

21 世纪
信息与通信技术教程

无线超宽带(UWB) 通信原理与应用

■ 王金龙 王呈贵 阚春荣 徐以涛 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪信息与通信技术教程

无线超宽带 (UWB) 通信原理与应用

王金龙 王呈贵 阚春荣 徐以涛 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无线超宽带 (UWB) 通信原理与应用/王金龙等编著. 北京: 人民邮电出版社, 2005. 11
21 世纪信息与通信技术教程
ISBN 7-115-13778-1

I. 无... II. 王... III. 宽带通信系统—无线电通信—通信技术—高等学校—教材
IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 107504 号

内 容 提 要

本书是一本专门介绍当前备受关注的无线超宽带 (UWB) 通信技术的书籍。无线超宽带通信涉及到通信、网络、概率论、信号处理等方面的技术, 属于综合性的信息系统。

本书系统地介绍了超宽带通信的基本原理、电波传播、波形及调制、接收机与同步、信道估计、多址技术及组网技术、超宽带应用及开发等方面的内容。

本书条理清楚, 内容丰富, 实用性强, 可供通信和计算机网络类各专业的本科高年级学生和研究生作为专业学习的教材, 也可供相关专业的教师和工程技术人员阅读参考。

21 世纪信息与通信技术教程 无线超宽带 (UWB) 通信原理与应用

◆ 编 著 王金龙 王呈贵 阚春荣 徐以涛
责任编辑 王晓明

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.5

字数: 411 千字

2005 年 11 月第 1 版

印数: 1-3 000 册

2005 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13778-1/TN·2535

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

前 言

近年来,人们对无线超宽带技术的深入研究使其在系统理论、天线、功率放大器、脉冲的产生和接收、同步以及集成电路的设计制造等方面取得了重大进步,尤其是在超宽带无线传输领域的技术进步,使无线超宽带通信成为未来无线网络的重要组成部分成为可能。

相对于传统的窄带无线通信系统,无线超宽带系统具有高空间频谱效率、高测距精度、低截获概率、高抗多径衰落能力并具有与现有窄带通信系统共存、低功耗、低成本、小体积等诸多优点和潜力,可以广泛地应用于多媒体无线通信、高精度定位、雷达、监测、控制、无线传感器网络乃至医学应用等领域,具有广泛的应用前景和重要的理论研究价值,被学术界和工业界所广泛关注。国际上许多著名公司,如 Intel、AT&T、TI、Motorola、IBM、SONY 等都涉足了超宽带的研究,并成立了专门的研究机构,有的正在申请或已获得了超宽带方面的专利,有的彼此间结成了联盟。

本书在编写过程中得到了新世纪人才支持计划资助 (Supported by Program for New Century Excellent Talents in University)。本书的目的是为从事超宽带研究的工程科研人员、本科高年级学生、研究生和教师提供一本有价值的参考书。为了作为教学使用,本书力图完整、独立和系统化。

本书共由 9 章组成。第 1 章介绍了超宽带通信的基本原理、关键技术及相关的基本概念。第 2 章到第 5 章分别论述了超宽带信号的电波传播、波形及调制技术、接收机与同步技术、信道估计技术。第 6 章与第 7 章分别介绍了超宽带系统的多址技术及组网技术。第 8 章介绍了当前超宽带通信的标准化工作。第 9 章介绍了典型的超宽带应用及开发。

本书第 1 章由王金龙编写,第 2、4、7 章由王呈贵编写,第 3、8、9 章由阚春荣编写,第 5、6 章由徐以涛编写。王呈贵校阅了全书初稿,王金龙对全书进行了统稿和审定。在编写过程中,张玉明、张洪亮、刘文强、李桂伦等也做了许多工作,在此表示感谢。

由于作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2005.5 于南京

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 概述	1
1.2 UWB 通信的基本原理	3
1.2.1 概念	3
1.2.2 分类	3
1.2.3 脉冲无线电 (Impulse Radio)	3
1.2.4 多频带 UWB	6
1.2.5 与其他通信方式的比较	8
1.2.6 特点	10
1.2.7 标准化	14
1.2.8 关键技术及挑战	16
1.3 UWB 无线电的主要应用	20
1.4 小结	22
第 2 章 UWB 电波传播	26
2.1 UWB 信道的电波传播概述	26
2.2 大尺度路径损耗与链路预算	26
2.2.1 IEEE 802.15.3a 的路径损耗模型	27
2.2.2 用于电磁兼容研究的 UWB 路径损耗模型	28
2.2.3 链路预算	28
2.3 小尺度衰落与多径传播	29
2.3.1 多径测量	29
2.3.2 多径信道的统计特性	30
2.3.3 UWB 的室内信道统计特性	31
2.4 UWB 的信道模型	32
2.4.1 S-V 室内信道模型	32
2.4.2 Δ -K 模型	34
2.4.3 修正的 S-V 室内信道模型 (IEEE 802.15.3a 的室内信道模型)	35
2.4.4 POCA-NAZA 模型	40
2.4.5 Dajana Cassioli 模型	42
2.5 确定性模型	43
2.6 小结	44
第 3 章 超宽带波形及调制技术	47
3.1 超宽带波形	47

3.1.1	高斯脉冲信号	48
3.1.2	升余弦脉冲波形	51
3.1.3	多周期 (Polycycle) 脉冲波形	52
3.1.4	高斯脉冲的改进	54
3.1.5	脉冲串 (Pulse Train)	54
3.1.6	脉冲的产生	56
3.2	脉冲调制方式	58
3.2.1	基本的脉冲调制方式	58
3.2.2	脉冲间隔调制 (DPIM)	62
3.2.3	脉冲波形调制 (PSM, Pulse Shape Modulation)	63
3.2.4	M 进制双正交键控 (M-BOK, Multiple Bi-Orthogonal Keying)	64
3.3	多频带脉冲调制	65
3.3.1	频谱键控 (Spectral Keying) 调制	66
3.3.2	多频带调制的其他方式	67
3.4	多频带 OFDM 调制	69
3.5	小结	70
第 4 章	接收机与同步技术	72
4.1	概述	72
4.2	接收机技术	73
4.2.1	AWGN 信道的最佳接收机	73
4.2.2	频率选择性衰落信道下的 Rake 接收机	74
4.2.3	多址干扰下的信号检测	76
4.2.4	考虑 ISI 影响的 Rake 接收机结构	77
4.3	定时偏差对接收性能的影响	79
4.3.1	模型	79
4.3.2	PAM 的有条件 BER 敏感性	82
4.3.3	衰落信道下的定时偏差对 BER 性能的影响	90
4.3.4	PPM 对定时偏差的敏感性分析	94
4.3.5	仿真分析	96
4.4	非数据辅助的定时同步算法	102
4.4.1	基于最大似然比的同步算法	102
4.4.2	基于信号循环特性的同步算法	103
4.5	数据辅助的定时同步算法	108
4.5.1	基于最大似然比的同步算法	108
4.5.2	通用似然比测试 (GLRT) 的同步算法	108
4.5.3	GLRT 前导序列的优化设计	116
4.6	小结	123
第 5 章	UWB 信道估计技术	125
5.1	最大似然信道估计	125

5.1.1	信号格式与 Rake 接收机	126
5.1.2	DA 估计	127
5.1.3	NDA 估计	129
5.1.4	DA 与 NDA 算法的性能评估	130
5.2	基于一阶统计量的盲信道估计	134
5.2.1	系统模型	134
5.2.2	估计算法	135
5.2.3	性能仿真	137
5.3	同步与信道估计联合设计	138
5.3.1	信号模型	139
5.3.2	信道响应估计和帧同步	139
5.3.3	符号同步	142
5.3.4	性能仿真与结论	142
5.4	非理想信道估计对接收性能的影响	144
5.4.1	信道模型	144
5.4.2	性能分析	144
5.5	小结	146
第 6 章	多址技术	148
6.1	TH-PPM 多址方式	148
6.1.1	TH-PPM UWB 的信号波形	148
6.1.2	接收信号处理	149
6.1.3	多址系统性能	150
6.2	DS-CDMA 多址方式	151
6.2.1	DS-CDMA UWB 的信号波形	151
6.2.2	接收信号处理	152
6.2.3	多址系统性能	153
6.3	PCTH UWB 多址技术	154
6.3.1	伪混沌跳时	154
6.3.2	PCTH 多址	155
6.4	多载波超宽带多址技术	157
6.4.1	几种多址技术比较	157
6.4.2	系统模型	158
6.4.3	接收机设计	161
6.5	UWB 多址通信系统容量	161
6.5.1	信号模型	161
6.5.2	多用户 UWB 系统容量	163
6.6	小结	166
第 7 章	UWB 组网技术	168
7.1	Ad hoc 网络基础	168

7.1.1	概述	168
7.1.2	Ad hoc 网络的体系结构	170
7.1.3	Ad hoc 网络的 MAC 协议	173
7.1.4	Ad hoc 网络的路由协议	176
7.2	UWB Ad hoc 组网原则	179
7.2.1	组网设计时考虑的物理层模型描述	179
7.2.2	性能度量及设计目标	182
7.3	UWB 自组织网的最佳 MAC 及路由设计	186
7.4	关于 UWB 网络中的跨层设计	189
7.5	位置辅助的路由设计	191
7.6	小结	193
第 8 章	频谱管理与标准化	197
8.1	UWB 信号的频谱管理	197
8.1.1	规范 UWB 信号频谱的必要性	197
8.1.2	FCC 关于 UWB 信号频谱的规范	198
8.1.3	其他标准化组织关于 UWB 信号频谱的规范	203
8.2	IEEE 802.15.3a 中的 UWB 标准	204
8.2.1	超宽带与 IEEE 802.15.3a	206
8.2.2	高速 WPAN 的主要超宽带技术物理层方案	208
8.2.3	MB-OFDM 与双带 DS-UWB 的比较	220
8.3	IEEE 802.15.4 中的 UWB 标准	222
8.3.1	IEEE 802.15.4 标准	222
8.3.2	UWB 在 IEEE 802.15.4a 的应用	224
8.3.3	IEEE 802.15.4a 的标准提案	224
8.3.4	IEEE 802.15.4a 的历史和现状	227
8.4	其他标准的制订工作	227
8.5	小结	228
第 9 章	超宽带的应用、开发及发展前景	231
9.1	超宽带的应用	231
9.1.1	通信	231
9.1.2	雷达	237
9.1.3	定位	239
9.2	超宽带通信技术的开发进展	241
9.2.1	超宽带天线的发展	241
9.2.2	超宽带芯片设计	245
9.2.3	超宽带商用产品开发	247
9.3	发展与应用前景	248
附录	缩略语	252

第1章 引 论

2002年2月,美国联邦通信委员会(FCC)批准限用于军用雷达的超宽带(UWB)技术可运用于民用产品上,同年4月,批准将3.1GHz和10.6GHz之间的免授权频段分配给UWB使用。自此,此项技术开始引起业界广泛关注。UWB在公共安全、军事效能、航空安全、医疗应用以及消费类产品与服务等诸多领域具有独特的应用价值和广阔的市场前景,可以预见今后二三年内,新一代的UWB产品将会陆续进入市场,成为新的亮点。

1.1 概 述

随着因特网、多媒体和无线通信技术的发展,人们与信息网络已经密不可分,人们对实现高速率、高质量无线多媒体业务的需求越来越迫切,便携式电子设备与因特网之间的短距离高速无线通信已成为未来通信技术的重要发展趋势之一。

为构建短距离高速无线网络,近来国际上提出了无线个域网(WPAN)的概念。WPAN是在便携式移动计算机和家用电器(诸如数字摄像机、HDTV、数码相机、MP3播放机、打印机、投影仪、PC、PDA等)设备间进行短距离(10m以内)通信的Ad hoc网络。WPAN具有短距离覆盖、面向特定群体、支持高速率多媒体应用并实现无缝连接的特点。在WPAN无线传输技术中,继蓝牙、802.11a/b之后,超宽带(UWB)成为一项最具有竞争力的热门技术。

UWB是一种在雷达和遥感中被广泛应用的传输技术,近来作为通信应用在业界受到了巨大的关注。UWB的主要特点是传输速率高、空间容量大、成本低、功耗低等,有可能成为解决企业、家庭、公共场所等高速因特网接入的需求与越来越拥挤的频率资源分配之间的矛盾的技术手段。

UWB技术之所以成为无线通信领域关注的热点之一,是由用户需求和UWB技术的性能特点共同决定的。对于未来的理想无线通信系统,需要解决五个方面的需求,即大数据量、高数据速率、远通信距离、更快的通信速度、更大的网络用户数。然而对于实际的通信系统,是不可能同时实现以上五个方面的要求的,只能进行折衷。最初的通信系统力求延长通信距离,而现在无线通信的发展趋势则是以牺牲通信距离为代价,最大限度地改善其他四个方面的性能,通过网络覆盖来达到通信距离的要求。

当前国际电信市场的迅速发展,也为研发商用UWB通信提供了动力,主要体现在:

- (1) 无线便携设备的普及化,要求容量高、带宽大、成本小、功率低。

(2) 频谱资源有限, 频段划分拥挤。

(3) 因特网的高速普及与多媒体技术的飞速发展, 公司、家庭、公共场所的高速无线接入因特网需求增长。

(4) 适合于信号处理的半导体器件的成本和功耗下降。

“超宽带”一词包含了许多的概念, 包括脉冲无线电、无载波调制、非正弦信号和大相对带宽比的无线/雷达信号等。直到 1989 年, 才以“超宽带 (UWB)”统一称呼具有大相对带宽比的无线电信号。

美国 Sperry Rand 公司的 Gerald F. Ross、Catholic 大学的 Harmuth、罗马航空研究中心的 Paul van Etten 是 UWB 最早的开拓者。Gerald F. Ross 在 1973 年 4 月 17 日获得的美国专利 (专利号 3,728,632) 是 UWB 发展的一个里程碑, 标志着 UWB 无线电技术从概念研究推进到实际应用开始阶段。1972 年 UWB 脉冲检测器申请到美国专利; 1973 年 UWB 通信方式获得美国专利; 1978 年最初的 UWB 通信系统出现。到 20 世纪 70 年代末, UWB 系统的基本设计理论已经建立。之后所做的工作是进一步完善 UWB 系统, 并考虑实现 UWB 的各个组成部分。

1977~1989 年, 美国空军实施了 UWB 系统开发计划; 1988 年美国国防部成立了一个 UWB 开发专家工作组, 主要致力于 UWB 雷达和 UWB 通信两个应用领域的技术研究和产品开发。到了 20 世纪 90 年代, 因设备制造技术的进步, 出现了第一个 UWB 商用系统, 目前所做的工作都是对这一系统的具体实现, 使得 UWB 的基本构成和具体细节及实现方法等都取得了一定的进展, 进一步促进了 UWB 的实用化进程。在 1994 年后, UWB 进入公开开发阶段, 并且向民用领域推广, 从而得到快速发展。1998 年, 美国联邦通信委员会 (FCC) 开始征集 UWB 通信技术在民用通信中应用的意见, 并于 2002 年 2 月批准限用于军用雷达的 UWB 技术运用于民用产品上, 以提高频谱效率; 2002 年 4 月批准了把 3.1GHz 和 10.6GHz 之间免授权的频段分配给 UWB 使用。此外, 欧洲部分地区也出现了放宽 UWB 使用限制的动向。日本也设立了 UWB 工作小组讨论其产业化问题, 该项技术开始引起业界的广泛关注。

美国 Intel 公司在 2002 年 2 月召开的开发商会议上公开演示了传输速率高达 100Mbit/s 的 UWB 技术。美国 Time Domain、Multispectral 等公司也在进行 UWB 无线设备的开发和生产, 并且已经达到了即将开始提供 UWB 芯片组工业样品的阶段。尤其值得注意的是, 新加坡的 Cellonics 公司创造了一种建立在生物细胞和非线性动态系统 (NDS) 之上的调制技术, 而这种新技术非常适合 UWB 技术, 在 UWB 中, Cellonics 技术可用于改善 UWB 接收器设计中现行的相关器/非相关器方案。在 2002 年的汉诺威 CeBIT 展会上, Cellonics 公司展示了一种以 11.4Mbit/s 的速率在 5m 的距离上传输 CD 质量音乐、功耗为 50mW 的无线 UWB 音频设备, 其简单性令人惊讶。可以预料, Cellonics 技术简单、廉价和低功耗的特点以及电信级的性能将加速 UWB 应用的推广。需要指出的是, 目前还没有 UWB 的标准, 但是由于商用市场的需求, 标准化进程正在加速进行, 预计经核准认可的标准要到 2005 年才能发布, 因此, 对于 UWB 而言, 现在的许多工作还处于研究之中。

UWB 在公共安全、军事效能、航空安全、医疗应用以及消费类产品与服务等诸多领域具有独特的应用价值和广阔的市场前景。可以预见今后二三年内, 新一代的 UWB 无线电技术产品将会陆续进入市场, 成为新的亮点。

1.2 UWB 通信的基本原理

1.2.1 概念

超宽带无线电是指具有很高带宽比（射频带宽与其中心频率之比）的无线电技术。

美国 FCC 对于 UWB 的定义为：

$$\frac{(f_H - f_L)}{f_c} > 20\% \quad (\text{或者总带宽为 } 500\text{MHz})$$

式中， f_H 、 f_L 分别为功率较峰值功率下降 10dB 时所对应的高端频率和低端频率， f_c 为载波频率或中心频率，如图 1-1 所示。可见，UWB 信号的带宽不同于通常所定义的 3dB 带宽。

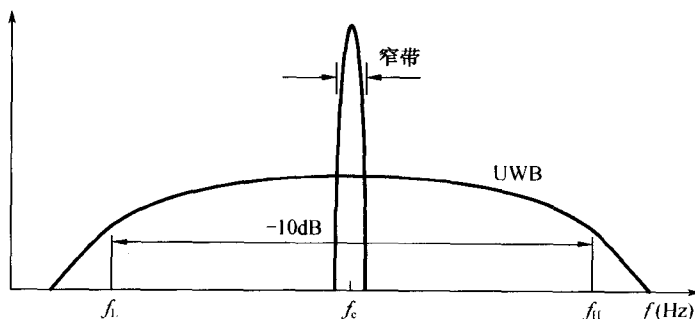


图 1-1 超宽带信号与窄带信号的比较

事实上，目前被称作“超宽带”系统的带宽比未必都是 20%，美国国防高级研究计划署对超宽带特征的定义是相对带宽大于 25%。也有一些定义为 10% 左右，但它们已不是基于正弦载波的无线电系统的概念，而是针对一种采用冲激脉冲作信息载体的非正弦系统。

根据香农信道容限公式 $C = B \log_2 \left(1 + \frac{P}{BN_0} \right)$ （式中 B 为信道带宽， N_0 为高斯白噪声功率谱密度， P 为信号功率）。可得，增大通信容量有两种实现方法，一是通过增加信号功率 P ，二是增大传输带宽。UWB 技术就是通过后者来获得非常高的传输速率。

如图 1-2 所示是超宽带信号与典型的传统通信信号的带宽比较。

1.2.2 分类

在第 1.2.1 节中有关超宽带的定义是从信号带宽的角度描述无线电信号，没有指明相应的实现方式。迄今为止，超宽带无线电通信按实现方式大致可为两大类，即脉冲无线电和多频带 OFDM。其中，脉冲无线电技术是传统的超宽带技术。多频带 OFDM 的关键是 OFDM，有关 OFDM 工作原理与关键技术的论述已有很多，这里不再赘述。本书后续的内容中若未加说明，一般是指脉冲无线电。

1.2.3 脉冲无线电 (Impulse Radio)

脉冲无线电是指采用冲激脉冲（超短脉冲）作为信息载体的无线电技术。这种脉冲传输

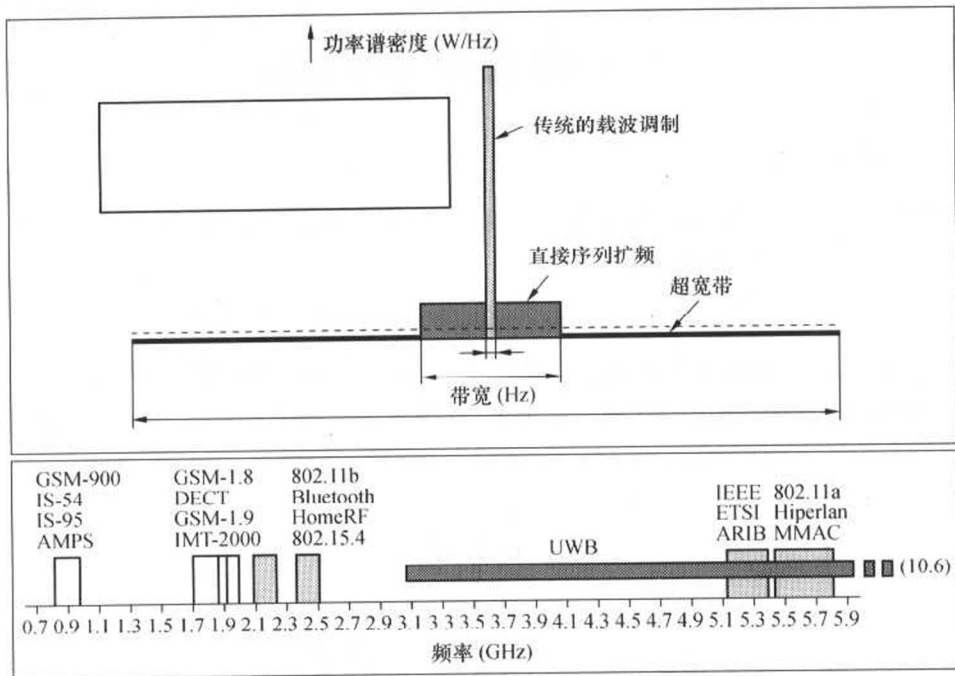


图 1-2 超宽带信号与典型的传统通信信号的带宽比较

技术的特点是，通过对非常窄（往往小于 1ns）的脉冲信号进行调制，以获得非常宽的带宽来传输数据。

1. 脉冲波形

为了使天线能将信号能量有效地辐射出去，必须对所用脉冲的频谱特性提出一定的要求（即不含直流分量，低频分量少，信号能量主要集中在射频部分）。因此，脉冲无线电采用高斯函数的各阶导数作为发射脉冲波形，可通过选择脉冲宽度和阶数来获得不同的带宽及中心频率位置。通过分析可以发现，高斯各阶导数的 10dB 带宽大致可以近似等于脉冲宽度倒数的两倍。因此当脉冲宽度低于 1ns 时，就能获得超过 2GHz 的带宽。中心频率的位置会随着求导次数的增加而逐渐上移。

如图 1-3 所示是脉冲 UWB 信号的时域及频域的波形。

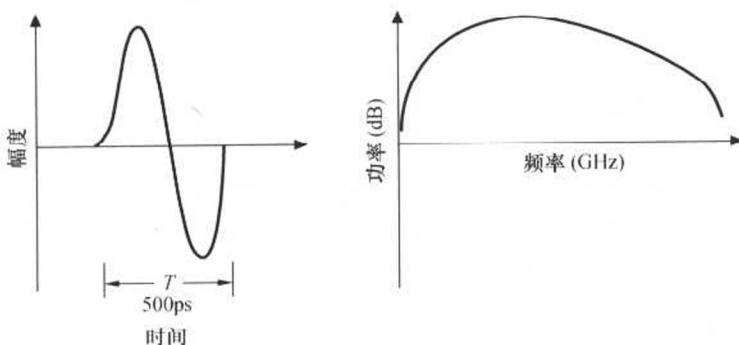


图 1-3 脉冲 UWB 信号的时域及频域的波形

2. 调制方式

与实际传输速率所对应的符号周期相比,这种纳秒级乃至亚纳秒级的脉冲宽度往往小了几个数量级,因此脉冲无线电传输的是一种低占空比的信号。利用这一特点,系统中常常使用多个脉冲来传递一个符号,从而获得附加处理增益。例如,假定传输速率为 10Mbit/s,脉冲宽度为 0.5ns,脉冲重复频率 (PRF) 为 100Mpulse/s,则一个符号可以扩散到 10 个脉冲上重复发送,附加处理增益将为 10dB。再考虑到 20 倍的占空比增益,系统获得的总处理增益将达到 $13\text{dB}+10\text{dB}=23\text{dB}$ 。这种处理方式在实现上带来的好处是,在保持系统脉冲宽度和脉冲重复频率不变的情况下,可以通过改变附加处理增益灵活地调整传输速率的高低,实现可变速率。

鉴于系统对功率有效性的要求比较高,脉冲无线电的调制方式一般采用二进制的脉冲相位调制 (PPM) 或二进制相移键控 (BPSK)。在多址接入方式上,有跳时扩频 (TH-SS) 和直接序列扩频 (DS-SS) 两种方式可选。典型的组合方案是 TH-PPM 和 DS-BPSK。相比较而言,TH-SS 的优势在于它对远近效应的敏感程度没有 DS-SS 那么高,因为只有当不同用户的信号脉冲正好在位置上出现重叠时,远近效应才会体现出来,从而降低了对功率控制的要求。这也许是早期的 UWB 系统在信号占空比很低的条件下选用了 TH-SS 的重要原因。不过,随着对传输速率的要求越来越高,信号占空比势必要大大增加,TH-SS 的优势已不明显。因此 DS-SS 方案现在重新受到研究人员的重视。

3. 收发信机的结构

脉冲无线电形象地说明了 UWB 直接发射窄脉冲进行通信的特点。与传统窄带通信系统的收发信机相比,超宽带在实现方式上与之有明显的差别:窄带系统一般采用正弦载波调制实现频谱搬移,信道上传输的是射频已调信号,接收机需要经过逐级下变频之后再行解调,以恢复原始信息;脉冲无线电则是直接将经过频谱成形之后的宽带窄脉冲发射出去,信道上传输的是基带信号,接收机主要由一个相关检测器构成,结构比传统窄带通信系统简单得多。和传统的无线收发信机相比,其结构也相对简单。自从 1918 年,发明超外差结构以来,它仍在无线收发信机中占主导地位。目前,一个短距离低功耗的收发信机结构的例子是蓝牙。如图 1-4 所示。

蓝牙采用 FSK 调制解调方式。图 1-5 中的 TX 作为信息比特去控制压控振荡器 (VCO),从而使得信息通过或高或低的移动载频来传输。

在接收很弱的信号后经过放大,下变频成固定的中频。变频器其实是一个非线性的混频器,会产生很多的镜像、谐波、互调产物,因此还需要进行中频滤波,滤除没有落在中频频率范围内的频率分量,而落在中频频率范围内的频率分量的大小必须满足系统的要求。

UWB 收发信机的结构就要简单得多,如图 1-5 所示。

这种结构也可以用于蓝牙,只是以更低的发射功率传输更高的数据速率。调制方式可以采用很多种,例如:二进制调制、多进制脉冲调制、脉位调制等等。它的脉冲宽度

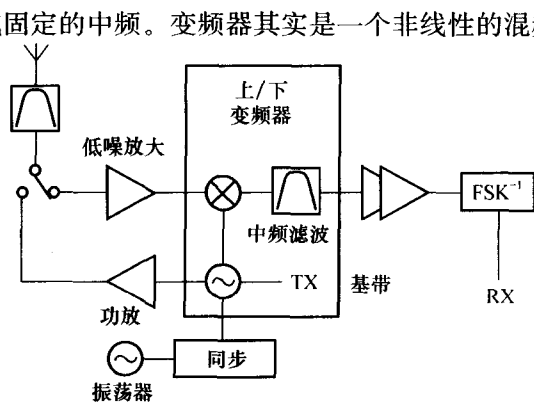


图 1-4 传统的收发信机结构

很窄,若是 200ps,则经过成形滤波后,其能量集用在 2~6GHz。在这种情况下,功率放大器可以不需要。因为脉冲产生器仅需产生 100mV 的电压即可。与蓝牙超外差结构一样,信号在被天线发送之前需要经过一个带通滤波器,但其带宽是 4GHz,而蓝牙是 79MHz。在接收端,将天线接收到的微弱信号放大后,经过匹配滤波或相关解调,恢复出有用信号。

通过比较发现,与超外差结构相比,超宽带结构没有振荡器、锁相环、压控振荡器、混频器和功放。这样就使得系统的成本与功耗更低。采用这种结构可以很方便地在传输距离、功耗、传输速率之间选择转换。例如想增加传输距离,则可以利用多个脉冲传相同的信息,这样就增加了信噪比。

当然,对于 UWB 还存在许多挑战。有一个关心的问题,宽带接收机很容易遭受非故意的阻塞干扰的影响,例如一个传统接收机的信号落在超宽带的信号带宽内。这个问题是可以通过精确的匹配滤波、相关或 Rake 接收等方法来解决的。精确的匹配滤波其实现是比较困难的,而相关需要精确的定时,同时多径还会带来更多的问題。系统的噪声也是一个重要的问题,原来的窄带系统可以利用滤波将带外噪声滤除,而 UWB 系统则本身带宽就很宽,因此噪声分量就比较高。

4. 功率谱密度

信号的功率谱密度特性也是决定发送方案的一个重要因素。理想的 UWB 信号应该近似于白噪声,即功率谱密度 (PSD) 应该为平坦的且幅度越低越好,这样才不会对现有的窄带系统造成明显的干扰。周期性窄脉冲的 PSD 由离散谱线构成,加上 PPM 调制之后,功率谱得到一定的平滑,不过更强的平滑作用是通过伪随机跳时码实现的,而且平滑特性的好坏与伪随机码的选择密切相关。如果采用 BPSK 调制,由于信号均值为零,功率谱中不含离散谱线,完全由高斯脉冲的频谱决定,其平坦度与白噪声仍有很大的差距,也要通过伪随机序列进行平滑。因此,近来的一个研究热点就是,如何通过选择调制和多址接入方式的组合及设计理想的伪随机序列,来获得更好的功率谱密度特性。

1.2.4 多频带 UWB

为了提高频谱利用率,很多人开始考虑采用多带调制。一个 UWB 信号仅需占用 500MHz 的带宽,而不必是一个脉冲。这就提供了一个将传统无线通信系统设计理论与 UWB 的优势相结合的机遇。很多公司都开始独立地开发多频带超宽带传输系统,从而可更有效提高频谱利用率。多带传输系统是将可用的 UWB 频谱划分成若干个子带,每个子带的宽度不小于 500MHz。通信时,可以根据信息速率、系统功耗的要求以及与其他系统共存的要求等,动态地使用部分或全部的子带,通过同时发送多个不同频带的 UWB 信号来提高频谱的利用率。这些 UWB 信号是不会相互干扰的,因为它们的频率不同。多带 UWB 信号频谱图如图 1-6 所示。

这些信号可以同时被传送,以提高信息传输速率或用来进行多址接入,允许更多的用户同时进行通信。一些标准的调制方法可以用在每一个 UWB 信号上。在接收端,UWB 信号必须在解调前进行分离。多带信号如图 1-7 和图 1-8 所示。

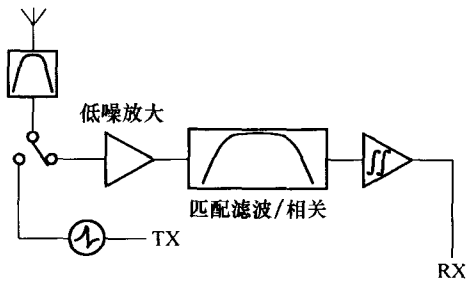


图 1-5 UWB 收发信机结构

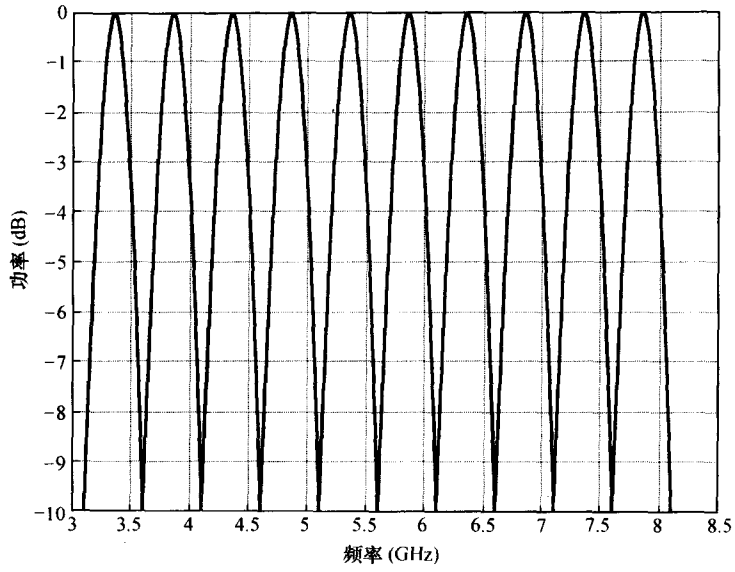


图 1-6 多带 UWB 信号频谱图

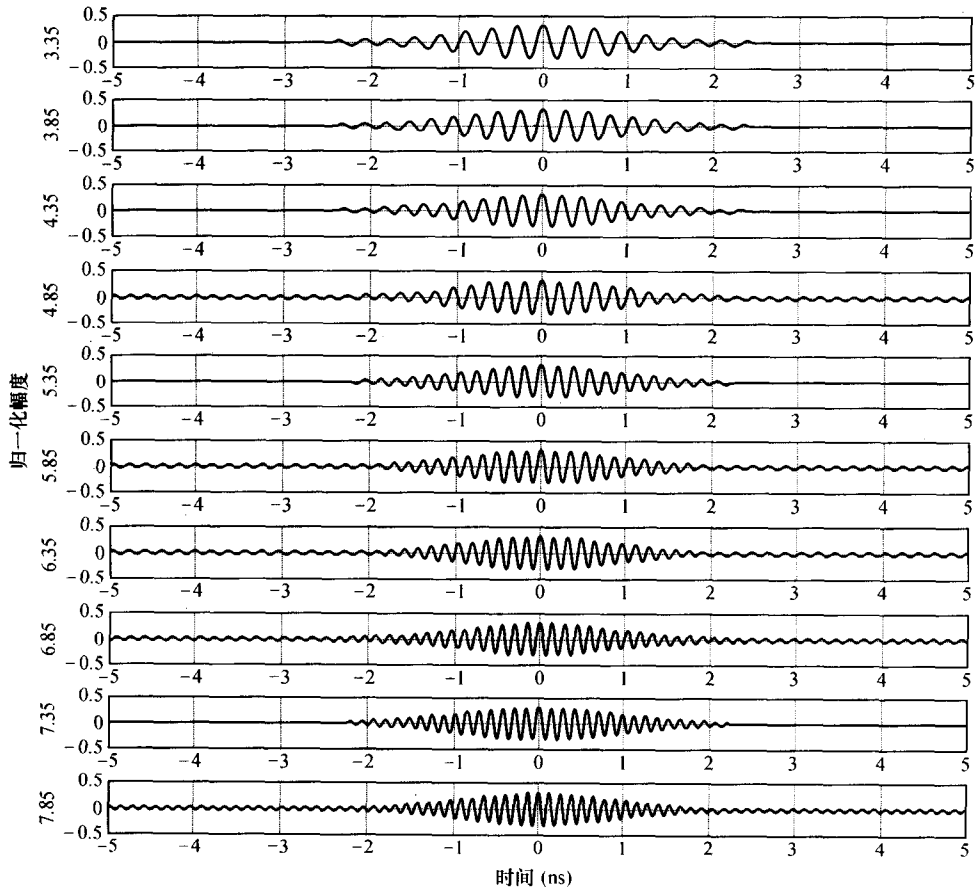


图 1-7 并行多带传输波形图

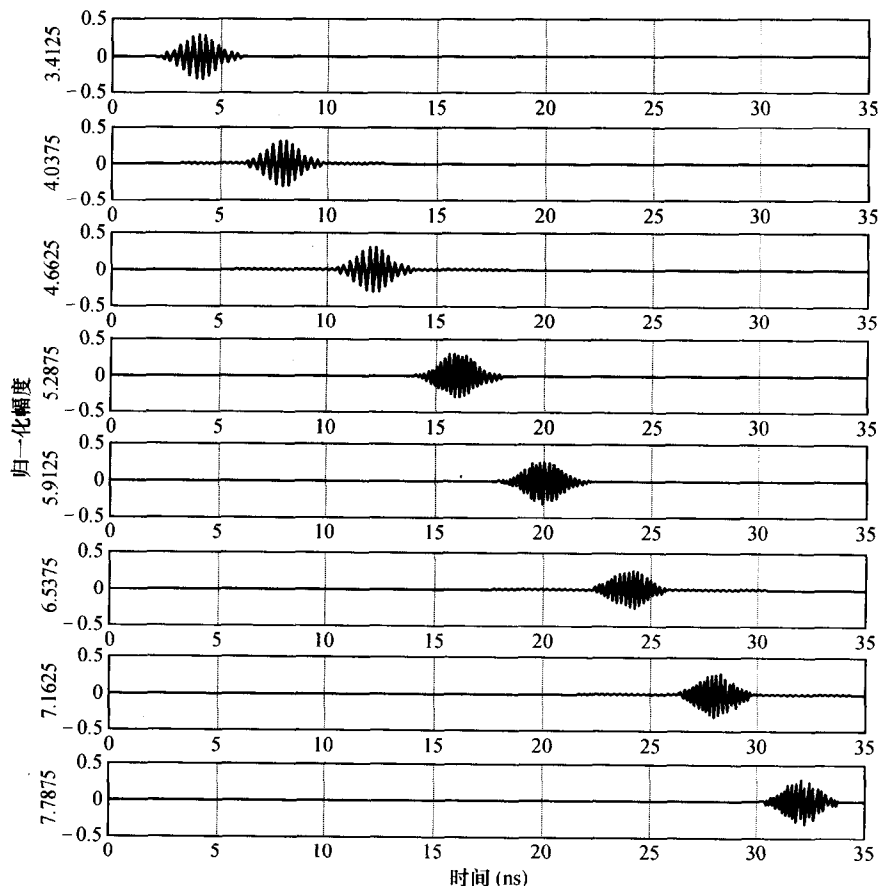


图 1-8 多带串行传输波形图

多带调制的一个优势就是具有很强的灵活性，低比特率的系统可以采用很少的子带，而高比特率的系统可以采用很多的子带。它还可以灵活地适应不同的无线频谱使用规则，而不必像蓝牙一样要协调世界各地的频谱分配。

为了简化收发信机，子带信号也可以顺序发送。这样就可以采用传统的无线设备结构。

另外，多带传输系统还可以提高与其他系统的共存级别。例如，多带传输系统可剔除已受近距离其他设备影响的频带。如果 UWB 系统与 802.11a 系统共存，则可以不使用图 1-9 中 5.1~5.6GHz 的子带来减小或回避两者的干扰。

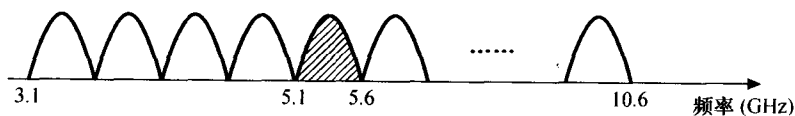


图 1-9 多子带频率划分

1.2.5 与其他通信方式的比较

1. 与常规无线电的比较

与常规无线电的系统构成（包括 FH、DSSS、TDMA、CDMA）相比，超宽带无线电

系统的特点可概括如下。

(1) 不需要产生正弦信号, 直接发射受跳时 PN 码和信息比特控制的冲激脉冲序列, 因而具有很宽的频谱和很低的平均功率。

(2) 超宽带无线电信号的频谱和中心频率由脉冲波形决定。

(3) 系统结构简单、体积小、成本低。由于直接发射冲激脉冲序列, 不需要上、下变频, 系统结构更为集成和简化。超宽带无线电衰落失真小, 信号处理也较常规无线电简化。研究表明 [5]: 脉冲发射机和接收机前端可集成在一个芯片上, 再加上时间基准信号和一个微控制器, 就可构成一部超宽带通信设备。

(4) 与同样具有 GHz 级带宽的无线电技术相比, 超宽带无线电比红外通信更具穿透力, 比毫米波通信更加便宜。

2. 与其他有关无线网络技术的比较

超宽带无线电技术可用于组成移动无线网络, 与其他有关无线网络技术的比较见表 1-1。

表 1-1 不同网络技术的比较

技 术	提供的业务	成 本	主要应用范围
802.11	IP	高	室内
Home RF	IP/语音	中	室内
蓝牙	IP/语音	低	室内
HiperLAN/2	IP/多媒体	高	室内
超宽带网络	IP/多媒体	低	室内/中短程/军用

尤其值得注意的是, 超宽带无线电技术与“蓝牙”技术有下列不同之处。

(1) “蓝牙”采用基于传统正弦载波的高速跳频传输方式, 高速跳频的目的主要是为了以很短的频率驻留时间避开时延多径信号; 超宽带无线电发射的是由信息和用户地址码共同控制脉冲起点的冲激脉冲串, 与传统正弦载波通信有本质的不同, 每秒可达数百万个脉冲, 其波形的特殊性、低占空比和超短脉冲宽度使得多径信号的影响大大降低, 比“蓝牙”更加适合于多径环境复杂的城区和室内无线通信场合。

(2) “蓝牙”的标准传输距离为 10m 和 100m; 超宽带无线电的通信距离根据不同用途而定, 目前开发出的产品的通信距离有 10m、1km 和 10km 以上等, 可用于室内通信、组成大范围蜂窝网和无线 Ad hoc 网络。

(3) “蓝牙”的传输速度较低; 而超宽带无线电能提供更高的传输速率, 更适应未来的无线多媒体业务的需要。

(4) 在相同的平均发射功率的情况下, “蓝牙”抗干扰能力较弱, 而超宽带无线电具有极强的抗干扰能力, 因此更适合于军事用途。

随着无线通信的不断发展, 无线通信已由原来提供远距离通信向短距离传输发展, 通过频率的空间复用, 使得在有限的频率资源条件下满足通信业务发展的需求。无线通信的发展趋势使得对系统容量的评价不仅仅是考虑单位时间的点对点传输速率, “空间容量”(即每平方米每秒的传输速率)也成为重要的衡量指标。根据 Intel 公司的研究报告, IEEE 802.11b 的空间容量为 1 kbit/s/m^2 , “蓝牙”的空间容量为 30 kbit/s/m^2 , IEEE 802.11a 的空间容量为 83 kbit/s/m^2 , 超宽带无线电空间容量为 1000 kbit/s/m^2 。可见, 在空间容量方面, 超宽