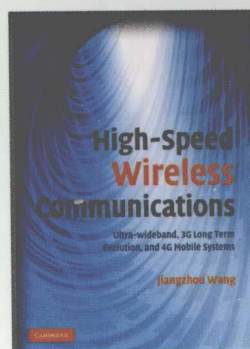


CAMBRIDGE



国际先进通信技术译丛

高速无线通信 —— UWB、LTE与4G

High-Speed Wireless Communications:

Ultra-wideband, 3G Long Term
Evolution, and 4G Mobile Systems

【中】Jiangzhou Wang 著

王向阳 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

国际先进通信技术译丛

高速无线通信 —— UWB、LTE与4G

**High-Speed Wireless
Communications:**

Ultra-wideband, 3G Long Term Evolution,
and 4G Mobile Systems

【中】Jiangzhou Wang 著

王向阳 译

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

高速无线通信 : UWB、LTE与4G / 王江舟著 ; 王向阳译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010.10
(国际先进通信技术译丛)
ISBN 978-7-115-22765-2

I. ①高… II. ①王… ②王… III. ①无线电通信
IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第073255号

版 权 声 明

High-Speed Wireless Communications : Ultra-wideband , 3G Long Term Evolution , and 4G Mobile Systems, edition 1 (ISBN 978-0-521-88153-1) by Jiangzhou Wang first published by Cambridge University Press 2008
All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Posts & Telecommunications Press 2010

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and Posts & Telecommunications Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2009-5542 号

国际先进通信技术译丛

高速无线通信——UWB、LTE 与 4G

- ◆ 著 [中] Jiangzhou Wang
- 译 王向阳
- 责任编辑 杨 凌
- ◆ 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>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.25
字数: 415 千字 2010 年 10 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2010 年 10 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2009-5542 号

ISBN 978-7-115-22765-2

定价: 60.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

内 容 提 要

本书介绍了高速多媒体无线通信的原理和主要的应用，包括了最新的研究进展，并为未来的研究指明了方向。本书内容涵盖了 UWB 无线通信系统、3G 和 4G 移动通信网络。书中还讨论了 UWB 中的重叠（干扰）问题并提出了解决方案，给出了不同的无线宽带接入形式，并论证了对于高速的传输 OFDM 不是最好的无线接入技术。对于未来的无线通信系统，本书也提出了一种新的空时频 MIMO 结构，并详细讨论了其他几个主题，如 HARQ、高级信道编码和调制以及发送分集等。

本书内容既包含了应用技术的基础理论，也包括了核心应用中的最新进展。对于电子、通信和计算机应用专业的研究生，以及在无线通信行业中的工程技术人员与技术管理人员，本书具有重要的启发意义与参考价值。

译者序

随着第一代蜂窝移动通信系统技术的研发和第二代蜂窝移动通信系统技术取得的巨大商业成功，人们获得了广域范围中支持高速移动的语音业务。第三代（3G）移动通信系统在进一步满足人们对更高速移动环境中的高质量语音业务需求的同时，将向用户提供包括因特网浏览和音视频等在内的无线数据业务。但是，3G 移动通信系统标准仅仅支持高速移动环境中 64kbit/s 和相对静止环境中 2Mbit/s 的无线传输速率。因此，工程技术人员展开了对 3G 长期演进（LTE）技术和第四代（4G）蜂窝移动通信系统技术的研究和开发。目前，相关的通信系统国际标准正在进行广泛征集技术提案和深入讨论制定。但是，业界对 4G 通信系统的无线传输速率已经得到基本共识，即在广域覆盖和高速移动环境中达到 100Mbit/s，而在游牧和相对静止环境中达到 1000Mbit/s 的数据传输速率。

为了达到上述对 4G 通信系统无线传输速率的要求，专业技术人员对下一代无线通信系统的射频载波频带、物理层传输技术、媒体接入控制层（MAC）技术以及跨层自适应技术等多个相关领域方向展开了深入的研究。为了获得更高的无线传输速率，采用更宽的无线传输带宽是一个必然的选择。面对日益紧张的无线频谱资源，超宽带系统中如何采用增强新技术避免与目前已经存在的窄带无线通信系统互相干扰，是一个亟需解决的问题。为了提高 4G 系统中的无线频谱利用率和系统容量，采用基于多天线的发射分集技术和高阶幅度调制技术，已经成为业界的研究热点。主要的 3G 系统国际标准中均采用了基于码分多址（CDMA）的传输技术，而在 4G 标准化草案制定过程中，正交频分复用（OFDM）技术已经在事实上被学术界和工业界所广泛采纳。结合 CDMA 和 OFDM 的优点开发新一代的物理层传输技术，也是 4G 通信系统标准化工作中一个颇具前景的研究方向。

本书内容覆盖了上述的超宽带通信系统技术、3G 长期演进系统技术，以及 4G 移动通信系统技术。相关内容的研究方法采用了理论分析和计算机仿真相结合，这是目前无线通信系统技术研究领域中最通用的研究手段。本书适合无线通信领域相关专业的研究生和高年级本科生，以及业界工程技术人员阅读。通过阅读本书，一方面可以了解相关研究方向最前沿的研究结果，更重要的是可以学习和掌握通用的研究方法和研究手段。本书对无线信道建模、多天线分集接收、高阶调制和干扰抵消等技术研究得到的解析结果，还可以广泛应用到其他类型无线通信系统的理论分析与研究工作中。

前 言

无线通信服务正以爆炸式的增长速度渗入我们的社会，人们对基于无线连接的高速多媒体业务的需求持续增长。每个人都希望无线接入可以像有线连接一样，提供与固定网络相同质量的服务。为了实现真正的高速无线通信系统，目前仍然需要工程师们在许多方面继续深入进行技术革新。无线通信设备必然受到射频传输带宽和发射功率的限制，而无线传播信道则同时遭受多径衰落、噪声和干扰等问题。这些物理的限制和无线信道存在的问题都对实现一个可靠的高速无线通信系统提出了基础性的技术挑战。本书是无线通信技术领域的研究生和专业人士的理想参考书。

本书内容涵盖了作者和他的博士研究生在相关领域内多年的研究内容和成果。本书的目的是通过论述高速无线多媒体通信系统相关的最新研究进展，以及确认需要进一步研究的重点领域，提供了高速无线多媒体通信领域研发的方向和前景。

全书共分 12 章，主要由四部分组成，包括背景介绍、超宽带（UWB）无线通信系统、3G 演进移动通信系统和 4G 移动通信。

致 谢

首先，我要感谢我以前的研究生和研究员，感谢他们对研究工作的勤奋和奉献。没有他们，就不会有本书的出版。特别感谢王向阳博士、夏斌博士、周一青博士、刘扬博士、黄源良博士、黄达东先生及朱慧玲博士。

深深地感谢美国加州大学圣地亚哥分校的 Laurence Milstein 教授，感谢他的学识、指导和友谊。通过他深刻的洞察力和研究经验，他点燃了我在 CDMA 重叠方面最初的兴趣。他的无私和指导风格，无论是直接地还是间接地，都对我的整个职业生涯产生了影响。

我也感谢 Mamoru Sawahashi 教授和 Kenichi Higuchi 博士，在和日本 NTT DoCoMo 公司的多年合作中，他们丰富了我无线通信的知识。我想感谢日本 NTT DoCoMo 公司，它对我的研究给予的持续支持成就了本书的出版。

最后，我希望感谢我的妻子雷平和三个孩子洋洋、雨雨和雷雷。

目 录

第一部分 概 述

第 1 章 高速无线通信	1	1.2.1 发射分集	9
1.1 UWB 通信	1	1.2.2 自适应调制	14
1.1.1 基于多载波 CDMA 的 UWB	4	1.3 4G 移动通信	16
1.1.2 基于脉冲无线电的 UWB	6	1.3.1 OFCDM——一种有前景的无线接入技术	16
1.1.3 UWB 网络中的媒体接入控制 (MAC) 层	8	1.3.2 OFDM MIMO 复用系统	17
1.2 演进型 (evolved) 3G 移动通信	9	1.3.3 混合 ARQ	18
		参考文献	19

第二部分 UWB 通信

第 2 章 应用于 UWB 通信的多载波 CDMA 重叠	22	第 3 章 应用于 UWB 通信的脉冲无线电重叠	53
2.1 发射机、信道和窄带干扰	22	3.1 引言	53
2.2 接收机	25	3.2 系统模型	54
2.2.1 横向带阻滤波器的抽头权重	26	3.3 性能评估	56
2.2.2 数据恢复的 Rake 结构	28	3.4 跳时和多载波 CDMA 系统的比较	59
2.3 差错概率	34	3.5 数值结果	63
2.4 数值结果	38	3.6 总结	67
2.4.1 发射机滤波的意义	38	附录 3A 多径干扰方差的推导	67
2.4.2 接收策略的比较	42	附录 3B 多址干扰方差的推导	69
2.4.3 其他方面	48	附录 3C 窄带干扰的方差推导	70
2.5 讨论	50		
参考文献	51		

参考文献	72
第 4 章 快速捕获	74
4.1 引言	74
4.2 系统模型	74
4.2.1 信号模型	74
4.2.2 TH 编码设计准则以及自、互相关边界	76
4.3 传统串行搜索捕获	77
4.3.1 系统描述	77
4.3.2 非相干相关检测器	78
4.3.3 流图分析	80

4.4 新的两步捕获法	82
4.4.1 系统描述	82
4.4.2 相干相关检测器	83
4.4.3 流图分析	86
4.5 数值结果	88
4.6 总结	91
附录 4A 式 (4.23) 中 T_{acq} 的推导	91
附录 4B 式 (4.46) 中 T_{acq} 的推导	92
参考文献	93

第三部分 演进型 3G 移动通信

第 5 章 具有理想信道状态信息的 TD 接收机	95
5.1 引言	95
5.2 系统模型	95
5.2.1 CDMA 下行链路中的发射机模型	95
5.2.2 信道模型	96
5.2.3 接收机模型	97
5.3 相干接收的性能分析	98
5.3.1 每个分支的 STBC 编码	98
5.3.2 等增益合并 2D-Rake 接收机	101
5.3.3 广义选择性合并 2D-Rake 接收机	104
5.3.4 未采用 TD-STBC 的传统 Rake 接收机	109
5.4 数值解与讨论	116
5.4.1 EGC 2D-Rake 接收机的性能	116
5.4.2 GSC 2D-Rake 接收机的性能	117
5.5 总结	120
附录 5A 复高斯随机变量 (CGRV) 中的	

Hermitian 二次型	120
附录 5B 相关积分推导	121
参考文献	140

第 6 章 具有非理想信道估计的 TD 接收机	142
6.1 引言	142
6.2 系统模型	142
6.2.1 CDMA 下行链路的发射机模型	142
6.2.2 信道模型	143
6.2.3 接收机模型	143
6.3 相干接收的性能分析	144
6.3.1 每个分支的 STBC 解码	144
6.3.2 EGC 2D-Rake 接收机	148
6.3.3 广义选择性合并 2D-Rake 接收机	151
6.3.4 未使用 TD-STBC 的传统 Rake 接收机	152
6.4 数值结果和讨论	158
6.4.1 2D-Rake 接收机的误码率性能	158
6.4.2 系统参数对误码率性能的影响	161

6.5 总结	165
参考文献	166
第7章 具有天线分集的正交幅度调制	167
7.1 引言	167
7.2 系统模型	167
7.2.1 发射机模型	168
7.2.2 信道模型	169
7.2.3 相干接收机结构	170
7.3 误比特率性能分析	172
7.3.1 通用误比特率性能公式的推导	172
7.3.2 非理想信道估计下的条件误比特率	173

7.3.3 理想信道估计下的条件误比特率性能	174
7.4 数值结果	174
7.5 总结	179
参考文献	179

第8章 带干扰抵消的多码 CDMA 的 QAM	180
8.1 引言	180
8.2 系统模型	180
8.3 性能分析	186
8.4 数值结果和讨论	188
8.5 总结	192
参考文献	192

第四部分 4G 移动通信

第9章 OFCDM 下行链路最优化和最小均方误差检测	193
9.1 引言	193
9.2 系统描述	194
9.2.1 发送端模型	194
9.2.2 接收端模型	197
9.2.3 导频辅助信道估计器	198
9.2.4 最优化检测器	200
9.2.5 MMSE 检测器	201
9.3 误比特率性能分析	203
9.3.1 最优化检测器性能	203
9.3.2 MMSE 检测器性能	204
9.4 数值结果	205
9.5 总结	210
参考文献	210

第10章 OFCDM 系统的混合检测	211
10.1 引言	211
10.2 系统模型	212
10.3 性能分析	213
10.3.1 发送信号	213

10.3.2 信道模型和接收信号	214
10.3.3 信道估计	215
10.3.4 数据信道的时域解扩	217
10.3.5 频域解扩	218
10.4 性能评估	222
10.5 数值结果	224
10.6 总结	231
参考文献	231

第11章 空-时-频编码分层结构	232
11.1 引言	232
11.2 系统描述	232
11.2.1 发射机结构	232
11.2.2 信道模型	236
11.2.3 迭代接收机结构	237
11.3 MMSE-SIC 检测	239
11.4 仿真结果	242
11.5 总结	246
参考文献	246

第 12 章 混合 ARQ 系统的子包

传输	248	12.4.2 延时	257
12.1 引言	249	12.4.3 丢包率	258
12.2 系统概述	249	12.4.4 子包合并	259
12.3 性能界	251	12.5 总结	260
12.4 分析和仿真	252	参考文献	260
12.4.1 最佳子包方案	252	缩略语	262

第一部分 概述

第 1 章 高速无线通信

过去的十年里，无线通信和互联网服务一直在渗入我们的社会并深刻地影响着我们的日常生活，其速度之快，影响之深远，远远超出了早先的预料。另外，人们对无线通信的需求正在快速增长。随着支持语音通信的无线系统在教育中取得巨大的成功，人们希望无线移动和个人通信系统能够进一步地支持多种高速多媒体服务，比如高速互联网接入、高质量视频传输等。为了满足宽带无线系统高数据率服务的需要，提出了各种系统和/或技术，例如超宽带（UWB）通信系统、演进型第三代（Evolved 3G）移动通信系统和第四代（4G）移动通信系统。

1.1 UWB 通信

从目前无线通信的发展形势，我们可以预见，在不久的将来，对信息共享的需求及对热点层和个人网络层的数据分发工具的需求将会有强劲的增长，而低功耗、短距离和高速的传输系统将在无线通信领域扮演重要角色。然而，适合无线链路的射频频谱稀少，因此物理层通信工程面临的一个巨大的挑战就是如何有效地利用频谱^[1]。而这个挑战推动了对 UWB 传输系统的研究。

鉴于无线频谱是有限并且越来越宝贵的资源，一些最近的新技术允许新服务使用已经分配给特定服务的频谱，但是对现有用户不会产生明显的干扰。典型的如 UWB 系统。这是一种通过把窄带信号覆盖在整个频谱的多个部分而获得额外容量的技术。它的占用带宽超过 500MHz，功率谱密度极低^[1-3]。人们对 UWB 技术研发的兴趣越来越大。

如果控制超宽带设备的发射，防止它对获得执照的窄带服务产生很大的干扰，那么就可能允许超 UWB 系统在没有获得执照的情况下工作，使得 UWB 技术可以支持多种短距离应用，比如家庭宽带多媒体服务、雷达、汽车系统、医疗图像系统等。目前，由于担心干扰医疗设备，在医院里不允许使用手机和未经许可的无线局域网。然而，未来的超宽带设备可能在医院里使用，因为它们的功率谱密度很低，也就是说，它们发射信号的潜在干扰很低。

虽然相关的无线电技术已经商用化了数十年，但是“UWB”这个名词直到 1989 年才由

美国国防部提出^[4]。UWB 的一个普遍公认的定义是：系统信号的带宽超过 500MHz，或者超过中心频率的 25%，用公式表示为

$$\text{相对带宽} = \frac{f_U - f_L}{f_c} \geq 0.25 \quad (1.1)$$

其中 f_U 和 f_L 分别是信号频谱上边带和下边带的-10dB 点。中心频率 f_c 定义如下：

$$f_c = \frac{f_U + f_L}{2} \quad (1.2)$$

目前短距离无线服务技术已经得到了商用化。例如，蓝牙技术采用了供工业、科学研究和医疗（ISM）使用的 2.4GHz 频谱，支持 700kbit/s 的数据速率。IEEE 的无线局域网标准，包括 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11b（也称无线保真度，WiFi），使用 5GHz 和 ISM 的 2.4GHz 频谱，最大速率分别达到 54Mbit/s 和 11Mbit/s。与这些短距离通信设备相比，未来的超宽带设备可以提供高达 500Mbit/s 左右的速率，并且在不同的无线通信应用方案中还可以进行扩展。例如，超宽带技术可以代替有线用来建造高速家庭和商业网络，为手持设备和和各种消费电子设备，如笔记本电脑、数码相机、便携式音乐播放器、个人数字助理等，提供短距离语音通信，实时视频、音频，校园网，图书馆网，甚至为医疗和老人监护设备等建立高吞吐量数据链，也可以为机场终端或火车站提供高速数据传输。

与传统的窄带系统相比，超宽带技术的优势不局限于提高传输速率。由于超宽带系统的带宽比实际的数据速率大很多，由香农信道容量等式：

$$\text{信道容量} = \text{带宽} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{\text{信号功率}}{\text{噪声功率}} \right) \quad (1.3)$$

可见，要达到相同的信道容量，在增大带宽的同时可以降低信噪比。因此，超宽带设备的工作功率要比传统窄带通信系统低得多，如图 1.1 所示。低发射功率不仅有利于功率受限系统，比如依靠电池供电的设备，同时也可以系统中使用价格便宜的射频元件。

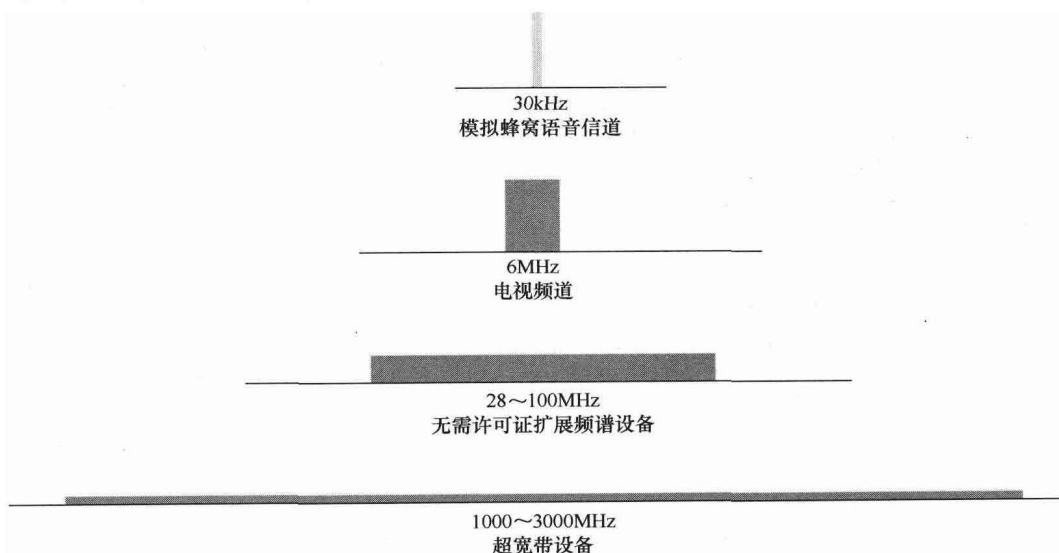


图 1.1 典型无线通信技术的带宽示意图

由于无线电波碰到障碍物和建筑物的反射、折射和散射作用，发射信号通常经过多条路

径到达接收机, 所以多径衰落是使用室内无线系统需要考虑的另一个问题。由于超宽带信号的带宽比信道响应的相关带宽大许多, 所以可以获得很高的时间分辨率, 达到更大的多径可分辨性。超宽带系统通过建设性地合并多径分量, 大大减轻了多径衰落, 获得了更好的抗多径能力。这在窄带通信系统中应用的较少。

目前, 美国正在对超宽带系统进行标准化和规范化。联邦通信委员会 (FCC) 已经为不同类型超宽带设备的应用规定了频谱模板。用于通信的超宽带设备必须工作在它们的-10dB (相对) 带宽, 这个带宽至少 500MHz, 落于 3.1GHz 和 10.6GHz 之间, 如图 1.2 所示。在 2GHz 以下的频谱区域, 超宽带信号的能量应该被充分地削弱, 因为那个区域的频谱已经被密集地占用作公共安全, 航天和航海, 通信, 调幅、调频广播和电视, 私人 and 商业移动通信, 医疗检测, 业余通信和 GPS 等服务。在这样的安排下, 这些吉赫级带宽设备的发射功率必须很低, 否则, 为超宽带设备分配的频谱上的散射会对众多已建立的窄带系统产生明显的干扰。虽然频谱的重叠利用可以达到有效利用稀缺频谱资源的目的, 但是 UWB 技术的使用引起了很多争论, 因为共用的频谱的系统处于相互干扰的威胁之下。更复杂的是, UWB 设备工作是不

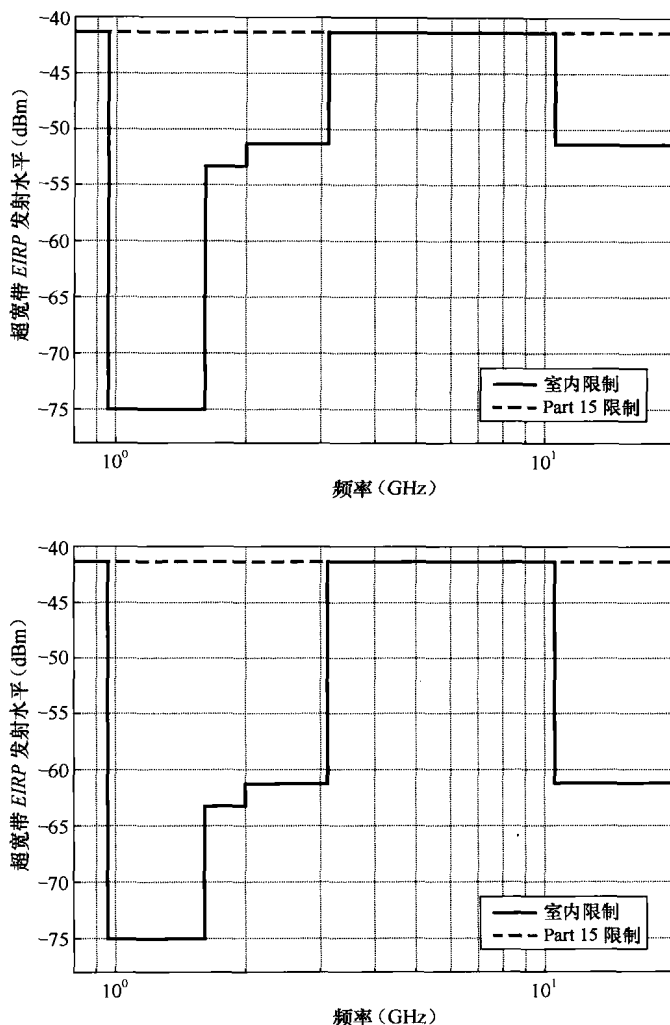


图 1.2 美国联邦通信委员会 (FCC) 规定的频谱模板

需要频谱执照的，而预期的市场规模又很大，因此共用频谱的系统之间很难进行调度。

与上面描述的特征一致，UWB 无线通信系统在收集多径能量、抑制窄带干扰和对抗其他 UWB 接入干扰等方面应该是非常有效并具有鲁棒性的。重叠的 UWB 系统对现存的系统的损害应该是可忽略的。UWB 系统需要有与工作要求相称的频谱，并且在低传输功率下应该获得可接受的性能。由于 UWB 技术的提出仅仅创造了一种利用宝贵资源的新方法，而不同于某一特定方案。只要遵照工作要求，对 UWB 技术的调制技术没有限制。围绕着 UWB 的实现方法，对 UWB 技术的应用存在很多的争论，比如在考虑 UWB 物理信道的 IEEE 802.15.3a 的标准化中，就展开了激烈的讨论。

1.1.1 基于多载波 CDMA 的 UWB

当考虑频谱重叠时，干扰减小和干扰抑制是已确定的窄带系统和重叠的 UWB 系统和谐共享频谱的关键问题。此外，UWB 设备之间已分配的资源共享方法和利用丰富数量的多径也是重要的问题。

多址接入方案是 UWB 无线通信的重点，因为系统在近范围内支持众多用户、设备和服务。相比频分复用（不满足相对带宽要求）、时分复用（需要在所有的系统用户间建立同步）或者载波感知多址接入（由于碰撞可能导致信道感知不充分和回退），码分复用被认为是一种合适的方案。直接序列码分多址（DS-SS）是一种扩频调制技术。这种技术的起源可以追溯到“二战”以前，最初用在军事通信中，经过持续的研发，在过去的十年中出现了商用的 CDMA 通信系统。

图 1.3 所示是 DS-SS 系统的基本组成部分。在这种调制方案下，发射端用高速率的随机码扩展低速率数据信号，产生扩频信号，然后送往射频调制器，将扩频信号频谱搬移到指定的频率位置，最后放大信号并将其发射。在接收端，首先要对接收信号进行射频解调，然后通过本地产生的码解扩恢复数据。DS-SS 系统的扩频和解扩的过程提供了多址接入和多径分辨能力，还有抗阻塞和抗干扰能力。同时，数十年的努力和经验已经证明，CDMA 既是一种有效的无线通信方法，也是适用于进行信号重叠的一种技术。所有这些都是 UWB 通信环境所必需的。

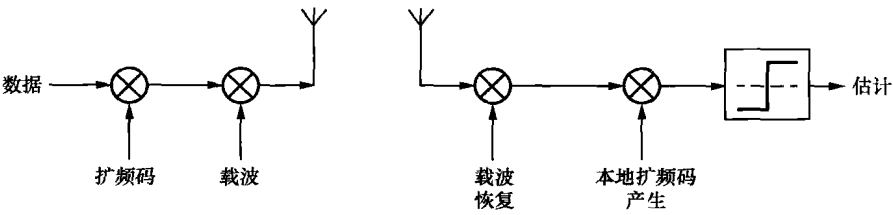


图 1.3 普通 DS-SS 的系统框图

基于本身的特征，DS-SS 是一种可行的多址方案，但是将其直接应用到 UWB 通信中的可行性较小。原因是超宽的带宽要求电路有超快的采样率。此外，由于接收信号的包络有很大的变化，要求模/数转换器有很大的动态范围。另一方面，如果采用普通的 DS-SS 方案，由于已建立的窄带系统会在已分配带宽上产生散射，将对 UWB 系统造成负面的影响。综上所述，普通 DS-SS 的混合方案——多载波 CDMA，是一个有前景的选择。

多载波 CDMA 用更高速率的随机码对数据信号进行扩频,然后将最终的信号调制到多个载波上。多载波 CDMA 具有以下优势。第一,因为超宽的带宽被分解成许多个宽带部分,信号处理速度不再与整个占用频谱直接相关,可以使用低速单元。第二,不同载波的信号频谱无需相互邻接,它们可以被移到适当的频率区域,利用频带限制技术,可以轻松避开那些重要的频谱,比如 ISM 频带或者供紧急使用的频带。这样就可以对资源进行灵活的分配,允许频率分集在总体传输速率和服务质量之间权衡。第三,可以应用 DS-CDMA 信号处理发展的多种技术。

UWB 系统覆盖在其他已建立的系统之上,而这些系统会在 UWB 系统的工作带宽上产生散射。为了和谐地共享资源,可以采用发射端滤波的技术,即在适当的频率位置放置一些阻带。这样就可以在已建立系统占用的频谱上抑制 UWB 系统的发射功率(如图 1.4 所示),从而实现了避免干扰的要求。

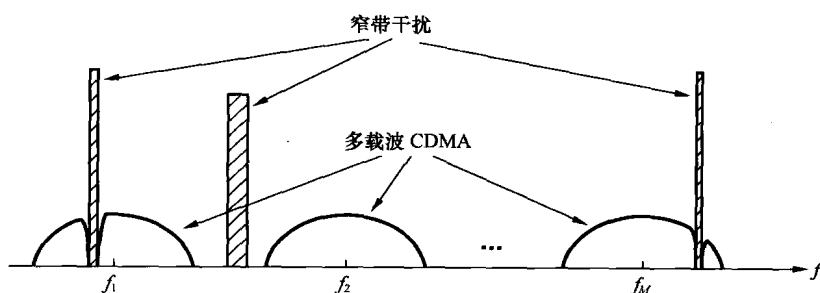


图 1.4 多载波 CDMA UWB 系统的频谱

带阻滤波器最初被用来在接收端抑制阻塞信号,相关的技术在过去的十年中得到了很好的研究。发射端的带阻滤波器可以通过在信号扩频发生之前把扩频码通过横向滤波器得到。横向滤波器的一个优点是复杂度有限。在窄带系统固定频谱分配的情况下,滤波器抽头权重可以基于预先可获得的信息进行调整。而在对频谱分配完全未知的情况下,UWB 设备的接收末端可以对捕获信号进行观察,经过统计后反馈到发射端,从而得到滤波器抽头权重。因为重叠 UWB 系统不应该中断已建立的服务,但是与其他系统之间又缺乏协调,所以这种主动避免方法是适合 UWB 应用方案的。

在接收端引进带阻滤波器的另一种可选择的便捷方法可以通过码片波形校正(码片成形)得到。码片成形可以用来限制发射信号的带宽。用作其他干扰抑制目的的校正已经在文献[5]、[6]中讨论。本书中,我们将对发射的码片信号的频谱进行校正,从而避免对已建立的系统的干扰。具体细节在第 2 章进行更深入的讨论。

在接收端,UWB 信号一方面因受到来自现存窄带用户的强烈的窄带干扰而恶化,另一方面也因信道响应导致很多条传播路径而失真。传统的利用多径分集的 Rake 系统是抽头延迟线结构的接收机,Rake 系统的抽头权重就是扩频码,而抽头之间的时间间隔则是扩频码的码片间隔。接收机收集可分辨的路径,合并统计量,给出数据的估计。

然而,DS-CDMA 系统的处理增益仅能忍受一定数量的阻塞信号。与那些已建立服务的系统相比,UWB 系统的发射功率极低,因此在极强的阻塞信号下,UWB 系统将出现故障。进一步提高处理增益并不是好的解决方法,因为这将牺牲数据传输速率。而简单地丢弃受到干扰的子载波也是太过低效的。一个更好的选择是使用自适应 Rake,它的抽头权重包含了信

道的情况，最终可通过校正抽头来解扩 UWB 信号，同时抑制窄带干扰。在本书中，我们考虑的是预合并最小均方误差（MMSE）自适应 Rake 接收技术，这样接收机仅仅取决于扩频码的互相关和信道的平均功率包络，从而缓解了可能发生的严格的码片同步跟踪问题。由此获得的结构具有联合收集多径能量和抑制窄带干扰的能力。为了显示在 UWB 通信中自适应 Rake 的有效性，我们把自适应 Rake 接收机、传统 Rake 接收机和带前置带阻滤波器的接收机在性能上进行比较。

具有数量众多的多径是室内无线通信的典型特征。由于合并所有可获得的路径非常低效，从而导致接收机的复杂度大大增加，因此实际通常采用最大选择性合并准则（SMC）进行设计。在这种设计中，仅仅考虑贡献大的路径，即通常是合并来自可视路径和若干较强的非视距路径的信号能量作判决。

1.1.2 基于脉冲无线电的 UWB

从最初用作无线电传输和雷达的电磁信号方面的工作开始，UWB 就和无载波基带信号或者叫脉冲无线电（IR）有关（根据早期无线电传输和雷达的电磁信号方面的研究，UWB 和无载波基带信号或者叫脉冲无线电（IR）有关）。直接冲击激励被认为是产生 UWB 信号的传统方法。图 1.5 显示了用直接冲击激励方法产生的 UWB 信号。持续时间极短的脉冲（纳秒级占空因数）本身就提供了超宽的带宽，它的特征是功率谱密度极低。采用直接冲击激励的 UWB 系统可以通过改变脉冲的特征来传达信息，比如脉冲幅度调制（PAM）、脉冲相位调制（PPM）、通断键控（OOK）等。

一个典型的 IR UWB 系统原理框图如图 1.6 所示。IR 的特点是在收发端不需要射频元件。因此，直接脉冲方法 UWB 可以绕过高频转换，避免昂贵的模拟元件，实现相对简单而且成本低。此外，它的功耗比较低，可以利用天线提供辐射信号的带通滤波和脉冲成形，从而使高度数字化的实现成为可能。然而，几乎从零到吉赫兹的超宽带宽的直接合成意味着需要很高速度的信号处理单元，但是根据规定必须丢掉低频区域。PAM、PPM 和 OOK 允许简单的收发器设计，但是发射信号会产生频谱线，而这却是不希望的。由于使几吉赫兹带宽信号的失真最小化是困难的，天线的设计将具有挑战性。因此，如何管理和利用已分配频谱存在明显的限制，进而限制了系统的整体效率。

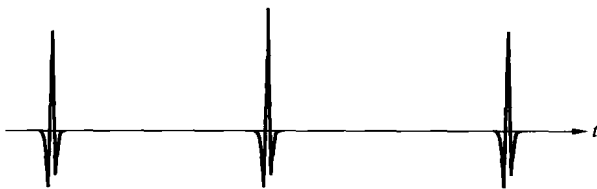


图 1.5 脉冲无线电

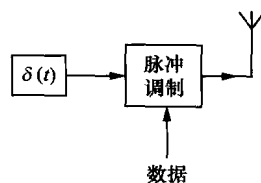


图 1.6 直接脉冲激励 UWB 的发射机

直接脉冲方法 UWB 系统可以采用跳时 IR（TH-IR）接收机。这种接收机通过与脉冲持续时间相匹配的按时选通来工作。按时选通将连续时间的干扰功率抑制到 IR 的持续周期内，因此，TH-IR 固有地具有抑制窄带干扰的能力。然而，当窄带干扰很强的时候，我们可能还需要用带阻滤波器来帮助抗拒干扰。利用 IR 的重叠技术将在第 3 章中研究。

精确的同步在任何扩频系统中都扮演着重要的角色。一般而言，扩频系统的同步分两步