

谈振辉 编著

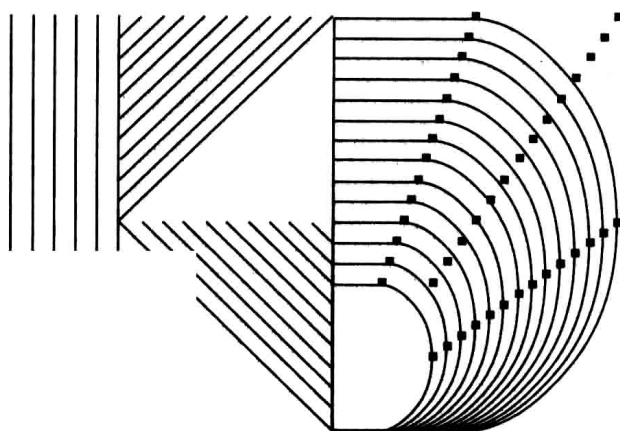
宽带移动通信系统 与关键技术



KUANDAI YIDONG TONGXIN XITONG
YU GUANJIAN JISHU

谈振辉 编著

宽带移动通信系统 与关键技术



图书在版编目(CIP)数据

宽带移动通信系统与关键技术/谈振辉编著. —北京:高等教育出版社,2010.9

ISBN 978 -7 -04 -030655 -2

I. ①宽… II. ①谈… III. ①移动通信-宽带通信系统-高等学校-教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 150463 号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 王莉莉 封面设计 刘晓翔 责任绘图 尹 莉
版式设计 王 莹 责任校对 金 辉 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 39.25
字 数 960 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 9 月第 1 版
印 次 2010 年 9 月第 1 次印刷
定 价 73.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30655 - 00

内 容 简 介

本书重点介绍了宽带移动通信系统的基本理论和体系结构、关键技术、标准发展以及动态趋向等内容。本书共分10章:第1章讨论了无线宽带通信系统,如扩频码分多址、IMT-2000和GPRS-136等,重点介绍了第三代移动通信系统技术标准、新世纪移动通信的发展趋势;第2章分析了向第三代移动通信系统的演进趋势、向后3G网络演进的几个关键问题和未来无线通信领域的新技术;第3章讨论了个人通信网的发展、无线局域网及其技术、无线异步转移模式WATM接入和结构,介绍了个人多媒体移动通信业务在日本、韩国和中国台湾地区的进展;第4章对基于ATM的宽带多媒体无线寻址接入、基于GPRS的无线分组数据Internet接入、UMTS地面无线接入UTRA系统、交织频分多址技术和短距离低功率无线通信接入系统进行探讨;第5章分析了移动性对通信网、IP和移动蜂窝互联网中的VoIP移动性的影响、讨论了UMTS全IP无线网络的移动性管理和WLAN与蜂窝异构网络中本地代理和IP地址配置;第6章介绍了数字移动通信系统中的调制技术、空时编码技术、发射分集技术和智能天线技术,并对DS/SFH-SSMA通信系统在瑞利衰落信道中的性能进行分析;第7章讨论了CDMA移动通信中多址多用户干扰抵消技术、MC-CDMA信号检测技术、时变移动信道仿真方法、低秩信道MIMO系统容量和单基站混合定位算法研究;第8章讨论了UMTS和cdma 2000网络的融合、3GPP与WLAN的交互和自组织无线通信网的组网技术、短波数据通信网的设计考虑;第9章介绍了基于欧氏距离度量的综合动态无线资源管理、软件可编程无线电开发系统、OFDMA系统中联合资源分配策略和同步算法;第10章研究了扩频通信的跳频系统、跳频通信系统的自同步和CDMA中的空时信号处理等。

本书可以作为在移动通信领域工作的科研人员和工程技术人员的科技参考书,也可以为高等学校有关专业的教师、研究生和本科生的教学提供参考。

前 言

进入 21 世纪,高新科技迅猛发展,正孕育着新的重大突破,并且深刻地改变经济和社会的面貌。信息科学和技术发展方兴未艾,依然是经济持续增长的主导力量。21 世纪是移动信息社会,社会和经济信息主要以数字和数据格式描述,信息的交流主要依赖于通信和计算机技术。通信发展的趋势是逐步消除人类活动受空域、时域和其他域的束缚,使人们可以无所不在、无所不包和无缝隙地进行信息交流。移动通信仍然是信息通信技术领域的亮点之一,也是新世纪全球范围内信息通信技术发展的重头戏。

移动通信系统发展的速度始终超乎人们的预料,发展历程可谓波澜壮阔,从以频分多址和模拟调制为其特征的第一代模拟移动系统,如 AMPS、NMT 和 TACS 系统等,到以时分多址和数字调制为特征的第二代数字移动通信系统,如 ADC、DAMPS 和 GSM、CDMA 系统等,再到以 WCDMA、cdma 2000 和 TD-SCDMA 等为特征的第三代数字移动系统发展历程,也不过 30 年左右。针对移动通信在国家发展战略中的突出地位,我国已把“新一代宽带无线移动通信”列入国家科技重大专项之一并组织实施,旨在通过核心技术突破和资源集成,完成重大战略产品、关键共性技术和重大工程来提高国家在国际上的竞争力。

本书按时间顺序收集了 20 世纪 90 年代以来,在移动通信和其相关领域的研究文稿。其中,大部分文稿是作者在宽带移动通信系统与关键技术方面的授课讲义或研究论文,部分文稿是作者和其指导的研究生的研究成果。根据近 20 多年来宽带移动通信系统的发展轨迹,重点介绍了宽带移动通信系统的基本理论和体系结构、关键技术、标准发展以及动态趋向。当然,随着研究进程的加快,有的概念、技术或许已被遗忘,如无线个人通信 WPC(Wireless Personal Communications)、无线 ATM 等。但是,这些如今被遗忘或者说被忽略的概念和技术,其部分思想和探索实际上仍然在新一代宽带移动通信中得到了某种程度的延续。阅读本书,从移动通信的发展历史来看,其轨迹能够给读者带来不同于纯科学技术视角的启迪和思考。

本书共分 10 章:第 1 章“移动通信系统和标准”讨论了无线宽带通信系统,如扩频码分多址、IMT-2000 和 GPRS-136 等,重点介绍了第三代移动通信系统技术标准、新世纪移动通信的发展趋势;第 2 章“移动通信系统的演进”分析了向第三代移动通信系统的演进趋势、向后 3G 网络演进的几个关键问题和未来无线通信领域的新技术;第 3 章“个人通信和 WLAN、WATM”讨论了个人通信网的发展、无线局域网及其技术、无线异步转移模式 WATM 的协议,介绍了个人多媒体移动通信业务在日本、韩国和中国台湾地区的进展;第 4 章“无线接入体制和技术”对基于 ATM 的宽带多媒体无线寻址接入技术、基于 GPRS 的无线分组数据 Internet 接入、UMTS 地面无线接入 UTRA 系统及其发展趋势、交织频分多址技术和短距离低功率无线通信接入系统进行了探讨;第 5 章“移动性管理和移动 IP 技术”分析了移动性对通信网、IP 和移动蜂窝互联网中的 VoIP 移动性的影响,讨论了 UMTS 全 IP 无线网络的移动性管理和 WLAN 与蜂窝异构网络中本地代理和 IP 地址配置;第 6 章“编码、调制、分集和智能天线”介绍了数字移动通信系统中的调制技术、空时编码技术、发射分集技术和智能天线技术,并对 DS/SFH-SSMA 通信系统在瑞利衰落信道中的

性能进行分析;第7章“干扰抑制、信号检测与信道容量”讨论了CDMA移动通信中多址用户干扰抵消技术、MC-CDMA信号检测技术、时变移动信道仿真方法、低秩信道MIMO系统容量和单基站混合定位算法研究;第8章“网络交互与融合,自组织通信网”讨论了UMTS和cdma 2000网络的融合、3GPP与WLAN的交互和自组织无线通信网的组网技术、短波数据通信网的设计考虑;第9章“无线资源管理、软件无线电和OFDM”介绍了基于欧氏距离度量的综合动态无线资源管理、软件可编程无线电开发系统、OFDMA系统中联合资源分配策略和同步算法;第10章“扩频多址通信系统”研究了扩频通信的跳频系统、跳频通信系统的自同步和CDMA中的空时信号处理等。

作者参与的宽带移动通信系统与关键技术的研究得到了国家高技术研究发展计划(863计划)通信主题项目和国家自然科学基金委员会的基金项目大力资助。其中,“863”计划通信主题项目有“CDMA-PCN关键技术研究”(863-317-303)、“无线ATM关键技术研究”、“W-CDMA移动通信关键技术研究:与现有移动通信系统的兼容性”(9863-317-9603-10-7)、“应用于感知无线通信系统的电磁兼容性技术研究”(2007AA01Z277)等。国家自然科学基金重大计划有“宽带高速无线通信传输理论及关键技术”(90104016)、重点项目“高速铁路智能综合信息系统与关键技术研究”(60332020)、面上项目“用软件无线电技术在无线ATM上实现多协议接入的研究”(69872001)和“异构网络融合关键技术研究”(60772035)等。

在本书的编著过程中,汇入本书的部分文稿的合作者有金晓军高级工程师、姚冬苹副教授、朱刚教授、李旭教授、关皓研究员、赵冬梅副教授、王炳锡教授和高德刚讲师等,作者指导的历届博士研究生赵瑞峰、蒋海林、陈霞、苏彦兵、田野、熊磊、张金宝、张令文、冯辰、乔晓瑜和李佳俊等,历届硕士研究生张艳荣、周平、张丽娟、王君娜、韩晓斌、牟丹和陈超等。博士研究生张晓燕、叶海纳、章嘉懿、刘寅生、张秀宁等分别对本书各章节内容进行校对,提出了一些修改建议。此外,博士研究生孔勇、硕士研究生王正浩和门家强为本书的出版做了大量的绘图、排版等辛勤的编辑工作,在此表示衷心感谢。

回首过去,作者自1978年从铁路现场到北京交通大学攻读硕士学位,在李承恕教授指导下完成了题为“跳频扩频信号同步的研究”硕士论文;1984年到东南大学在吴伯修教授和程时昕教授指导下攻读博士学位,完成了题为“高频信道中高速数字信息传输的研究”博士论文;1987年回到北京交通大学,有幸在李承恕教授为所长的现代通信研究所工作至今,每一点进步都源自恩师的教诲和指引,本书的编著和出版也凝聚着导师的心血和期望,在此深切缅怀吴伯修先生,衷心祝愿李承恕教授和程时昕教授健康长寿。

本书可以作为移动通信领域工作的科研人员和工程技术人员的科技参考书,也可以为高等学校有关专业的教师、研究生和本科生的教学提供参考。如本书能为从事宽带移动通信设计、研发和运营的人员提供一些参考和借鉴,能对我国宽带移动通信系统的发展起到一点促进作用的话,作者将感到十分荣幸和欣慰。

宽带无线移动通信系统的理论和技术仍在飞速发展,不断涌现出的研究成果也日臻丰硕,限于编者的水平,书中错误及不妥之处在所难免,恳请读者批评指正!

谈振辉

2010年5月

于北京交通大学电子信息工程学院

目 录

第 1 章 移动通信系统和标准	1
1.1 数字移动通信体制的新动向:扩频码分多址 SS-CDMA	1
1.2 无线宽带通信系统	7
1.3 无线宽带传输技术	13
1.4 第三代移动通信系统技术标准的研究	39
1.5 第三代移动通信 IMT-2000 展望及探讨	41
1.6 第三代移动通信系统 IMT-2000 的现状与发展	44
1.7 IMT-2000 的网络结构、相关规定及关键技术	47
1.8 GPRS-136 系统及其发展	54
1.9 新世纪移动通信的发展趋势	62
1.10 全球第三代(G3G)移动通信标准的协调	66
第 2 章 移动通信系统的演进	75
2.1 向第三代移动通信系统的演进趋势	75
2.2 以移动电信业务为需求动力的移动通信网络的演进	79
2.3 WCDMA 和 WLAN 向 3G 和后 3G 演进	86
2.4 向后 3G 网络演进的几个关键问题	90
2.5 未来无线通信领域的新技术	96
2.6 下一代移动数据网络	104
2.7 下一代无线通信网络中基于 IMS 的业务平台	114
2.8 移动通信的关键技术	121
第 3 章 个人通信和 WLAN、WATM	128
3.1 个人通信网的发展	128
3.2 无线局域网及其技术	134
3.3 个人通信与个人通信网	137
3.4 无线个人通信的发展	142
3.5 无线个人通信网	153
3.6 提供移动多媒体业务的无线 ATM	157
3.7 无线异步转移模式 WATM 的协议	165
3.8 韩国和中国台湾地区个人通信服务的发展策略	169
3.9 个人通信业务中的编号和识别	179
3.10 移动多媒体通信中无线 ATM 接入和结构	183
3.11 无线 ATM 网络的移动性管理	190
3.12 个人多媒体移动通信业务在日本的进展	199
第 4 章 无线接入体制和技术	203
4.1 基于 ATM 的宽带多媒体无线寻址接入技术	203
4.2 基于 GPRS 的无线分组数据 Internet 接入	211

4.3	基于宽带接入技术的新一代移动通信系统	217
4.4	UMTS 地面无线接入 UTRA 系统及其发展趋势	223
4.5	宽带无线接入系统及其关键技术	228
4.6	应用于移动环境中的无线 LAN 接入网结构	233
4.7	交织频分多址 (IFDMA) 技术探讨	239
4.8	短距离低功率无线通信接入系统	243
4.9	兼顾基于多载波和单载波多址接入特点的交织频分多址	251
第 5 章	移动性管理和移动 IP 技术	257
5.1	移动性对通信网的影响	257
5.2	IP 与无线 ATM 结合的移动性管理	263
5.3	混合激励功率传送型智能小区	267
5.4	蜂窝 CDMA 网络中移动 IP 接入 Internet	272
5.5	基于欧氏距离度量的移动台辅助越区切换	279
5.6	IP 和蜂窝互联网中的 VoIP 移动性	284
5.7	第三代无线通信网络中业务质量管理	290
5.8	GPRS 和 WCDMA 移动通信网中 IPv4 到 IPv6 的过渡	295
5.9	基于 IP 公众接入移动 LAN (PamLAN) 系统	301
5.10	UMTS 全 IP 无线网络的移动性管理	307
5.11	下一代全 IP 无线网络的移动性管理	316
5.12	WLAN 与蜂窝异构网络中本地代理和 IP 地址配置	326
第 6 章	编码、调制、分集和智能天线	335
6.1	数字移动通信系统中的调制技术	335
6.2	DS-SSMA 通信系统在瑞利衰落信道中分集算法的性能	340
6.3	DS-SFH 扩频多址系统在瑞利衰落信道多径分集性能研究	346
6.4	混合 DS-SFH 扩频多址通信系统采用 RS 码性能界限分析	352
6.5	无线通信系统中的智能天线技术	356
6.6	无线系统中的智能天线	362
6.7	延时反馈闭环发射分集的上限性能分析	366
6.8	宽带无线接入网的空时编码技术	370
6.9	基于矢量范数的一类多发射天线系统的性能分析	375
6.10	CDMA 通信系统的发射分集技术	379
6.11	一种低译码复杂度的 Turbo 架构 LDPC 码	384
第 7 章	干扰抑制、信号检测与信道容量	392
7.1	自适应滤波技术在通信中的应用	392
7.2	干扰抑制处理技术在扩频通信中应用	399
7.3	码分多址个人通信系统抗多径干扰技术的研究	405
7.4	CDMA 移动通信中多址用户干扰抵消技术	410
7.5	DS-CDMA 移动通信系统中的数据检测技术	416
7.6	提高 WCDMA 通信系统容量的技术	426
7.7	频率选择性衰落信道中 MC-CDMA 信号检测技术	430
7.8	铁路交通中基于通信的无线定位问题分析	436

7.9	基于天线选择的低秩信道 MIMO 系统容量研究	441
7.10	一种时变移动信道仿真方法	446
7.11	基于泰勒级数展开的蜂窝 TDOA 定位新算法	456
7.12	基于数据融合技术的单基站混合定位算法	461
第 8 章	网络交互与融合, 自组织通信网	468
8.1	自组织无线通信网的组网技术	468
8.2	短波数据通信网的设计考虑	474
8.3	下一代移动数据网: WLAN 蜂窝数据网	478
8.4	UMTS 和 cdma 2000 网络的融合	487
8.5	基于 IEEE 1394 和 UWB 的家庭网络	494
8.6	3GPP 与 WLAN 的交互	500
8.7	自愈通信系统的结构与功能	506
8.8	蓝牙和 Wi-Fi 低功率无线通信的比较	512
8.9	3G 和 WLAN 交互网络结构和业务	520
第 9 章	无线资源管理、软件无线电和 OFDM	525
9.1	软件可编程无线电开发系统	525
9.2	基于欧氏距离度量的综合动态无线资源管理	529
9.3	基于输出多普勒扩展函数的 OFDM 载波间干扰分析	537
9.4	一种新的基于短训练符号 OFDM 联合时间频率同步算法	542
9.5	多用户 OFDMA 系统中联合资源分配策略	549
9.6	基于平均互信息量的物理层抽象算法	555
第 10 章	扩频多址通信系统	564
10.1	扩频通信的跳频系统	564
10.2	跳频通信系统的自同步	571
10.3	频率跳变的扩频信号检测	579
10.4	个人通信中的扩频技术	585
10.5	CDMA 无线网络: QCS 系统	590
10.6	混合 DS-SFH 扩频多址室内无线数字通信性能分析	594
10.7	实时码分多址测试平台	603
10.8	混合功率速率自适应综合业务 CDMA 通信在瑞利衰落信道的性能	607
10.9	CDMA 中的空时信号处理	612

第 1 章 移动通信系统和标准

1.1 数字移动通信体制的新动向:扩频码分多址 SS-CDMA *

一、前言

多址选址技术是移动通信系统能否高效可靠运行的关键技术之一,它直接影响到移动通信系统的频谱利用率、系统容量、蜂窝小区结构、系统设备复杂性和成本等。

多址选址技术体制基本上可分为五类:

(1) 频分多址 FDMA (Frequency Division Multiple Access):不同的用户被分配在时隙相同、频率不同的信道上。

(2) 时分多址 TDMA (Time Division Multiple Access):不同的用户被分配在时隙不同、频率相同的信道上。

(3) 码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access):各用户被分配在时隙和频率均相同的信道上,以正交码序列来区分各用户。

(4) 极分多址 PDMA (Polarization Division Multiple Access):不同的用户工作在不同的极化区域。

(5) 空分多址 SDMA (Space Division Multiple Access):不同的用户对应于不同的波束天线。

适合于移动通信的多址体制主要是采用上述多址选址体制中的前三种,当然在这三种多址体制基础上也可提出若干种复用多址方案。如在 TDMA 基础上提出分组统计复用多址方案 PRMA (Packet Reservation Multiple Access),它可用于移动台对基站的上行无线链路传输。

第一代模拟移动通信系统是以频分多址和模拟调制 FM 为其特征,如 AMPS、NMT 和 TACS 系统。面对急剧增长的市场需求,第一代模拟通信系统存在频谱利用率较低,话音质量不高,缺少必要的通信安全功能和难与 ISDN 链接等缺点,严重地限制其应用和发展。以时分多址和数字调制 $\pi/4$ QPSK 或 GMSK 为特征的第二代数字移动通信系统,如美国 ADC 和 D-AMPS、欧洲 GSM、日本 JDC 和英国 DCS-800 系统必然引起各国关注。第二代数字移动通信系统采用信道数字复用、数字调制、分集接收和低比特率信源编码,系统容量较第一代模拟移动通信系统可提高 10 倍,还具有定位、确认和加密功能,以及减小体积和降低功耗等优点。

虽然第一代和第二代移动通信系统中所采用的 FDMA 和 TDMA 多址体制有严格的频率和时隙分配及管理,但仍存在来自空间重叠、频率重叠、时间重叠及其他组合干扰。为了克服这些重叠和干扰,必须在空间、频率和时间三维域上设置防卫间隔,这就限制了 FDMA 或 TDMA 通信

* 作者:谈振辉,刊在《电信科学》,1994,10(8):20-26 和《现代通信技术》,1993,14(4):1-6。

系统潜力的挖掘和提高。

近年来,理论研究和实验结果指出:在有意或无意干扰并存的情况下,通信双方通过收发两端的信号处理,可确保因干扰导致的性能恶化不会低于等功率高斯噪声对系统性能的影响。这就意味着干扰者的最优策略是施放高斯噪声的干扰。对抗干扰者而言,通信采用的最佳波形在统计上应呈现高斯噪声特征。总之,上述最小、最大解是信号和干扰波形都应呈现带宽尽可能宽的噪声波形。

CDMA 扩展频谱信号就具有宽频带伪噪声特征,它始于军事抗干扰数据通信的应用。近年来,由于数字信号处理器件的发展,使 CDMA 多址选址能力在移动通信中显示出巨大的潜力。表 1 列举了美国三家公司研制 CDMA 移动通信系统的有关性能参数。

表 1 美国三家公司研制 CDMA 移动通信系统的主要性能参数

名称	多址	扩频调制	上下频段 MHz	射频间隔 MHz	信息调制	话音 编码	话音速率 kbps	信道编码	码速率 MHz
CDMA Qualcomm	CDMA FDMA	DS	869-894 824-849	1.25	BPSK QPSK	QCELP	8	卷积	1.288
BCDMA SCS	CDMA	DS	1 800-2 000	40	MPSK	ADM	32	—	30
ISM-A	CDMA	DS	902-928	10	BPSK	APPCM	32	CRC	—

二、CDMA 移动通信体制的发展

基于北美地区 900MHz 频段资源十分困乏,为满足通信业务日益激增的市场需求,美国不可能一下子抛弃现有模拟移动通信 AMPS 系统而重新开发新的数字移动通信系统。1989 年 9 月蜂窝移动通信工业协会 CTIA 发布了移动通信换代新系统的性能要求。这些要求是:系统容量要高于模拟系统 10 倍;换代技术具有较强生命力,具有扩充新业务能力,如定位、确认、加密和安全等;通信质量明显改善,与现有体制兼容并可简便地从现有体制转换到新体制上;结构为蜂窝开放网络结构 CONA。

电信工业协会 TIA 制定了 TIA/IS-54 标准,把 TDMA 作为双模体制空中接口的多址方案。为提高系统容量和频带利用率,又提出 E-TDMA 方案。它是在标准 TDMA 上引入比特率减半到 4 kbps 的声码器和话音激活技术,声称 E-TDMA 系统的容量可比常规 TDMA 系统提高 4 倍。但是,有效地在移动环境下实现 E-TDMA 系统的性能仍是个技术难题。

1989 年 2 月美国 Qualcomm 公司向太平洋电话公司 PacTel 提交 CDMA 移动通信系统方案报告,相继进行了三次试验。1991 年 12 月 Qualcomm 公司正式向 CTIA 公布了满意的 CDMA 试验系统的测试数据。1992 年 1 月 CTIA 决定向 TIA 推荐宽带扩展频谱标准 WB/SS,3 月至 5 月连续三次举办宽带扩频数字系统、双模基站和移动台兼容标准研讨会,讨论由 Qualcomm 公司提出的采用 CDMA 作为无线接口方案,6 月通过 CDMA 数字蜂窝移动通信标准。此后,Qualcomm 公司和其他通信公司进行了五次通信试验和数据测试。

目前,Qualcomm 公司成功地研制出工作在 800MHz 频段的双模 AMPS/CDMA 和 900 MHz 频段的双模 TACS/CDMA 移动台和手持台设备,研制成工作在 800 MHz、900 MHz 和 1.8 ~ 2.2 GHz 频段的 CDMA 网络和基站设备。除了 Qualcomm 公司外,US West、Motorola、PacTel、OKI Telecom 和 Bell Atlantic 等公司也都进行了 CDMA 移动通信系统的市场调研、通信试验和设备研制。

TIA 在 1992 年 3 月成立 TR45.5 研究扩频数字蜂窝移动通信系统的标准,1993 年 3 月至 12 月期间,分别通过双模制式以 CDMA 作为公共空中接口 CAI 的 IS-95 标准、以标准语音服务选择的 IS-96 标准、以推荐最低性能参数的 IS-97 标准、以推荐基站最低性能参数的 IS-98 标准和以数据服务选择的 IS-99 标准。按照上述 TIA 标准,在达到同样性能的前提下,扩频数字蜂窝移动通信系统可比 AMPS 系统节省约 10dB 信噪比。1993 年 7 月 16 日 TIA 正式把 CDMA 作为北美数字蜂窝通信系统的标准。

早在 1988 年,西欧邮电管理会议 CEPT 就颁布了以 TDMA 为特征的 GSM 标准,GSM 系统是世界上最早出现的数字蜂窝移动通信系统。但是,由于在商业化前没有很好地经过测试验证阶段,至今 GSM 系统在法国遇到诸如启动和互连问题,峰值功率和音频重复速率对邻近用户产生电磁干扰等问题。人们则把希望寄托在 E-TDMA 上,由于方案本身带来的时延,话音插空 DSI 开闭效应、半速率声码器和早释放呼叫概率等导致系统质量难以提高,至今 E-TDMA 没有被承认是一种标准。欧洲标准组织 ETSI 正积极研究 CDMA,并把它作为下一代全球移动通信系统标准的方案。

CDMA 研究热潮正遍及全球各地,如韩国电子通信研究所与 Qualcomm 公司联合研究 CDMA 数字蜂窝系统 DCS (Digital Cellular System),预计 1994 年 9 月完成第一个办公室应用 FOA 系统,1995 年可完全实现商品化。菲律宾、澳大利亚和巴西等国也纷纷投入巨资,启动 CDMA 研究的步伐。

综上所述,CDMA 是在容量、质量、服务和成本诸方面得到充分论证后才开始研制的。试验结果表明:在公共空中接口方面,CDMA 明显地优于以 TDMA 为基础的 GSM 系统。无线 CDMA 多址接入方式可用于蜂窝移动通信、无线本地环路、无线 PABX 和无绳电话等应用环境。

三、CDMA 移动通信体制特点

在移动通信中,与 FDMA 和 TDMA 体制相比较,采用 CDMA 体制后可得到下述益处。

(1) 多种分集接收:移动通信多径传播引起的衰落会严重地影响通信质量,克服多径效应的有效方法是分集接收。其中时间分集可采用交织和纠错编码技术,频率分集可把信号能量扩展到大于频率选择性衰落相干带宽的频段上,空间分集采用并行相关处理的 RAKE 接收或多重天线接收。CDMA 通信系统可容易地综合应用上述多种分集技术,除了改善系统性能外,还可监视邻区信号强弱完成越区切换。

(2) 平均发射功率低:CDMA 采用功率控制后,仅在衰落期间调高发射功率电平,这就减少平均发射功率。而 FDMA 和 TDMA 不论是否处于衰落期,都得发射足够高的功率电平来克服随机发生的衰落效应。降低平均发射功率的结果是增加系统容量,减少小区数和降低设备成本。

(3) 可变数据速率:采用码激活线性预测算法 CELP 进行可变数据速率 9.8 kbps、4.8 kbps、2.4 kbps 和 1.2 kbps 语音编码,高的背景噪声电平激活高的数据速率,进而抵消背景噪声的影响,保证在噪声环境下良好的通话质量。

(4) 安全性:CDMA 移动通信系统是一个保密通信系统,CDMA 信号本身具有一定的安全性。采用 DES 和其他标准加密算法后,可提高数据、信令、用户身份和认证的密级,这是 FDMA 和 TDMA 体制无法相比的。

(5) 越区软切换:在 CDMA 体制中,当移动台从旧蜂窝区转移到新蜂窝区时,只需要改变相应的码序列而不涉及频率的切换。在越区切换期间,新旧两区都同时提供服务,这样极大地降低释放呼叫概率,克服了在 FDMA 和 TDMA 越区切换时常见的乒乓现象,使移动台几乎无法察觉在进行越区。

(6) 系统容量高:为了提高系统的容量,常用频率复用方法来覆盖较大区域的通信。在 FDMA 和 TDMA 体制中,小区内载频信号与各种干扰电平之比要高于一定的载干比。在窄带调制时,载干比 C/I 要达到 18 dB,且该区中信道不可在邻区中出现。在 CDMA 体制中,施加在某一信号的干扰等于所有用户接收功率乘上总的用户数平均值,频率复用系数由该区域中所有用户而不是某小区内某个用户产生的信号干扰比所决定。只要信号功率与总干扰功率比值大于某一门限,扩频宽带信道就可在全区域内通用,其规律服从大数定律,而 FDMA 和 TDMA 系统服从小概率定律。若系统容量定义为每次呼叫通信所占频率带宽的话,那么 FDMA 系统是每次 210 kHz,TDMA 系统是每次 70 kHz,CDMA 系统是每次 10 kHz。试验数据说明:在多径传播环境下,CDMA 系统容量平均是 FDMA 系统的 15 倍。若采用可变速率编码、话音激活和扇区结构,CDMA 系统容量可提高到 FDMA 系统的 20 倍。

(7) 话音激活:在典型的双工双向通话中,话音激活期与停顿期的比例约为 1 : 1.8。假如,某一用户处于停顿期,同一信道中其他用户因背景干扰减少而受益。采用话音激活技术可使系统容量增加近 2 倍,相应地减少移动台发射功率约 2 倍。FDMA 和 TDMA 系统可以利用话音激活来改善系统性能。但是,由于在话音停顿期间,重新安排信道资源产生的时延给这种技术的应用带来难度,而 CDMA 系统可采用可变速率编码器方便地实现话音激活。

(8) 频率复用率高:CDMA 宽带信道可在众多蜂窝区内复用,对某个移动台的干扰是由来自同一区内其他移动台的干扰和来自邻区内移动台的干扰组成的,它们所占的比例约为 65% 和 35%。可见,CDMA 移动通信网是个有效的频率复用系统,其频率复用率为 2/3。而 FDMA 和 TDMA 系统是把频率或时隙事前分配给各用户,在通信过程中其他用户不能共享这些资源,频率复用受到系统信号干扰比的限制,其频率复用率约为 1/7。

(9) 扇区分割增益:CDMA 系统可利用 120° 的定向天线把蜂窝区分成三个扇区,可减少干扰约 2/3,系统的容量可提高 3 倍。考虑到天线覆盖区的重叠,实际可提高系统容量 2.55 倍。FDMA 和 CDMA 系统同样可采取扇区分割技术,由于各相邻扇区的信道不允许重复使用,仅仅得到减小频率复用距离的好处,而不会在容量上有较大收益。

(10) 高质量话音和数据传输:CDMA 系统的宽频带和低 E_b/N_0 允许采用高冗余度有效纠错编码和高效数字调制来确保高质量话音和数据传输。在 FDMA 和 TDMA 系统中,信道带宽限制了高冗余纠错编码的采用,却要求系统具有较高的 E_b/N_0 。

(11) 软容量:在 FDMA 和 TDMA 系统中,没有办法来安置额外用户到已经占满的频道或时隙中工作,呼叫阻塞现象可导致 35% 系统容量的损失。而 CDMA 的系统容量和服务等级之间存在着一种软关系,即在负荷高峰期间,可适当降低比特差错率而增加用户服务数,不会产生阻塞现象,一般可额外增加 10% ~ 50% 容量。软容量功能在越区切换时,可避免无空闲信道而产生

呼叫丢失现象。在 FDMA 和 TDMA 越区切换中,若无空闲信道备用时必须强迫用户进行第二次呼叫以防呼叫丢失。

这种功能还可应用于负荷不均等小区结构的通信,若某些小区的负荷高于平均值时,如覆盖高速公路的小区,其余小区负荷低于平均值。这样,低负荷区对高负荷区的干扰会减少,可允许更多用户在高负荷区工作。

四、CDMA 移动通信体制关键技术

CDMA 数字移动通信中基站接收到某一移动台的信号功率 C 等于比特传输速率 R 和单位比特信号能量 E_b 的乘积,基站接收到干扰 I 等于干扰功率谱密度 N_0 与系统传输带宽 W 的乘积,则载干比为 $C/I = (R/W) \cdot (E_b/N_0)$ 。这里, R/W 是扩频处理增益的倒数, E_b/N_0 是每比特信号能量与噪声功率谱密度比,一般 $E_b/N_0 = 7$ dB。

假设:通信系统中含有 N 个移动台,在功率控制下,基站接收到所有移动台的信号功率均等于 C 。不考虑其他各种干扰时,基站接收到的干扰功率为 $I = (N-1) \cdot C$ 。在 N 较大情况下,CDMA 非蜂窝移动通信系统容量是 $N = (W/R) \cdot (N_0/E_b)$ 。

若蜂窝通信系统采用话音激活、频率复用和扇区分割附加技术后,CDMA 蜂窝移动通信系统容量为 $N = (W/R) \cdot (N_0/E_b) \cdot (1/d) \cdot F \cdot G$ 。其中, d 是话音激活期占全部通信时间的比例,一般为 35%; F 是频率复用率; G 是扇区分割增益。可见,为了提高 CDMA 数字蜂窝移动通信系统的容量,除了上述附加条件外,应提高扩频处理增益和降低信噪比,最根本的关键技术是功率控制和多径分集接收。

1. 功率控制

与传统 FDMA 和 TDMA 通信系统的频率和时间受限不同,CDMA 通信容量和质量主要受限于接收到干扰功率的大小。若基站接收到移动台的信号功率太低,则比特差错率太大而无法保证高质量通信。反之,若基站接收到的信号功率太高,虽然保证了该移动台与基站的通信质量,却对共享同一频段的其他移动台增加了干扰,导致整个通信系统容量和质量的恶化。只有当每个移动台的发射功率控制到基站所需信噪比的最小值时,通信系统的容量才达到最大值。CDMA 移动通信系统的功率控制可分为反向链路开环功率控制与反向链路闭环功率控制、正向链路功率控制。

(1) 反向链路开环功率控制

基站和移动台之间的反向链路和正向链路电波传播路径相同,移动台接收到基站的信号功率在一定程度上反映了基站接收到移动台的平均信号功率损耗。在 CDMA 通信系统中,基站始终发射初始同步的导频信号和用于解调的频率和时间同步参考信号。移动台就可提取这些导频信号和参考信号来与本地功率信号相比较,自适应地调整它的发射功率电平。开环功率控制的响应时间约几毫秒,动态控制范围在 85 dB 左右。

(2) 反向链路闭环功率控制

为避免同频双工的技术难题,常采用异频双工制式,收发载频间隔 45 MHz 已远远地超过信道的相干带宽。正向和反向链路的多径瑞利衰落信道是彼此独立的,因此基站就必须控制移动台的发射信号功率电平。

功率控制的方法是基站提取和测量来自移动台的信噪比,与存储在移动交换中心的移动台

参考信噪比相比较,以几毫秒间隔和阶距 0.5 dB 来调整控制指令。移动台根据闭环功率控制指令和开环功率估值进行发射信号功率的精细调整。图 1 是反向链路功率控制的效果示意。

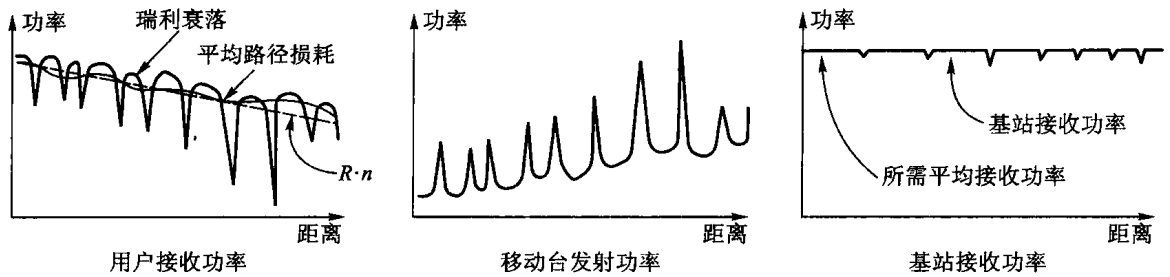


图 1 反向链路功率控制的效果示意

(3) 正向链路功率控制

反向链路功率控制做到在基站接收到各移动台的归一化信号功率相等来克服 CDMA 通信中的远近效应。为减少对邻区的干扰,还需在移动台以接收到信干比为最小值作为目标的正向链路功率控制。这种控制方式也使处于严重干扰区域的移动台保持较好的通信质量,减少对其他信号的干扰。

正向链路功率控制方法是基站周期地降低发射的信号功率,一旦移动台检测到误码率增加,就要求基站按阶距 0.5 dB 调整发射功率,然后重复上述工作,正向链路功率调整范围为 ± 6 dB 左右。

2. 多径分集接收

移动通信多径传播信道特性可表征为对数正态分布的平均路径损耗和瑞利分布衰落,这些特性会严重影响 FDMA 和 TDMA 系统的通信质量。而在 CDMA 系统中,可采用 RAKE 接收机利用多径传播现象来降低所需的信噪比,提高系统的通信质量。

所谓 RAKE 接收机就是利用多个并行相关器独立地搜索检测多路多径信号参数,按照一定的统计准则组合成一路信号供解调用。可见,CDMA 系统是利用多径信号,而不像 FDMA 那样把多径信号作为干扰来处理。RAKE 接收技术还可成功地应用于越区软切换和扇区软切换过程。在 FDMA 和 TDMA 系统中,若发生下述情况,就无法实现常规的硬切换。这些情况是:邻区无空闲信道供呼叫使用;位于不同蜂窝区的不同移动台使用同一呼叫信道;移动台没有接收到切换信道的指令等。而在 CDMA 系统中,采用多径分集接收,可使移动台与多个基站保持通信,克服切换过程中信号电平波动产生的乒乓现象。

我国移动通信还比较落后,模拟移动通信系统正在引进推广应用,数字移动通信系统刚启动研究和攻关。面临着我国数字移动通信体制究竟是采用 TDMA 制式还是 CDMA 制式的问题,应当密切关注国外有关体制的争论,把握世界数字移动通信的发展趋势,这是选择体制和制定规划的先决条件。

应当对一些关键技术踏踏实实地开展自己的研究工作,在此基础上,提出结合我国国情的数字移动通信标准。以 GSM 网络标准和 CDMA 空中接口标准为基础的体制或许会成为我国数字移动通信系统的标准方案。

参考文献

- [1] 李承恕. 数字移动通信发展现状. 通信学报, 1991, 12(1): 3-13.
- [2] 谈振辉. 个人通信网的发展. 北方交通大学学报, 1993, 17(4): 344-350.
- [3] Viterbi A J. Wireless Digital Communications: A View Based on Three Lesson Learned. IEEE Communication Magazine, 1991, 29(9): 33-36.
- [4] Lee W C Y. Overview of Cellular CDMA. IEEE Trans. on VT, 1991, 40(2): 291-302.
- [5] Gilhousen K S. On the Capacity of a Cellular CDMA System. IEEE Trans. on VT, 1991, 40(2): 303-312.
- [6] Schilling D L, Milstein L B, Pickholtz R L. Broadband CDMA for Personal Communications System. IEEE Communication Magazine, 1991, 29(11): 86-93.
- [7] Qualcomm Incorporated Report. An Overview of the Application of Code Division Multiple Access to Digital Cellular System and Personal Cellular Networks. May 1992.

1.2 无线宽带通信系统*

随着社会的进步和发展,人们对通信业务提出了宽带化、综合化、移动化、个人化和智能化要求,并要求能对用户提供具有多媒体业务质量和随机寻址接入网络的功能。近年来,由于 Internet 和 Intranet 应用的牵引及移动多媒体业务的驱动,加之蜂窝移动电话和笔记本个人计算机等使信息随机接入通信网,为用户提供了方便,加速了对无线宽带通信系统 WBCS(Wireless Broadband Communication System)的研究进程。

无线宽带通信系统应该具有下述特征,即以异步转移模式 ATM 信元为基本信息单元;传输速率应不低于 2~156 Mbps;采用透明的传输通信协议;用户以无线移动方式接入宽带综合业务数字网 B-ISDN;用户之间通信可以采用直接方式,也可通过基站转接方式;提供多媒体电信业务;射频带宽为 40~60 GHz,采用微波、毫米波或红外线等传输手段。

目前已有两类宽带无线接入系统。一类是电视广播系统,它以电缆分布系统来发展有线电视 CATV;另一类是无线 ATM,它把数据速率提高到数百兆比特,链接到以传输控制协议和网间协议 TCP/IP 为基础的以太网或 ATM 网上。

无线宽带通信系统的发展主要受无线频谱资源和移动环境中多径效应的限制。在选择和研究无线接入技术时,必须考虑无线通信环境中数据速率低和误码率高的事实。图 1 说明无线接入技术影响电信业务类别、传输速率大小、电路或分组交换方式和小区尺寸等性能。

无线宽带通信系统的研究领域有无线局域网 WLAN、无线 ATM、本地多点分布业务 LMDS、多点多信道分布业务 MMDS、正交频分复用扩频 OFDM-SS、多载频码分多址 MC-CDMA 等。下面将分别简略介绍其研究动态和发展趋势。

1. 无线局域网 WLAN

无线局域网 WLAN 是把具有移动性和袖珍性的计算机终端链接成通信网络,达到提高处理容量和共享系统资源的目的,其主要特征是突发高速率数据流量。WLAN 标准正在制订之中,如

* 作者:谈振辉,刊在《中兴新通讯》,1997,3(6):9-13。

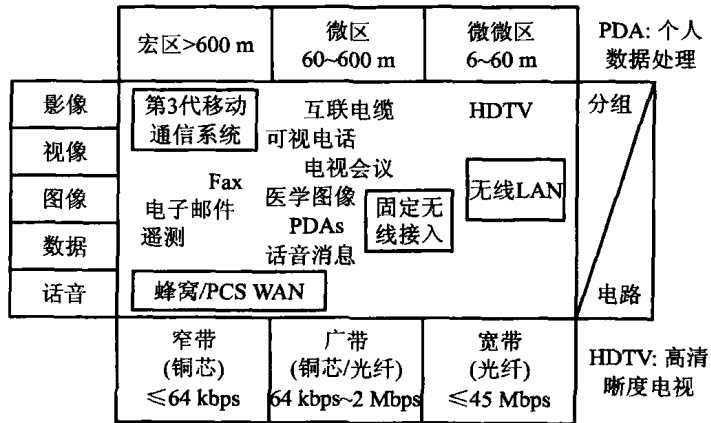


图1 无线接入技术与通信业务的关系

美国 IEEE 802.11 是在无线链路上进行 ATM 信元透明传输,数据速率为 25 Mbps,信息往返一次约需几百毫秒。欧洲 ETSI/RE-SIO 可在 20m 范围内支持 640 kbps 话音、6 Mbps 数据和 6 Mbps 视频信号流量业务,总速率可达 12.6 Mbps。目前 WLAN 传输速率大于 1 Mbps,下一步要进一步提高数据传输速率,研究工作在 5 GHz 甚至 40~60 GHz 频段,支持 20~25 Mbps 或 100 Mbps 传输速率的系统,如 HIPERLAN 和 SUPERNET 项目。

2. 无线 ATM

ATM 网络具有按需动态分配带宽、业务流量综合和数据交换灵活等优点,可提供宽带多媒体业务,包括对时延敏感的话音通信、突发传输与处理的视频业务。在 ATM 网络基础上,把移动终端连接到 ATM 上,采用无线寻址接入技术支持移动逻辑功能,给移动终端提供高质量业务。

无线 ATM 网络如图 2 所示,无线 ATM 与 ATM 相比,在技术上的主要区别是:把 ATM 业务扩展到无线介质寻址接入层;在网络层次结构上增设了支持移动性的移动 ATM;在信元的头尾附加了无线链路信头和用于纠错的循环冗余校验 CRC 信尾。在结构上,无线 ATM 可以分成两部分,一部分是用于无线链路特殊协议的无线寻址接入;另一部分是与无线信道无关的具有移动控制功能的移动 ATM。

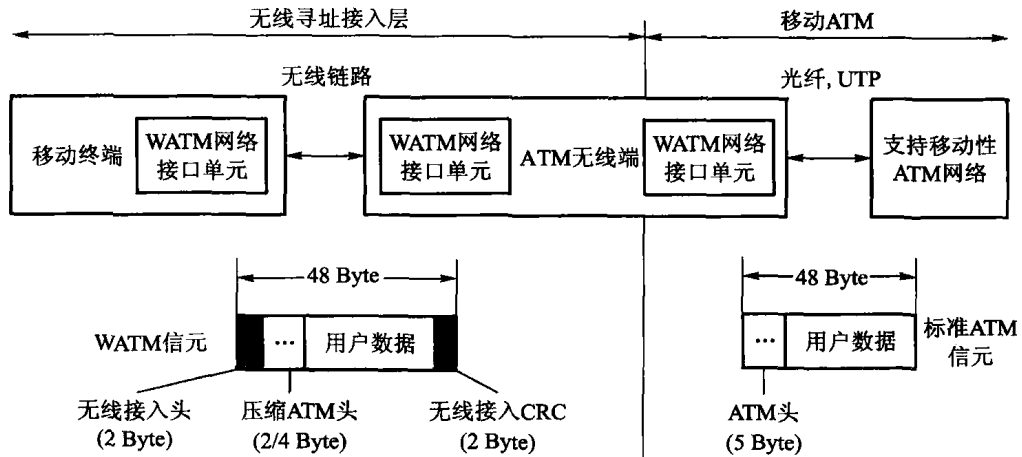


图2 无线 ATM 网络