideband, UWB)信号传输技术正是很好地解决上述问题的一种通信方式。

UWB 信号指系统所传递的信号是非正弦、持续时间极短的单个周期或少数几个周期的脉冲串无线电信号,而不是常规通信系统所采用的连续正弦波信号。国外文献中曾使用过多个术语:impulse, carrier-free, base-band, time domain, nonsinusoidal, orthogonal function and large-relative-bandwidth radio/radar signals。1989 年美国国防部将其称为 Ultra Wideband 后,一般均采用该术语,简称 UWB^[1]。本书亦采用这一术语。

随着 UWB 信号产生与接收技术的发展,对 UWB 信号传播特性的认识逐渐完善。人们已意识到它在通信、雷达、定位、导航和电子对抗等诸多领域的广泛应用前景,UWB 已成为无线通信领域的一个研究热点。UWB 具有很多独特的特点^[2-8]:

① 低截获/检测概率。脉冲越窄,带宽越宽,功率谱密度越低。低功率谱密度使信号难于被敌方截获或检测到,非常适合于军事保密通信。同时信号对其他服务的干扰小,对商用通信也非常有利。

② 强抗多径能力。由于脉冲很窄,且占空比低,经传播延时的反射波与直射波的时间差一般会超过 UWB 脉冲宽度,所以多径信号在时间上是分离的,其重合或部分重合的概率很低,从而 UWB 通信系统的抗多径能力很强。这一特点使其非常适合密集多径环境,特别适用于无线通信系统。

③ 具有良好的穿透障碍物能力。UWB 信号可以穿透墙壁或其他障碍物。这可用于对人或其他目标进行动目标检测和测距,也可穿透地面检测道路、桥梁的内部情况。

④ 低成本、易维护。系统硬件构造简单,发射机由窄带数字系统和 UWB 极窄脉冲产生器构成,二者都工作于开关状态,且成本低、功耗低、效率高。而接收机没有传统通信方式的中频处理系统,实现简单,除少数射频(RF)电路外,整个系统可集成为前端电路、时基、微处理器三个部分,几乎为全数字结构。

国外发展概况

UWB 技术源于 20 世纪 60 年代初开始的对时域电磁学的研究,其目的在于用冲激响应来研究某类微波网络的瞬态特性。为测量微波网络的冲激响应,必须提供冲激函数的适当近似,产生持续时间极短的非正弦脉冲信号。Ross 成功地将冲激测量技术应用于宽带辐射天线基元设计后,人们开始采用同样的装置开发窄脉冲雷达和通信系统。

1972 年 Robbins 实现了高灵敏度的窄脉冲接收机,进一步加快了 UWB 技术开发的步伐。

1973 年 Ross 获得了第一个关于 UWB 通信系统的专利^[9],这是 UWB 技术发展的一个里程碑。同年,Morey 获得了第一个用于地球物理测量的 UWB 穿地雷达专利^[10]。

1978 年 Ross 首先实现了自由空间内的 UWB 通信,1984 年认识到了 UWB 技术在低截获/检测概率(LPI/D)通信中存在巨大的潜在应用价值,并在 1987 年完成了 UWB LPI/D 通信的演示系统开发。

1989 年美国国防部正式将这一技术定名为 Ultra Wideband,1990 年美国国防预先研究项目局(DARPA)的 UWB 技术评价小组公开发表了 UWB 技术的评估报告,对 UWB 技术的先进性和应用前景作了充分肯定。

1994 年以前 UWB 领域的研究基本上都属于美国政府的机密计划,1994 年以后才取消了保密限制,加快了 UWB 技术商业化的发展速度。

2003 年 4 月,英特尔公司在 IDF(英特尔开发者论坛)上演示了以 220Mbit/s 的速度传输数据的超宽带无线系统原型,是世界首次达到这一速度。该原型由英特尔通信和内联技术实验室负责人 Kahn 进行演示。Kahn 称,传输和接收组刚走出实验室,就在英特尔开发者论坛的日本舞台上实现了在 1m 的距离内、约 2 小时即达到稳定的 220Mbit/s 的数据传输率。这一速率比英特尔公司一年前在日本展示的 100Mbit/s 的系统快了一倍多。超宽带无线之所以能达到如此高的数据传输速率,是因为它通过一个极大容量的频谱范围传输数据。美联邦通信委员会已批准其使用在 3.1GHz 和 10.6GHz 之间的 7.5GHz 带宽,这一范围是 IEEE 802.11b-WLAN 频谱范围的 80 倍,是 802.11a 技术传输速度的 25 倍。

2005 年 ITU 确定了各国及各地区 UWB 频谱分配的若干原则。2006 年英国、日本、韩国等相继开始根据 ITU 的规定,陆续公布了 UWB 的监管规范,以逐步开放民用超宽带产品。

2007 年欧盟批准欧洲 27 个成员国家可以使用 UWB 有源 RFID 定位系统。2007 年英国的 OFCOM 公布开放室内 UWB 民用设备的监管规定,从法律上批准了 UWB 设备的免授权民用,并自 2008 年 8 月 13 日开始生效。

近年来,学术界和工业界在 UWB 通信相关理论和技术上做了大量工作,例如针对脉冲位置调制(pulse position modulation, PPM)信号的盲信号均衡^[11]、UWB 天线理论与技术^[12]、采用 RAKE 接收机处理 UWB 信号^[13]、脉冲无线电 UWB(impulse radio UWB, IR-UWB)网络的 MAC 层^[14]、正交频分复用 UWB(orthogonal frequency division multiplexing UWB, OFDM UWB)无线网络的信道特性分析及建模^[15]、正交跳时超宽带(time-hopping UWB, TH-UWB)信号的功率谱分析^[16]、打印式 UWB 天线技术^[17]、低噪声放大器技术^[18]、UWB 系统多脉冲设计^[2]、UWB 脉冲产生方法^[19]、多径环境下跳时脉位调制超宽带(time-hopping pulse position modulation UWB, TH-PPM UWB)性能分析等^[20]。

全球最大的专业音视频展览会 Infocomm 2008 正在美国拉斯维加斯隆重召开,著名话筒厂商铁三角 Audio-Technica 展出了新款 SpectraPulse UWB 无线麦克风系统。通过已获得专利的 UWB 技术, SpectraPulse 绕过日益挤迫的射频环境,提供了一个没有性能和安装部署问题的音频无线系统。铁三角联合了 Multi-spectral Solutions, Inc. (MSSI) 一起推动 UWB 技术的应用。铁三角的 SpectraPulse UWB 无线麦克风系统将是 UWB 技术在音频领域的首款商业化应用产品,其近期已经拿到 FCC 认证的牌照。铁三角的 SpectraPulse UWB 无线麦克风系统的组成部分包括:mtul01 麦克风发射机、drml41 数字接收机模块、aci707 音频控制界面、cei007 和充电器的加密接口^[21]。

在制造商方面,目前国外还有多家厂商开发推出了 UWB 芯片、应用开发平台和相关设备。

国内发展概况

我国在 UWB 领域也进行了一些研究,先后得到了国家 863、国家自然科学基金等项目的支持。然而国内的研究多集中在系统验证、电磁兼容分析等方面,针对 UWB 芯片尤其是射频芯片的研究尚属起步阶段。中国科学院微电子研究所作为中国无线个域网标准组(C-WPAN)的成员单位,为我国 UWB 标准的制定提供了频谱规划和物理信道划分方面的建议,并及时掌握了目前我国 UWB 频谱的规划现状。信息与工业化部已经在其网站上对我国 UWB 的预开放频段进行公示,公示频段包含了低频段的 4.2~4.8GHz 和高频段的 6~9GHz, UWB 在中国的频谱开放和市场开发已经为期不远。

中国科学院上海微系统与信息技术研究所和中芯国际联合生产出首款低功耗超宽带通信用混频芯片。该款芯片是利用国内工艺建立了 RF CMOS 器件与电路设计模型。

2005 年国家自然科学基金资助了“超宽带高速无线接入理论与关键技术”的重点研究项目,由哈尔滨工业大学、南京邮电大学和桂林电子科技大学共同承担。

863 计划信息领域通信主题的课题承担单位——东南大学移动通信国家重点实验室和毫米波国家重点实验室,于 2005 年 12 月成功研制出我国第一套高速超宽带无线通信实验、演示系统。该项研究得到国家 863 计划的支持和资助,已于 2005 年 12 月 23 日通过了国家 863 计划通信技术主题专家组的现场验收,验收专家组认为该课题超额完成了合同要求的任务。该系统采用自主设计的双载波—正交频分复用(dual carrier orthogonal frequency division multiplexing, DC-OFDM)方案,无线传输速率达到 110Mbit/s,传输距离超过 10m,可同时传输 4 路高清度电视节目、未压缩视频图像和高速无线数据传输。

据中国科学院微电子研究所消息,该所射频集成电路研究室与新加坡通信资讯研究院合作,已联合开发出中国首个符合中国频谱规划和标准的超宽带无线音视频传输系统。超宽带无线音视频传输系统采用中国频谱规划的 6~9GHz 频段,包括射频收发前端模块、数字基带收发模块和视频编解码模块,实现了 1080p 高清视频的无线传输,视频画面清晰流畅。

2010 年中国科学技术大学超宽带无线通信研究取得重要进展。该校承担的国家 863 计划目标导向课题“超宽带 SoC 芯片设计及组网试验”顺利通过验收。

但总体来说,在 UWB 通信研究方面,国内与国际先进水平还有相当大的差距。

OFDM UWB 和 IR-UWB 作为两大并驾齐驱的 UWB 通信技术,在应用上各有千秋。IR-UWB 技术是以 TH-PPM UWB 和直接序列超宽带(direct sequence UWB,DS-UWB)技术来实现多址接入。基于这两个体制的 UWB 技术,从系统模型到无线信道估计,都吸引了众多的科研工作者进行研究。

对于 TH-UWB 技术,从现有的研究状况看,一方面大部分研究处于纯理论的算法或仿真研究,而且传统的 TH-UWB 通信系统模型实现难度很大;另一方面采用通用元器件电路来验证系统模型限制了其性能指标,甚至无法实现所要求的功能。如何对其系统模型进行改进,使之不仅在理论上而且在现有技术上能实现原有通信目的,是使 TH-UWB 技术走向应用的迫切要求,而采用定制的专用集成电路设计技术是解决系统验证难题的关键。

发展趋势

UWB 信号的独有优势在军事、安全以及商业通信应用方面有极其重要的实用价值。预计今后 UWB 应用发展主要集中在以下方面:

军事通信:UWB 技术在军事领域最重要的应用方向是 LPI/D 保密通信,有可能取代扩频技术在 LPI/D 保密通信中的地位,实现高性能、低成本的移动高速战

术通信网络。例如,可以将 UWB 通信设备和 GPS 系统直接装备到单兵,在战斗小组中灵活机动地构建移动无线通信网络,而且一旦有其中一人由 GPS 准确定位,则战斗群体中每一个士兵均能实现准确定位,该网络还能与指挥中心相联结,方便指挥中心掌握整个形式和实施命令传达。

商业应用:今后,商业应用将是推动 UWB 技术发展的主要动力。例如,大型陆上运输工具(如重型矿山运输机械的防撞传感器)、准确的地理勘探雷达系统、工业射频监视系统、射频识别标签系统(可附着于传感器上监视仓库或医院内重要设备的运行状态,并将传感器数据和位置信息传至控制中心)、在火灾现场消防队员间的语音通信和三维定位跟踪系统等。

UWB 通信最重要的应用是室内密集多径情况下的高速无线局域网系统。它被学术界认为是完成室内点对点或点到多点的数据、视频、传感信息传输的一种极具竞争力的实现方式,而且也是解决高速网络本地分配点与家庭或办公室之间高速无线链接的一种方式。这种能容纳多个高数据率用户同时工作的移动无线电 UWB 通信系统将是通信界的研究热点之一^[22,23]。

参 考 文 献

- [1] Gerald F Ross. Early Motivations and History of Ultra Wideband Technology. 2002. <http://www.Uwbst2002.com>.
- [2] Xia B, Xie N, et al. An Improved Wavelet-Based Pulse Design for UWB System//Proceedings of 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009: 1-3.
- [3] Donna Leclair. On the Significance of UWB Wireless Technology for Industrial Users//IEEE International Conference on Ultra-Wideband, 2009: 1.
- [4] 张在琛, 毕光国. DC-OFDM 超宽带无线通信系统. 高技术通讯, 2007, 17(7): 676-680.
- [5] Chen Y F, Beaulieu N C, Shao H. SNR and SIR Estimation for Multiuser UWB IR Systems with TH-BPSK. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(5): 465-468.
- [6] Norman C Beaulieu, Niranjayan S. UWB Receiver Designs Based on a Gaussian-Laplacian Noise-Plus-MAI Model. IEEE Transactions on communications, 2010, 58(3): 997-1006.
- [7] Gonzalo Llano, Juan Reig, Lorenzo Rubio. Analytical Approach to Model the Fade Depth and the Fade Margin in UWB Channels. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(9): 4214-4221.
- [8] 赵立昕, 蔡志坚, 周正. 超宽带信号的时频分析. 高技术通讯, 2006, 16(2): 133-135.
- [9] Ross G F. Transmission and Reception System for Generation and Receiving Base-band Duration Pulse Signals without Distortion for Short Base-BAND Pulse Communication System; US, 3728632. 1973-04-23.
- [10] Morey R M. Geophysical Surveying System Employing Electromagnetic Impulses; US, 3806795. 1974-04-23.
- [11] Patrik Paajarvi, James P LeBlanc. Blind Linear Equalization of PPM Signals Using Third-Order Moments. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(4): 1298-1032.
- [12] Ahmed O M H, Sebak A R and Denidni T A. Compact UWB printed monopole loaded with dielectric re-

- sonator antenna. *Electronics Letters*, 2011, 47(1):1-2.
- [13] Christos Thomos, Grigorios Kalivas. FPGA-based Architecture of a DS-UWB Channel Estimator and RAKE Receiver employing a Hybrid Selection Scheme// *IEEE 17th International Conference on Telecommunications*, 2010;903-909.
- [14] Broustis I, Vlavianos A, Krishnamurthy P, Krishnamurthy S, et al. MAC Layer Throughput Estimation in Impulse-Radio UWB Networks. *Journal of Transactions on Mobile Computing*, 2010;1-15.
- [15] Abbasi Q H, Sani A, Alomainy A, Yang Hao. On-Body Radio Channel Characterization and System-Level Modeling for Multiband OFDM Ultra-Wideband Body-Centric Wireless Network. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2010, 58(12): 3485-3492.
- [16] Majhi S, Madhukumar A S, et al. Power Spectral Analysis of Orthogonal Pulse-Based TH-UWB Signals// *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring)*, 2010;1-5.
- [17] Ching-Wei Ling, Shyh-Jong Chung. A Simple Printed Ultrawideband Antenna With a Quasi-Transmission Line Section. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 2009, 57(10):3333-3336.
- [18] Giuseppina Sapone, Giuseppe Palmisano. A 3-10-GHz Low-Power CMOS Low-Noise Amplifier for Ultra-Wideband Communication. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2010;1-9.
- [19] Zhu Y L, Jonathan D Zuegel, John R Marcante, Wu H. Distributed Waveform Generator, A New Circuit Technique for Ultra-Wideband Pulse Generation, Shaping and Modulation. *IEEE Journal of solid-state circuits*, 2009, 44(3):808-823.
- [20] Moez HIZEM, Ridha BOUALLEGUE. Performance of TH-PPM Ultra Wideband Systems in Multipath Environments//*Proceedings of International Conference on Telecommunication*, 2009; 109-112.
- [21] 叶风. 铁三角推出超宽带 UWB 无线话筒系统. 2008. <http://www.onewires.com/article/show-47515-1.html>.
- [22] Win M Z and Scholtz R A. Characterization of Ultra-Wide Bandwidth Wireless Indoor Channels; a Communications-Theoretic View. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2002, 20(9): 1613-1627.
- [23] Choi J D, Scholtz R A. Performance of Ultra-Wideband Communications with Suboptimal Receivers in Multi-path Channel. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2002, 20(9):1754-1766.

第 2 章 UWB 无线通信系统

本章首先介绍 UWB 的信号定义, UWB 信号波形的时域和频域特性, UWB 通信的特点、标准、规范以及 UWB 调制技术, 然后对 UWB 无线多址通信系统和 UWB 通信射频收发前端进行了研究。

2.1 UWB 通信技术概述

2.1.1 UWB 信号的定义

UWB 信号是指非正弦、持续时间极短的单个或一组脉冲无线电信号。其主要特点是它所占带宽与中心频率之比远大于普通的宽带系统。

根据美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)对超宽带信号的定义, 超宽带信号是指“ -10dB 功率点处的相对带宽大于 20% 或射频带宽大于 500MHz ”的信号^[1-6, 15]。相对带宽 η 指

$$\eta = \frac{f_h - f_l}{(f_h + f_l)/2} \quad (2.1)$$

式中, f_h 、 f_l 分别是信号频谱中 -10dB 功率点处对应的上、下频率点; $(f_h + f_l)/2$ 是信号的中心频率。

2.1.2 UWB 信号波形的时域与频域特性

在 UWB 通信中, 由于信息是由极窄脉冲携带的, 而高斯型脉冲及其各次微分脉冲具有易于实现且便于理论分析等特点, 因此, 它可用做 UWB 信号波形。除此之外, UWB 还从单波段、单脉冲形式发展到双频段、多频段多脉冲形式, 经历了一系列变化。

1. 高斯脉冲的时域波形及其频谱

高斯脉冲在时域上的数学表示式为^[7, 8]

$$p(t) = Ae^{-(\frac{t}{\tau})^2} \quad (2.2)$$

式中, A 为时间脉冲信号幅度; τ 为时间衰减常数。

通过傅里叶变换得到高斯脉冲对应的频谱函数为

$$P(f) = A\sqrt{\pi\tau}e^{-\pi^2(f\tau)^2} \quad (2.3)$$

高斯脉冲时域波形和对应的频谱示意图分别如图 2-1 和图 2-2 所示。

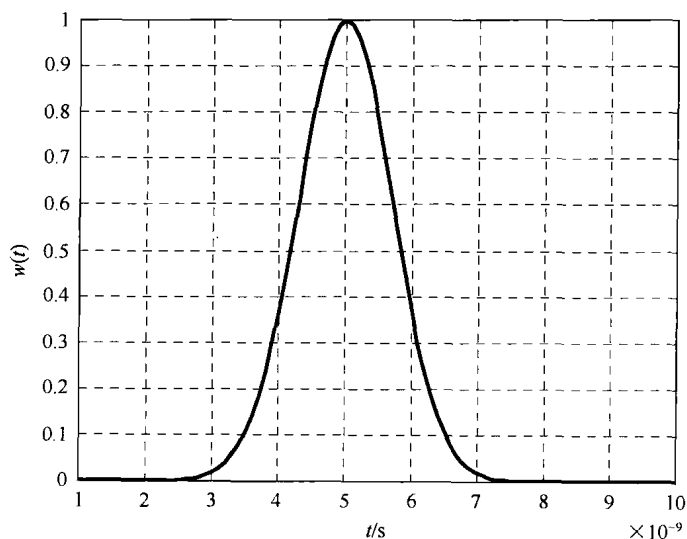


图 2-1 高斯脉冲波形

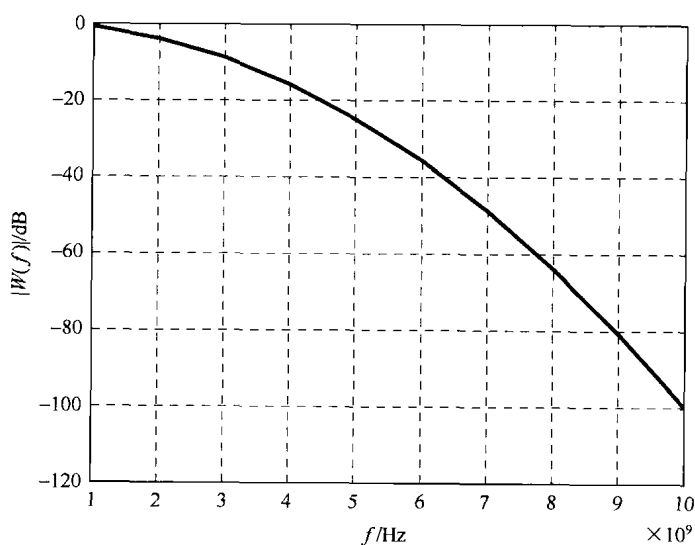


图 2-2 高斯脉冲的频谱(幅度谱)

从式(2.3)和图 2-2 可知,高斯脉冲信号的频谱含有直流分量 $P(0) = A\sqrt{\pi\tau}$ 。

2. 高斯单周脉冲时域波形及其频谱

高斯脉冲一阶导数后得到的脉冲称为高斯单周脉冲^[7,8],其时域数学表达式为

$$p(t) = A \frac{2\sqrt{e}}{\tau} t e^{-2(\frac{t}{\tau})^2} \quad (2.4)$$

通过傅里叶变换可得到单周高斯脉冲对应的频谱函数为

$$P(f) = A 2\pi f \tau^2 \sqrt{2\pi e} \cdot e^{-2\pi^2 (f\tau)^2} \quad (2.5)$$

高斯单周脉冲的波形和频谱示意图分别如图 2-3 和图 2-4 所示。

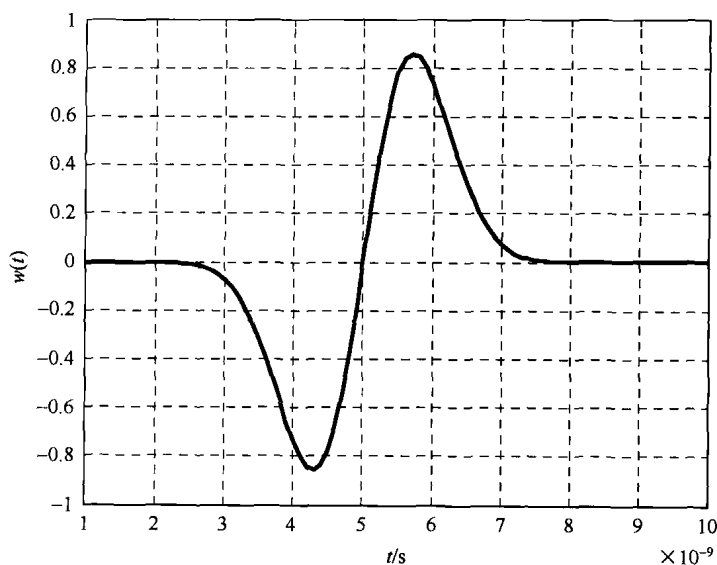


图 2-3 高斯单周脉冲波形

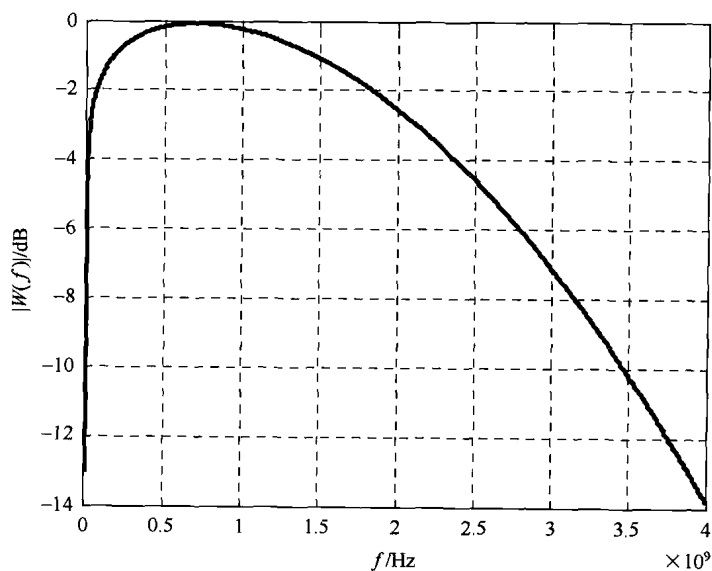


图 2-4 高斯单周脉冲的频谱(幅度谱)