

现代 **移动** 通信技术丛书

OFDM

移动通信技术原理与应用

佟学俭 罗涛 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代移动通信技术丛书

OFDM 移动通信技术原理与应用

佟学俭 罗 涛 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

OFDM 移动通信技术原理与应用/佟学俭,罗涛编著.

北京:人民邮电出版社,2003.6

(现代移动通信技术丛书)

ISBN 7-115-11185-5

I. 0... II. ①佟...②罗... III. 频分多址—移动通信—通信技术 IV. TN929.531

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 018784 号

现代移动通信技术丛书

OFDM 移动通信技术原理与应用

- ◆ 编 著 佟学俭 罗 涛
责任编辑 陈万寿
- ◆ 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>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.75
字数: 426 千字 2003 年 6 月北京第 1 版
印数: 1—4 000 册 2003 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11185-5/TN · 2055

定价: 31.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书介绍正交频分复用(OFDM)技术的原理及其在无线通信领域内的应用。全书共分10章。第1章简要介绍无线通信系统的发展历程以及无线衰落信道的基本特性;第2章介绍OFDM技术的基本原理与特性;第3章叙述了OFDM技术内峰值平均功率比的问题,并且讨论若干抑制过高峰均比的方法;第4章详细介绍OFDM技术内非常关键的同步问题;第5章介绍OFDM技术内的信道估计;第6章针对动态功率、比特分配在OFDM系统内的灵活应用进行讨论;第7章介绍各种编码在OFDM技术内的应用,并且讨论最新的编码方法;第8章分析多种不同的多址方案与OFDM技术的结合;第9章详细介绍OFDM在多个领域内的应用,其中包括DAB、DVB、WLAN和ADSL等;最后第10章简单介绍未来移动通信系统(NextG)的关键概念,以及适于传输高速数据流的MIMO OFDM系统。

本书可作为通信工程技术人员和通信专业的本科生、研究生的参考书。

前 言

正交频分复用(OFDM)技术是一种多载波数字调制技术,虽然 OFDM 的概念已经存在了很长时间,但是直到最近随着多媒体业务的发展,它才被人们认识到是一种实现高速双向无线数据通信的良好方法。随着 DSP 芯片技术的发展,傅里叶变换/反变换、高速 Modem 采用的 64/128/256QAM 技术、网格编码技术、软判决技术、信道自适应技术、插入保护时段、减少均衡计算量等成熟技术的逐步引入,人们开始集中越来越多的精力开发 OFDM 技术在移动通信领域的应用,预计第三代以后的移动通信的主流技术将是 OFDM 技术。

正交频分复用(OFDM)技术的应用已有近 40 年的历史,第一个 OFDM 技术的实际应用是军用的无线高频通信链路。但这种多载波传输技术在双向无线数据方面的应用却是近十年来的新趋势。经过多年的发展,该技术在广播式的音频和视频领域已得到广泛的应用。1999 年 12 月,包括 Ericsson、Nokia 和 Wi-LAN 在内的 7 家公司发起了国际 OFDM 论坛,致力于策划一个基于 OFDM 技术的全球性单一标准。现在 OFDM 论坛的成员已增加到 46 个会员,其中 15 个为主要会员。我国的信息产业部也已参加了 OFDM 论坛,可见 OFDM 在无线通信的应用已引起国内通信界的重视。2000 年 11 月,OFDM 论坛的固定无线接入工作组向 IEEE802.16.3 的无线城域网委员会提交了一份建议书,提议采用 OFDM 技术作为 IEEE802.16.3 城域网的物理层(PHY)标准。随着 IEEE802.11a 和 BRANHyperlan/2 两个标准在局域网的普及应用,OFDM 技术将会进一步在无线数据本地环路的广域网领域作出重大贡献。OFDM 由于其频谱利用率高、成本低等原因越来越受到人们的关注。随着人们对通信数据化、宽带化、个人化和移动化的需求,OFDM 技术在综合无线接入领域将越来越得到广泛的应用。

本书在多载波调制理论和应用研究的基础上,对 OFDM 通信系统中的关键技术环节进行讨论和研究,其中包括 OFDM 的基本原理;抑制峰值平均功率比的方法;同步问题;信道估计;动态信道、比特和功率分配问题;编码调制 OFDM;多址接入方法以及 OFDM 的应用等等。

本书是在北京邮电大学数字通信与信息网络实验室多年来对多载波传输理论及其在无线领域内的应用的基础上编撰完成的,其中包含多人的研究成果,在此向乐光新教授、尹长川博士、刘丹谱博士、纪红博士和郝建军副教授表示感谢。本书的第 7 章由罗涛编写。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中不妥之处敬请批评指正。

作者
2003 年 1 月

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 移动通信概述	1
1.1.1 移动通信发展历史	1
1.1.2 双工复用模式和多址接入方法	3
1.1.3 第三代移动通信系统	5
1.1.4 当前无线接入系统发展状况	8
1.1.5 当前宽带接入系统	8
1.2 无线衰落信道的传播特征	10
1.2.1 无线信道的大尺度衰落	11
1.2.2 阴影衰落	12
1.2.3 无线信道的多径衰落	12
1.2.4 无线信道的时变性以及多普勒频移	13
1.3 单载波与多载波通信系统	15
1.3.1 单载波传输系统	15
1.3.2 多载波传输系统	15
1.3.3 OFDM 系统的主要优缺点	16
1.4 OFDM 系统发展历史	18
1.4.1 历史	18
1.4.2 现状	18
1.5 本书的主要安排	19
参考文献	21
第 2 章 正交频分复用系统的基本原理	23
2.1 数字通信基本原理简介	23
2.1.1 数字通信系统基带传输模型	24
2.1.2 无符号间干扰的基带传输特性	25
2.1.3 多进制数字调制方法	26
2.1.4 最佳接收机设计	28
2.2 OFDM 系统的基本模型	30
2.3 快速傅里叶变换在 OFDM 系统中的应用	33
2.3.1 DFT 实现方法	33
2.3.2 傅里叶变换的过采样	34
2.4 保护间隔和循环前缀	36
2.5 带外功率辐射以及加窗技术	41

2.6 OFDM 参数选择实例	44
2.7 OFDM 与单载波系统实现复杂度的比较	45
2.8 小结	46
参考文献	47

第 3 章 OFDM 系统中的峰值平均功率比

3.1 OFDM 系统中的峰值平均功率比及其分布	48
3.1.1 峰值平均功率比的定义	48
3.1.2 放大器的非线性对 OFDM 系统峰值平均功率比的影响	49
3.1.3 OFDM 系统内峰值平均功率比的分布	50
3.2 利用信号预畸变技术减小 OFDM 系统内的峰均比	52
3.2.1 限幅方法	52
3.2.2 压缩扩展变换(C 变换)	53
3.3 编码方法	55
3.3.1 编码原理的说明	56
3.3.2 编码和译码	59
3.4 非畸变减小 PAR 的方法	62
3.4.1 最小 PAR 门限值的理论极限	62
3.4.2 选择性映射(SLM)减小 PAR	63
3.4.3 部分传输序列(PTS)减小 OFDM 系统内的峰均比	65
3.4.4 PTS 与 SLM 方法比较	75
3.5 离散与连续信号 PAR 性能的差异	77
3.5.1 连续信号和离散信号的峰均比	77
3.5.2 连续信号峰均比的上界	78
3.5.3 BPSK 调制特例条件下连续信号的峰均比求解	78
3.5.4 连续信号和过采样离散信号的结果分析	80
3.6 小结	80
参考文献	81

第 4 章 正交频分复用系统的同步问题分析

4.1 同步简介	83
4.1.1 一般数字通信系统中的同步	83
4.1.2 OFDM 系统中的同步要求	84
4.2 载波频率偏差对 OFDM 系统的影响	84
4.2.1 载波频率偏差对 OFDM 的影响	84
4.2.2 载波频率偏差造成的信噪比损耗	90
4.2.3 干扰自消除降低载波频率偏差的影响	91
4.3 符号定时偏差对 OFDM 系统的影响	95
4.4 样值定时偏差对 OFDM 系统的影响	97

4.4.1	OFDM 系统中的采样	97
4.4.2	采样偏差分析	98
4.4.3	样值偏差造成的信噪比损耗	99
4.5	利用导频实现载波同步的方法	100
4.5.1	跟踪阶段	101
4.5.2	捕获阶段	101
4.5.3	性能分析	102
4.6	最大似然方法联合实现符号定时同步和载波同步的方法	104
4.6.1	系统模型	104
4.6.2	ML 估计	105
4.6.3	脉冲成型 ML 估计	110
4.6.4	M 个连续符号的 ML 估计	112
4.6.5	性能比较	114
4.7	小结	115
	参考文献	116
第 5 章	调制解调与信道估计	118
5.1	非差分调制与相干检测	118
5.1.1	非差分调制	118
5.1.2	相干检测	118
5.2	差分调制与差分检测	119
5.2.1	差分调制	119
5.2.2	差分检测	121
5.2.3	准相干检测	123
5.3	OFDM 系统内的信道估计	123
5.3.1	二维信道估计	123
5.3.2	二维维纳滤波器理论	125
5.3.3	级连的一维信道估计	126
5.3.4	二维滤波器的设计	127
5.3.5	判决引导信道估计	132
5.3.6	性能分析	133
5.4	小结	140
	参考文献	141
第 6 章	动态子载波、比特和功率分配算法	143
6.1	AWGN 信道中实现信道容量最大化的注水功率分布	143
6.2	传输速率最大化的高效功率分配算法	144
6.2.1	系统模型	144
6.2.2	最佳功率分配方案	145

6.2.3 功率分配的快速算法	146
6.2.4 算法实施实例	148
6.3 传输速率和性能一定条件下的功率分配算法	148
6.3.1 系统模型	149
6.3.2 单用户条件下的比特分配方法	150
6.3.3 调制方案对动态算法的影响	151
6.3.4 多用户比特分配算法	154
6.4 小结	159
附录 6.A 拉格朗日乘子法求条件极值	160
参考文献	160

第 7 章 OFDM 系统中的编码技术	163
7.1 差错控制	163
7.1.1 差错控制方式	164
7.1.2 差错控制编码	164
7.2 OFDM 系统中的分组编码	167
7.2.1 Reed-Solomon(RS)码	167
7.2.2 循环冗余校验码(CRC)	168
7.3 OFDM 系统中的卷积码	169
7.4 OFDM 系统中的交织编码	171
7.5 OFDM 系统中的网格编码调制 TCM	172
7.6 OFDM 系统中的 Turbo 码	174
7.7 OFDM 系统中的空时编码(LSTC、STBC、STTC)	175
7.7.1 分层空时编码(Layered Space-Time Coding)	177
7.7.2 空时格状编码(Space-Time Trellis Coding)	177
7.7.3 空时分组编码(Space-Time Block Coding)	179
7.7.4 空时编码结合 OFDM 系统	179
7.8 OFDM 系统中的级连编码	180
7.9 编码 OFDM 系统实例	180
7.9.1 卷积编码 OFDM 系统	180
7.9.2 级连 RS-空时编码 OFDM 系统	183
7.10 小结	186
参考文献	186

第 8 章 OFDM 多址接入方法	188
8.1 多载波 CDMA	188
8.1.1 CDMA 简介	188
8.1.2 多载波 CDMA 的频域扩频	195
8.1.3 几种多载波 CDMA 方案	196

8.1.4	MC-CDMA 系统的发射机与接收机模型	197
8.1.5	室内信道环境中 MC-CDMA 的性能分析	202
8.1.6	MC-CDMA 系统性能的数值结果	207
8.1.7	MC-CDMA 系统的 OFDM 实现方法	210
8.2	OFDMA	210
8.2.1	跳频 OFDM	210
8.2.2	OFDMA 通信系统实例	211
8.3	MC-CDMA 与 OFDMA 系统的比较	218
8.4	小结	218
附录 8.A	噪声项的统计特性	219
附录 8.B	干扰项的统计特性	220
附录 8.C	中心极限定理简化表达式	222
	参考文献	223
第 9 章	OFDM 系统的应用	225
9.1	数字音频广播(DAB)	225
9.1.1	DAB 系统的模式	225
9.1.2	DAB 的信号格式	226
9.2	数字视频广播(DVB)	227
9.3	Magic WAND	229
9.3.1	Magic WAND 物理层	229
9.3.2	编码	230
9.3.3	仿真性能分析	230
9.3.4	限幅的影响	231
9.4	IEEE 802.11、HIPERLAN/2 和 MMAC 无线局域网标准	232
9.4.1	OFDM 参数	234
9.4.2	信道构成	238
9.4.3	OFDM 信号处理	239
9.4.4	利用训练符号进行同步和信道估计	240
9.4.5	IEEE 802.11、HIPERLAN/2 和 MMAC 比较	244
9.4.6	仿真性能分析	245
9.5	非对称数字用户线(ADSL)	247
9.5.1	有线高速数字业务	248
9.5.2	有线信道的特性概述	248
9.5.3	ADSL 系统实例	251
9.5.4	ADSL 系统内的关键技术	253
9.5.5	ADSL 和 IEEE802.11a 的比较	253
9.6	小结	254
	参考文献	254

第 10 章 未来移动通信系统(NextG)	257
10.1 无线数据通信的发展现状及其面临问题	257
10.1.1 无线数据通信和移动数据通信	257
10.1.2 高速无线 Internet	258
10.1.3 无线移动接入 Internet 的发展现状及面临的主要问题	258
10.1.4 未来移动通信系统的基本特性	259
10.2 无处不在的业务	259
10.3 智能频谱分配	261
10.4 自适应资源分配	262
10.4.1 高性能的物理层	262
10.4.2 灵活和自适应接入	263
10.4.3 业务和应用的适配	264
10.4.4 多层次联合优化	264
10.5 MIMO OFDM	264
10.5.1 系统基本结构	265
10.5.2 实验室仿真结果	266
10.5.3 现场测试结果	269
10.5.4 其他 MIMO OFDM 系统	270
10.6 小结	271
参考文献	271

第 1 章 引 言

现代社会已步入信息时代,在各种信息技术中,信息的传输即通信起着支撑作用。由于人类社会生活对通信的需求越来越高,世界各国都在致力于现代通信技术的研究与开发以及现代通信网的建设。

移动通信是现代通信系统中不可缺少的组成部分。顾名思义,移动通信就是指通信双方至少有一方在运动状态中进行信息传输。例如,移动台(车辆、船舶、飞机或者行人)与固定点之间,或者移动台之间的通信都属于移动通信的范畴。另外,还有一种可移动的概念,即通信用户的位置是可变的,但在通信过程中用户可能并不处于运行状态。这类通信也可称为移动通信,但与严格意义的移动通信相比,两者的无线信道特性有较大的差别。

现代移动通信是一门复杂的高新技术,不但集中了无线通信和有线通信的最新技术成就,而且集中了网络技术和计算机技术的许多成果。目前,移动通信已从模拟通信发展到了数字移动通信阶段,并且正朝着个人通信这一更高级阶段发展。未来移动通信的目标是,能在任何时间、任何地点、向任何人提供快速可靠的通信服务。

1.1 移动通信概述

1.1.1 移动通信发展历史

人类采用无线通信的历史可以追溯到遥远的古代。但直到 19 世纪末,人们都是采用十分直观的方式实现简单的信息传输。古代战争中的烽火台、金鼓和旌旗都是直观无线通信的例子。1864 年,英国物理学家 J. C. Maxwell 创造性地总结了人们已有的电磁学知识,预言了电磁波的存在。1886 年,德国物理学家 H. Hertz 用实验产生出电磁波,证明了 J. C. Maxwell 的预言。1897 年,意大利科学家 G. Marconi 首次使用无线电波进行信息传输并获得成功。1897 年, M. G. 马可尼完成的无线通信实验就是在固定站与一艘轮船之间进行的,当时的距离为 18 海里。在后来一个世纪多时间里,在飞速发展的计算机和半导体技术的推动下,无线移动通信的理论和不断取得进步。今天,无线移动通信已经发展到大规模商用并逐渐成为人们日常生活不可缺少的重要通信方式之一。

现代移动通信技术的发展始于 20 世纪 20 年代,但是一直到 20 世纪 70 年代中期,才迎来了移动通信的蓬勃发展时期。1978 年底,美国贝尔实验室研制成功先进移动电话系统(AMPS),建成了蜂窝状模拟移动通信网,大大提高了系统容量。与此同时,其他发达国家也相继开发出蜂窝式公用移动通信网。这一阶段的特点是蜂窝移动通信网成为实用系统,并在世界各地迅速发展。移动通信得到迅猛发展的原因,除了用户要求迅速增加这一主要推动力之外,还有几方面技术进展所提供的条件。首先,微电子技术在这一时期得到迅速发展,使得通信设备能够实现小型化、微型化。其次,提出并且形成了移动通信新体制,即贝尔实验室在 70 年代提出的蜂窝网的概念。蜂窝网,即所谓的小区制,由于实现了频率再用,大大提高了系统容量。第三方面进展是随着大

规模集成电路的发展而出现的微处理器技术日趋成熟以及计算机技术的迅猛发展,从而为大型通信网的管理与控制提供了技术手段。这一阶段所诞生的移动通信系统一般被当作是第一代移动通信系统。第一代蜂窝移动通信系统出现于 20 世纪 80 年代早期,采用频分多址和模拟技术,包括模拟蜂窝和无绳电话系统。典型的系统有美国的 AMPS、英国的 TACS、前西德的 C-450 等。模拟系统的缺点主要有频谱利用率低、抗干扰能力差、系统保密性差等,但由于模拟技术十分成熟,因而在发展初期也得到了较为广泛的应用。模拟蜂窝技术由于不适合未来多媒体通信业务的需求,必将在日益激烈的市场竞争中被逐步淘汰。

从 20 世纪 80 年代中期开始,数字移动通信系统进入发展和成熟时期。蜂窝模拟网的容量已不能满足日益增长的移动用户的需求。80 年代中期,欧洲首先推出了全球移动通信系统(GSM)。随后美国和日本也相继指定了各自的数字移动通信体制。20 世纪 90 年代初,美国 Qualcomm 公司推出了窄带码分多址(CDMA)蜂窝移动通信系统,这是移动通信系统中具有重要意义的事件。从此,码分多址这种新的无线接入技术在移动通信领域占有了越来越重要的地位。除此之外,还有欧洲的 DCS-1900,美国的 IS-54 等。这些目前正在广泛使用的数字移动通信系统是第二代移动通信系统。表 1.1 列出常用的第二代移动通信系统的简介。

表 1.1 第二代移动通信系统简介

	cdmaOne IS-95	GSM DCS-1900	NADC IS-54/IS-136	PACS
上行链路频率	824~849MHz (美国蜂窝系统) 1850~1910MHz (美国 PCS)	890~915 MHz (欧洲) 1850~1910 MHz (美国 PCS)	824~849 MHz (欧洲蜂窝系统) 1850~1910 MHz (美国 PCS)	1850~1910 MHz (美国 PCS)
下行链路频率	869~894 MHz (美国蜂窝系统) 1930~1990 MHz (美国 PCS)	935~960 MHz (欧洲) 1930~1990 MHz (美国 PCS)	864~894 MHz (欧洲蜂窝系统) 1930~1990 MHz (美国 PCS)	1930~1990 MHz (美国 PCS)
双工方式	FDD	FDD	FDD	FDD
多址方式	CDMA	TDMA	TDMA	TDMA
调制	采用正交扩频 BPSK	GMSK (BT=0.3)	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK
载波间隔	1.25MHz	200kHz	30kHz	300kHz
信道数据速率	1.2288Mcps	270.833kbit/s	48.6kbit/s	384kbit/s
每载波的语音和控制信道个数	64	8	3	8 (当采用 16kbit/s 声码器时,为 16)
语音编码	码激励线性预测 (CELP) 13kbit/s 改进的可变速率编译码器(EVRC)8kbit/s	残留脉冲激励长期预测(RPE-LTP) 13kbit/s	矢量求和激励线性预测编码器(VSELP) 7.95kbit/s	自适应差分脉冲编码调制(ADPCM) 32kbit/s

第二代移动通信系统主要是为支持话音和低速率的数据业务而设计的。但随着人们对通信业务范围和业务速率要求的不断提高,已有的第二代移动通信网将很难满足新的业务需求。为了适应新的市场需求,人们正在制定第三代(3G)移动通信系统。尽管目前关于第三代移动通信系统的研究和标准化工作十分引人注目,但通信界也存在不同的观点。这种观点认为,目前第三代移动通信的方案实际只能是第二代移动通信方案的改进,算不上真正意义上的宽带接入网络,并且由于 3G 系统的核心网还没有完全脱离第二代移动通信系统的核心网结构,所

以有理由认为第三代系统仅仅是一个从窄带向未来移动通信系统过渡的阶段。目前,人们已经把目光越来越多得投向三代以后(beyond 3G)的移动通信系统中,使其可以容纳庞大的用户数、改善现有通信品质不良,以及达到高速数据传输的要求。若以技术层面来看,第三代移动通信系统主要是以 CDMA 为核心技术,三代以后的移动通信系统则以正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)最受瞩目,特别是有不少专家学者针对 OFDM 技术在移动通信技术上的应用,提出相关的理论基础,例如无线本地环路(WLL)、数字音讯广播(DAB)等,都将在未来采用 OFDM 技术。有关第三代移动通信系统的介绍可以参见本书的 1.1.3 节。表 1.2 给出现代移动通信系统的发展历程。

表 1.2 移动通信系统发展状况

	第一代系统(1G)	第二代系统(2G)	第三代系统(3G)
时间(年)	1984~1996	1990~	2001~
业务	模拟移动电话语音数据	数字语音 消息	高速数据 宽带视频 多媒体
结构	宏蜂窝	微蜂窝、微微蜂窝 无线本地环路	
无线技术	模拟调频 FDD-FDMA	数字调制、CDMA、 使用 TDD 和 FDD 的 TDMA	CDMA、可能与 TDMA 结合、 或者与 TDD 和 FDD 结合
频段	800MHz	800+1900MHz	2GHz+
实例	AMPS TACS ETACS NMT450/900 NTT JTACS/NTACS	cdmaOne (IS-95) GSM/DCS-1900 US TDMA IS-136 PACS PHS	cdma2000 WCDMA TD-SCDMA

1.1.2 双工复用模式和多址接入方法

图 1.1 给出移动通信系统的基本框图。

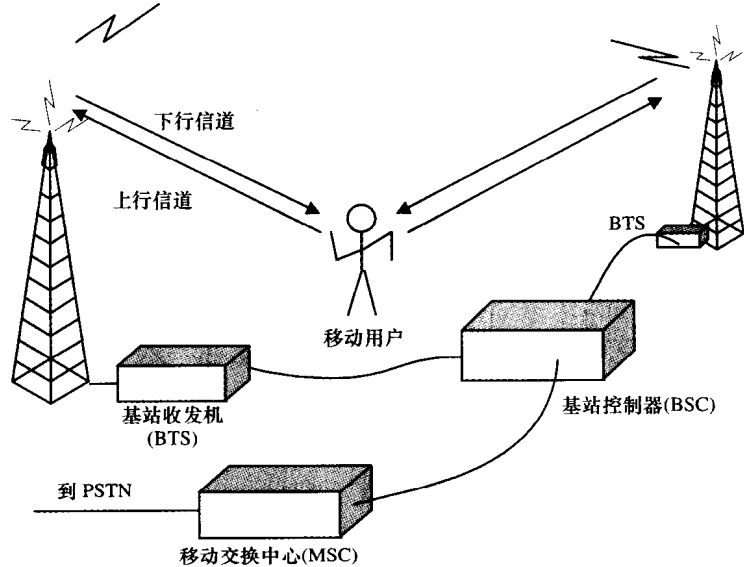


图 1.1 移动通信系统基本框图

在无线通信系统中,从基站发射机到达移动设备接收机的无线链路被称作前向链路或者下行链路;而从移动设备发射机到达基站接收机的链路称作反向链路或上行链路。上行信道和下行信道可以被分为不同类型的信道,其中控制信道和接入信道可以用于建立呼叫以及处理空闲移动台的其他控制功能;业务信道可以用于承载语音和数据信息。

1.1.2.1 双工复用模式

在许多系统中,可以按频率划分上行链路和下行链路信道,这种方法称作频分双工(FDD);而其他某些系统中,上行链路和下行链路使用相同的频率,允许上行链路在当前时隙内使用该频率,而下行链路可以在下一时隙内使用该频率,这种方法称作时分双工(TDD)。图 1.2 中给出这两种双工方法的示意图。

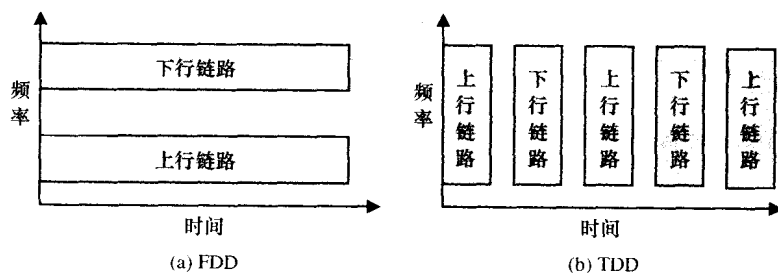


图 1.2 双工复用模式

上图 1.2(a)表示 FDD 方式,在 FDD 系统中,由于发射机和接收机同时处于活动状态,因此必须要使用高性能带通滤波器来分离上行链路和下行链路,以避免设备单元发送和接收之间的相互干扰。图 1.2(b)表示 TDD 方式,由于当可用带宽非常有限时,用户不会同时进行发射和接收,从而不再需要带通滤波器,因此这种 TDD 方式是非常具备吸引力的。而且 TDD 系统还非常适用于可变速率、非对称带宽系统。而 FDD 系统对于定时同步的要求要远远低于 TDD 系统,使其更加适用于大功率、远距离的通信系统。

1.1.2.2 多址接入方式

为了允许多个用户共享无线资源,需要实现多个用户信号的正交,这样各个用户就可以共享无线资源。常用的基本多址接入方式包括频分多址复用(FDMA)、时分多址复用(TDMA)和码分多址复用(CDMA),它们分别实现频率、时间和码字的正交,参见图 1.3。

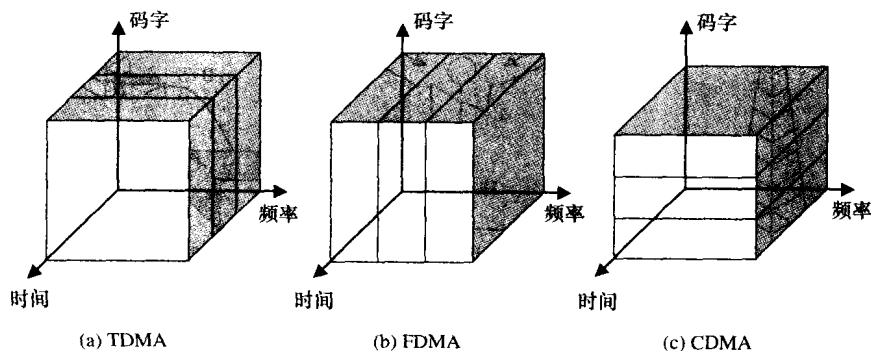


图 1.3 多址接入方式

近年来,为了更好地利用无线资源,还可以组合上述多址接入方式使用,参见图 1.4,其中

结合使用了上述的三种接入方式。

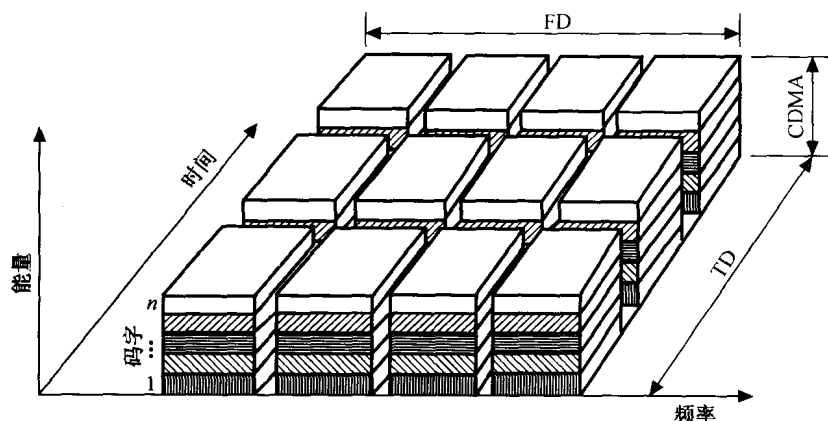


图 1.4 三种多址接入方式的组合应用

1.1.3 第三代移动通信系统

早在部署第二数字无线通信系统时,人们就已经展开了研制第三代无线通信系统(3G)的工作,要求在这些系统中添加宽带数据业务,以支持视频、互联网接入以及其他更高速率的业务,要求能够满足:

- 高速接入:支持例如快速互联网接入或者多媒体类型应用的宽带业务。对这种业务的需求正在不断地增长;
- 灵活性:支持引入新业务,能够为用户运营商带来好处;
- 成本可行性:像现有的通信系统那样能够被用户所接纳;
- 兼容性:提供与现有无线网络最佳的演变途径;
- 速率要求:在移动条件下,提供 144kbit/s 的传输速率,以 384kbit/s 为最佳;在固定条件下,提供 2Mbit/s 的传输速率。

图 1.5 说明了第二代和第三代移动系统中比特速率和移动性的关系曲线。

1992 年,国际电信联盟(ITU)的世界无线电管理委员会(WARC)提出计划,准备向所有国家开放 2000MHz 频段,用于实施全球无线通信系统。这一计划开始称作未来地面移动电话系统(FPLMTS),在 1995 年更名为国际移动电信标准 2000(IMT-2000)。IMT-2000 的初衷是期望能够在世界范围内定义单一的、遍布各地的无线通信标准,提供通用的基本网络设备和手持终端,从而为全球所有用户提供通用的无线通信系统和设备。然而在 20 世纪 90 年代中期,由于多种数字无线技术都已经在商业领域内获得了巨大的成功,因此制定全球通用标准的想法也就变得不可行了。欧洲的 TDMA 和 GSM 技术以及北美的 IS-95CDMA 技术至今也没有达成共识,形成统一的第三代无线技术。这样,ITU 只好确定一系列标准,以供全球范围使用。

截至到 1998 年 6 月,ITU 接收到 15 份 IMT-2000 的建议,其中 5 份建议是关于卫星通信系统,其余的 10 份建议是关于类似于地面 PCS 的无线系统,其中 FDD 方式 8 种,TDD 方式 5 种。值得注意的是,大多数的卫星和地面建议中都在其空中接口协议内包含使用了 CDMA 技术。表 1.3 中给出这 10 种建议的介绍。

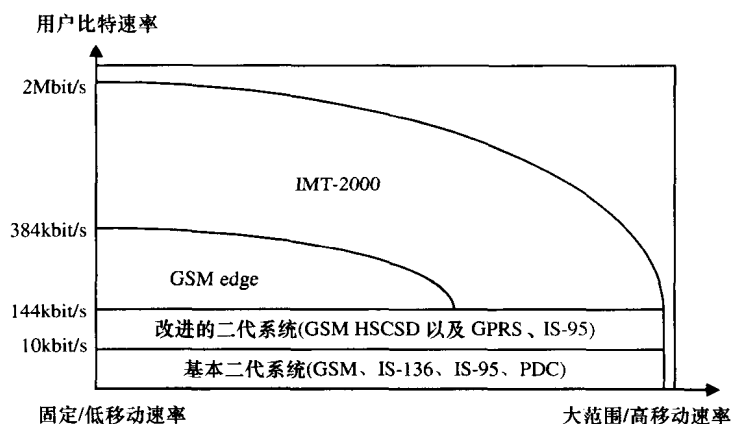


图 1.5 移动通信系统中比特速率和移动性的关系曲线

表 1.3

第三代移动通信系统的建议标准简介

空中接口方案	操作模式	双工方式	关键特性
cdma2000 美国 TIA TR45.5	多载波以及 $N \times 1.2288\text{Mcps}$ 的 DS-SS-SSMA, 其中 $N=1,3,6,9,12$	FDD 和 TDD 模式	- 后向兼容 IS-95 和 IS-95B - 可以采用多载波方式或者直扩方式来实现下行链路 上行链路可以同时支持多载波和直扩方式的组合
UTRA (UMTS 地面无线接入) ETSI SMG2	$N \times 1.024\text{Mcps}$ 的 DS-SS-SSMA, 其中 $N=4,8,16$	FDD 和 TDD 模式	- 宽带 DS-SSMA 系统后向兼容 GSM/DCS-1900 在 FDD 模式中, 下行链路最大速率为 2.048Mbit/s - 该组中的建议标准具备各自唯一的特征, 但是全都支持通用的码片速率、10ms 的帧结构、每帧内包含 16 个时隙
W-CDMA/NA(宽带 CDMA/北美) USA TIPI-ATIS			
W-CDMA/日本 (宽带 CDMA) 日本 ARIB			
CDMA II 韩国 TTA			
WIMS/W-CDMA 美国 TIA TR46.1			
CDMA I 韩国 TTA	$N \times 0.9216\text{ Mcps}$ 的 DS-SS-SSMA, 其中 $N=1,4,16$	FDD 和 TDD 模式	每扩频码最大传输速率 512kbit/s, 码的累积最大速率为 2.048Mbit/s
UWC-136(通用无线通信协会)USA TIA TR45.3	TDMA-最大速率 722.2kbit/s (室外/车载) 最大 5.2Mbit/s (室内办公环境)	FDD(室外/车载) TDD(室内)	- 后向兼容 IS-136 和 GSM - 适合现有的 IS-136 RF 频率计划
TD-SS-SSMA 中国电信科学技术研究院(CATT)	DS-SS-SSMA 1.28Mcps	TDD	- 采用智能天线技术 - DECT ETSI 计划(EP) - DECT
DECT	$1150 \sim 3456\text{kbit/s}$ TDMA	TDD	2G DECT 技术的改进版本

到 1999 年 11 月,ITU 公布了第三代移动通信系统无线接口技术规范的建议。可用的无线传输技术分为 CDMA 和 TDMA 两类,迄今为止,其中包括:

IMT-2000 CDMA DS;UTRA FDD/WCDMA;