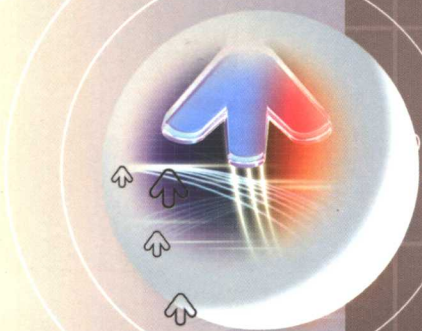


无线通信新技术系列

多载波 宽带无线通信技术

DUOZAIBO KUANDAI WUXIAN TONGXIN JISHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书系统地介绍了以 OFDM 技术为代表的多载波调制技术的基本原理,关键技术(包括同步、信道估计、峰值平均功率比、子载波间干扰的消除),与其他技术的结合(包括信道编码、多址接入、自适应技术、多天线技术)以及多载波调制在宽带无线通信领域(DAB、DVB、802.11a、802.16a 以及 4G 移动通信系统)中的应用。本书可作为通信与信息类专业高年级本科生及相关专业研究生的教学用书或参考书,也可供无线通信领域从事研究与开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

多载波宽带无线通信技术/尹长川,罗涛,乐光新编著. —北京:北京邮电大学出版社,2004

ISBN 7-5635-0712-4

I. 多... II. ①尹...②罗...③乐... III. 宽带通信系统—载波通信:无线电通信—通信技术
IV. TN913.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 070726 号

书 名: 多载波宽带无线通信技术

编 著: 尹长川 罗 涛 乐光新

责任编辑: 李欣一

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号)

邮 编: 100876 电 话: 62282185 62283578

电子信箱: publish @ bupt. edu. cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

印 数: 1—5000 册

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 18.5 字数: 435 千字

版 次: 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0712-4/TN·267

定 价: 34.00 元

如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系

总序

自无线电发明一个多世纪以来,无线通信快速发展,短波、超短波、微波、卫星通信和移动通信等无线通信手段,在社会发展中发挥了重要作用。目前信息化浪潮如日中天,无线通信技术更是推波助澜,成为令人神往的高新技术风景线,无线通信产业也因此成为最见发展前景的产业之一。

由于无线接入互联网和无线多媒体数据业务巨大需求的推动,无线通信今后仍将持续快速发展。无线通信的目标是实现无所不在的通信,即任何人/物在任何时间和任何地点均能实现任何形式的相互通信。这时,无线通信系统能最大限度地利用频域、时域、码域、空域等各种资源,提供大容量通信能力,并支持高质量多种速率的多媒体业务,能动态地运行在多层小区、多种通信环境和多种通信网络之中,自适应地为用户提供优质服务,实现一个多业务、多频段、多模式、多媒体的“全球一网”的“融合的无线环境”。

为了实现这一宏大目标,无线通信领域正在发展很多新的先进技术。这些先进技术将大大提高无线通信系统的数据传输速率和通信的可靠性,增强系统功能,扩大应用领域和服务范围,为用户提供更优质服务和更大方便,使无线通信在社会信息化进程中发挥更大作用。可以预计,无线通信在未来将更加令人瞩目和神往。

北京邮电大学出版社作为信息通信领域的专业出版社,为满足迫切了解无线通信新技术以及在无线通信领域从事研究与开发的科研和工程技术人员、教师、学生和其他无线通信爱好者的需要,特邀一批工作在山东大学、北京邮电大学、东南大学的专家教授,组织编写了这套《无线通信新技术丛书》。

在这套丛书中,我们向大家呈献以下五本书。它们是:由山东大学信息科学与工程学院院长、博士生导师袁东风教授主持写作,同时又适用于本科生教学使用的《宽带移动通信中的先进信道编码技术》;由北京邮电大学著名信息通信专家、博士生导师乐光新教授担纲主审,尹长川副教授主笔的《多载波宽带无线通信技术》;由我国通信领域的著名学者、北京邮电大学博士生导师吴伟陵教授指导并由年轻学人贺志强编写的《无线通信中空时处理》(暂定名);东南大学无线电工程系副主任陈晓曙教授撰写的《Ad Hoc 无线移动网络》和由本套丛书主编、东南大学无线电工程系移动通信国家重点实验室博士生导师毕光国教授主持撰写的《超宽带无线通信》。

这5本书详尽介绍了当前无线通信领域中引人关注且蓬勃发展的先进技术。丛书的作者们长期活跃在该技术领域,今天,他们在百忙中抽出时间奉献了这套丛书,对他们的支持和参与,我们表示衷心的感谢。北京邮电大学出版社为这套丛书的出版倾注了大量的精力,在此我们一并谨致诚挚谢意。

热诚欢迎有关专家和广大读者对丛书提出宝贵意见和建议!我们将根据技术的发展和演变,增加一些受人关注、有更大需求的新书,不断丰富和充实本套丛书。

丛书主编 毕光国教授
2004年3月于南京

进入 21 世纪以来,虽然第三代无线通信系统的商业应用由于种种原因一再推迟,但是人们对于更高通信质量和更丰富通信业务的追求却从来没有停止。伴随着新世纪的到来,欧美等发达国家纷纷启动了新一代无线通信技术的研发项目,特别是欧洲、美国、日本、韩国等国家都投入了大量的财力和人力,加快研发的力度和进程,力图在未来无线通信领域占尽先机。尽管目前人们对于新一代无线通信系统的需求和应用目标尚未形成统一的意见,但普遍的看法是新一代无线通信系统应该能够支持更高的峰值信息传输速率,具有更灵活地支持可变速率、支持更丰富的业务、适应更恶劣的环境的能力。为了具备上述能力,新一代无线通信系统在技术上必须有所突破,以正交频分复用(OFDM)技术为代表的多载波技术结合新近发展起来的多天线技术正成为本领域最具竞争力的备选方案。

多载波技术起源于 20 世纪 50 年代,第一个多载波调制产品是军用的无线调制解调器。但由于当时技术发展水平的限制,这些技术并没有得到人们的广泛关注。进入 20 世纪 90 年代之后,数字信号处理技术和大规模集成电路技术的发展,使多载波调制技术的大规模应用成为可能。多载波调制陆续在数字音频广播(DAB)、数字视频广播(DVB)、非对称数字用户线(ADSL)、IEEE 802.11a 无线局域网、IEEE 802.16a 等领域得到应用并成为国际和行业标准。

乐光新教授领导的北京邮电大学数字通信与信息网络研究室 1995 年即开始对多载波调制技术展开研究,近年来先后得到了国家教委高等学校博士学科点专项基金(项目批准号:97001301)、国家自然科学基金(项目批准号:69872008、60172052、90104018)、国家“863”高技术研究发展计划(项目批准号:2001AA121031、2003AA12331004)等项目的资助,先后有 20 余名博士、60 余名硕士从事本领域的研究与开发工作,近年来,先后在国内外重要学术刊物发表论文 150 余篇,提交国家发明专利 7 项,本书正是在上述研究成果的基础上编撰完成的,是集体智慧的结晶。

全书共 11 章,第 1、2、11 章由尹长川编写,第 3、4、7 章由罗涛编写、第 5 章由佟学俭编写、第 6 章由秦升平编写、第 8、9 章由吴军力、马欣昕编写、第 10 章由王健康编写。全书由尹长川统稿、主编,乐光新教授审阅全书、并提出了很多建设性的意见。

本书第1章全面总结无线通信的发展历史与现状,介绍无线信道的特点、宽带系统与多载波技术的关系、多载波技术的发展历程;第2章介绍多载波调制的基础知识,包括调制和解调的实现、循环前缀的概念、加窗技术、系统参数选择、收发信机结构,并比较单载波与多载波系统的性能和实现复杂度;第3章介绍 OFDM 系统的同步技术,在分析各种同步(包括载波同步、样值同步和符号同步)偏差对系统性能影响的基础上,介绍了各种常用的同步算法;第4章介绍 OFDM 系统的信道估计技术,首先介绍 OFDM 系统中的相干检测和差分检测方法、信道估计偏差对系统性能的影响,然后介绍常用的信道估计方法;第5章详细介绍 OFDM 系统中的峰值平均功率比(PAR)问题,分析出现过高 PAR 的原因、PAR 对系统的损害、PAR 的分布,然后给出几种降低 PAR 的方法;第6章介绍 OFDM 系统中的子载波间干扰(ICI)及其消除方法,主要介绍载波频率偏移和多普勒效应引起的 ICI 及其消除方法;第7章介绍 OFDM 系统中的纠错编码技术,主要包括分组码、卷积码、交织、Turbo 码、网格编码调制、空时编码以及级联编码技术;第8章介绍 OFDM 系统中的多址接入技术,主要讨论多用户情况下 OFDM 系统中的资源分配问题,包括时分多址、频分多址、码分多址、空分多址方式等;第9章介绍 OFDM 系统中的自适应技术,包括自适应 OFDM 的基本原理、单用户 OFDM 系统的自适应调制以及多用户 OFDM 系统的自适应资源分配算法;第10章介绍 OFDM 系统的多天线技术,包括分集与多发送多接收天线(MIMO)的概念、多天线系统的信道容量以及多天线与 OFDM 系统的结合;第11章介绍多载波调制在宽带无线通信系统中的应用,主要介绍 OFDM 技术在数字音频广播、数字视频广播、IEEE 802.11a 无线局域网、IEEE802.16a 无线城域网以及 NTT DoCoMo 所提的第4代移动通信系统方案中的应用。

本书取材广泛,讲解尽量做到深入浅出,可作为通信与信息类专业高年级本科生及相关专业研究生的教学用书或参考书,也可供从事无线通信领域研发工作的工程技术人员参考。

再次感谢国家自然科学基金、国家“863”高技术研究与发展计划、国家教委博士点基金对我们研究工作的持续支持,感谢研究室已经毕业和在读的各位博士生的出色工作,感谢研究室的同事刘丹谱、郝建军副教授与纪红教授的友好合作与支持。

由于作者水平所限,加之时间仓促,错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作者
2004年6月

第1章 绪论

1.1 无线通信的发展	1
1.1.1 第1代(1G)无线通信系统	2
1.1.2 第2代(2G)无线通信系统	4
1.1.3 第3代(3G)无线通信系统	9
1.1.4 第4代(4G)无线通信系统	11
1.2 无线信道的特征	13
1.2.1 衰减作用	13
1.2.2 多径效应	14
1.2.3 时变性	15
1.3 宽带系统与多载波技术	16
1.4 多载波技术的发展	18
本章参考文献	19

第2章 多载波调制基础

2.1 OFDM 系统的调制和解调	23
2.1.1 调制和解调原理	23
2.1.2 实现方法举例	25
2.2 OFDM 的保护间隔和循环前缀	26
2.2.1 保护间隔	26
2.2.2 循环前缀	27
2.2.3 保护间隔长度不足的影响	28
2.2.4 加入循环前缀后的 OFDM 系统	29
2.3 加窗技术	32

2.4 OFDM 的参数选择	34
2.5 OFDM 的收发信机结构	35
2.6 OFDM 中的关键技术	36
2.7 OFDM 与单载波传输系统的比较	37
2.7.1 性能比较	37
2.7.2 复杂度比较	39
本章参考文献	39

第 3 章 OFDM 系统中的同步技术

3.1 OFDM 系统中的同步原理	44
3.2 同步偏差对 OFDM 系统性能的影响	49
3.2.1 载波同步	49
3.2.2 样值同步	52
3.2.3 OFDM 符号同步	54
3.3 OFDM 系统中的各种同步算法	55
3.3.1 载波同步算法	56
3.3.2 符号、帧定时同步算法	65
3.3.3 样值同步算法	67
3.3.4 联合同步算法	68
本章参考文献	70

第 4 章 OFDM 系统中的信道估计

4.1 OFDM 系统中的相干检测与非相干检测	75
4.1.1 相干检测	75
4.1.2 非相干检测	76
4.2 非理想信道估计偏差对 OFDM 系统性能的影响	78
4.3 OFDM 系统中的信道估计算法	79
4.3.1 时域信道估计算法	80
4.3.2 频域信道估计算法	80
4.3.3 基于参数化的信道估计算法	93
4.3.4 信道估计、同步联合算法	94
本章参考文献	97

第 5 章 OFDM 系统中的峰值平均功率比

5.1 OFDM 系统中的峰值平均功率比及其分布	99
5.1.1 峰值平均功率比的定义	99
5.1.2 放大器的非线性对 OFDM 系统峰值平均功率比的影响	100

5.1.3 OFDM 系统内峰值平均功率比的分布	102
5.2 利用信号预畸变技术减小 OFDM 系统内的峰均比	103
5.2.1 限幅方法	103
5.2.2 压缩扩展变换	105
5.3 编码方法	107
5.3.1 编码原理的说明	107
5.3.2 编码和译码	111
5.4 非畸变减小 PAR 的方法	114
5.4.1 最小 PAR 门限值的理论极限	114
5.4.2 选择性映射减小 PAR	115
5.4.3 部分传输序列减小 OFDM 系统内的峰均比	117
5.4.4 PTS 与 SLM 方法比较	128
5.5 离散与连续信号 PAR 性能的差异	130
5.5.1 连续信号和离散信号的峰均比	130
5.5.2 连续信号峰均比的上界	131
5.5.3 BPSK 调制特例条件下连续信号的峰均比求解	131
5.5.4 连续信号和过采样离散信号的结果分析	133
本章参考文献	134

第 6 章 OFDM 系统中的子载波间干扰及其消除方法

6.1 载波频率偏移引起子载波间干扰的分析	137
6.1.1 载波频率偏移的建模	137
6.1.2 载波频率偏移引起的子载波干扰和误码率的仿真	138
6.2 消除载波频率偏移引起子载波间干扰的方法	140
6.2.1 干扰自消除方法	140
6.2.2 OFDM 符号重传	142
6.2.3 PN 序列频偏估计	144
6.3 多普勒扩展引起的 ICI 及其消除	145
6.3.1 存在多普勒扩展的 Rayleigh 信道的建模和仿真	145
6.3.2 消除多普勒扩展的有效方法——多普勒分集	146
6.3.3 多普勒分集在 OFDM 系统中的应用	148
本章参考文献	150

第 7 章 OFDM 系统中的编码技术

7.1 差错控制	153
7.1.1 差错控制方式	153
7.1.2 差错控制编码	154

7.2 OFDM 系统中的分组编码	156
7.2.1 Reed-Solomon(RS)码	157
7.2.2 循环冗余校验码	158
7.3 OFDM 系统中的卷积码	159
7.4 OFDM 系统中的交织编码	161
7.5 OFDM 系统中的网格编码调制	162
7.6 OFDM 系统中的 Turbo 码	165
7.7 OFDM 系统中的空时编码	166
7.7.1 分层空时编码	167
7.7.2 空时格状编码	169
7.7.3 空时分组编码	170
7.7.4 空时编码结合 OFDM 系统	172
7.8 OFDM 系统中的级联编码	172
7.9 编码 OFDM 系统实例	173
7.9.1 卷积编码 OFDM 系统	173
7.9.2 级联 RS 空时编码 OFDM 系统	176
本章参考文献	178

第 8 章 多址接入技术

8.1 TDMA 与 FDMA	180
8.1.1 TDMA 方式	180
8.1.2 FDMA 方式	181
8.1.3 实际系统方案举例	183
8.1.4 混合 FDMA + TDMA 方式	183
8.2 CDMA	184
8.2.1 MC-CDMA	185
8.2.2 MC-DS-CDMA 与 MT-CDMA	189
8.2.3 其他多载波 CDMA 的改进多址方式简介	192
8.3 SDMA	194
本章参考文献	196

第 9 章 OFDM 系统中的自适应技术

9.1 自适应 OFDM 系统基本原理	199
9.1.1 自适应技术的理论基础	199
9.1.2 自适应技术的实现	199
9.1.3 自适应 OFDM 系统	201
9.2 单用户 OFDM 系统中的自适应调制技术	202

9.2.1 采用自适应调制的 OFDM 系统数学模型	202
9.2.2 几种典型的自适应分配算法	204
9.2.3 影响自适应调制 OFDM 系统性能的几个因素	209
9.3 多用户 OFDM 系统的动态资源分配算法	213
9.3.1 动态资源分配算法的系统模型	213
9.3.2 自适应子载波分配算法	214
本章参考文献	223
第 10 章 多天线技术	
10.1 分集与多天线技术	225
10.1.1 分集的概念	225
10.1.2 接收分集	227
10.1.3 发送分集	227
10.1.4 多发送多接收天线系统	228
10.2 多天线系统下的信道容量	230
10.3 多天线技术在 OFDM 中应用	233
10.3.1 空时格状编码与 OFDM 系统相结合	233
10.3.2 OFDM 系统中的空时分组编码技术	236
10.3.3 空时频编码技术	240
本章参考文献	244
第 11 章 OFDM 技术的应用	
11.1 数字音频广播	246
11.1.1 DAB 的传输模式	247
11.1.2 DAB 的系统结构	248
11.2 数字视频广播	250
11.2.1 传输模式	250
11.2.2 系统结构	253
11.3 IEEE 802.11a 无线局域网	254
11.3.1 协议与网络结构	255
11.3.2 物理层参数	256
11.3.3 系统结构	258
11.3.4 帧结构与相关信号处理	259
11.4 IEEE 802.16a 无线城域网	261
11.4.1 IEEE 802.16/802.16a 的协议结构	263
11.4.2 IEEE 802.16a 的物理层技术	264
11.5 NTT DoCoMo 的 4G 蜂窝系统方案	269

○ 多载波宽带无线通信技术

11.5.1 系统参数·····	269
11.5.2 下行链路:基于二维扩频的 VSF-OFCDM ·····	270
11.5.3 信道交织·····	273
11.5.4 导频信道结构·····	274
11.5.5 小区搜索·····	276
本章参考文献·····	277
附录 Hungarian 算法 ·····	280

第 1 章

绪 论

进入 21 世纪以来,无线通信技术正在以前所未有的速度向前发展。随着用户对各种实时多媒体业务需求的增加和互联网技术的迅猛发展,可以预计,未来的无线通信技术将会具有更高的信息传输速率,为用户提供更大的便利,其网络结构也将发生根本的变化。目前普遍的观点是,下一代的无线通信网络将是基于统一的 IPv6 包交换方式,向用户提供的峰值速率超过 100 Mbit/s,并能支持用户在各种无线通信网络中无缝漫游的全新网络。为了支持更高的信息传输速率和更高的用户移动速度,在下一代的无线通信中必须采用频谱效率更高、抗多径干扰能力更强的新型传输技术。在当前能提供高速率传输的各种无线解决方案中,以正交频分复用(OFDM)为代表的多载波调制技术是最有前途的方案之一。

1.1 无线通信的发展

人类采用无线方式进行通信的历史可以追溯到 19 世纪末。1864 年,英国物理学家麦克斯韦(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。1887 年,德国物理学家赫兹(H. R. Hertz)用实验产生出电磁波,证明了麦克斯韦的预言。1897 年,意大利科学家马可尼(G. Marconi)和俄国军官波波夫(A. S. Popov)首次

使用无线电波进行信息传输并获得成功。1901年,马可尼实现了从英国到纽芬兰的跨大西洋无线电信号接收,这是一次超过2700公里的远距离通信,充分显示了无线通信的巨大发展潜力。在随后一个多世纪的时间里,伴随着计算机技术和大规模集成电路技术的发展,无线通信的理论和不断取得进步,今天的移动通信技术已成为人们日常生活中不可缺少的重要通信方式。

早期的无线通信主要用于船舶、航空、列车、公共安全等专用领域,用户数量很少。20世纪60年代,贝尔实验室提出了蜂窝的概念,使无线通信摆脱了传统的大区制结构,为无线通信的大规模商用奠定了基础。20世纪70年代,具有高可靠性的固态微型射频硬件的发展使移动通信逐渐成熟起来。从20世纪70年代末到现在的20多年时间里,无线通信系统从第1代发展到了第3代,进入了一个飞速发展的时期。据统计,1990年全球蜂窝电话的用户仅为1千万,而目前蜂窝电话用户的数量已达到7亿,预计在2006~2007年间,全球蜂窝电话的用户数量将超过20亿。在中国,目前蜂窝电话的用户已超过1.4亿,每个月新增蜂窝电话用户的数量超过1500万,移动通信市场出现了空前的繁荣。

1.1.1 第1代(1G)无线通信系统

第1代商用无线通信系统出现于20世纪80年代初,主要包括模拟蜂窝和无绳电话系统。典型的模拟蜂窝系统有美国的AMPS、英国的TACS、西德的C-450等。表1-1列出了各国所使用的第1代模拟蜂窝电话系统的主要参数,这些系统的主要工作频段为800和900MHz。所有这些系统均采用了频分(FDD)双工方式,即前向链路(由基站到移动台)和反向链路(由移动台到基站)使用分开的频段,每个方向上频带宽度的典型值为25MHz。分配给每个用户的信道带宽(或信道间隔)为30kHz或者25kHz,也可以使用这些频率的分数倍。第1代蜂窝电话系统的调制方式为模拟调频,系统的发送功率取决于所使用的信道带宽和蜂窝网络中小区的半径。通过将带宽为30kHz(或25kHz)的信道分割为带宽更窄(如10kHz、12.5kHz或6.25kHz)的信道,提高蜂窝网络的容量。

表1-1 第1代模拟蜂窝电话系统的主要参数^[1]

系统名称	前向频带(MHz)	反向频带(MHz)	信道间隔(kHz)	使用地区
AMPS	824~849	869~894	30	美国、澳大利亚、 南亚、非洲
TACS	890~915	935~960	25	欧洲
E-TACS	872~905	917~950	25	英国
NMT450	453~457.5	463~467.5	25	欧洲
NMT900	890~915	935~960	12.5	欧洲
C-450	450~455.74	460~465.74	10	德国、葡萄牙
RMTS	450~455	460~465	25	意大利

续表

系统名称	前向频带(MHz)	反向频带(MHz)	信道间隔(kHz)	使用地区
Radiocom 2000	192.5~199.5	200.5~207.5	12.5	法国
	215.5~233.5	207.5~215.5		
	165.2~168.4	169.8~173		
	414.8~418	424.8~428		
NTT	925~940	870~885	25/6.25	日本
	915~918.5	860~863.5	6.25	
	922~925	867~870	6.25	
JTACS/NTACS	915~925	860~870	25/12.5	日本
	898~901	843~846	25/12.5	
	918.5~922	863.5~867	12.5	

无绳电话系统是有线电话网的无线延伸。第1代无绳电话(CT1)系统比较简单,系统把普通的电话单机分成座机和手机两部分,座机和有线电话网连接,手机与座机之间用无线电连接,这样,允许携带手机的用户可以在一定范围内自由活动进行通话。CT1系统通常采用模拟调频技术,传输模拟话音,手机和座机的发射功率一般小于10 mW,无线覆盖半径约100 m左右。CT1无绳电话除了具有一般电话机的功能外,主机和手机之间也可以互相呼叫。CT1系统有单信道和多信道两种系统:单信道系统的工作信道只有一个(一对频点),而多信道系统的工作信道有多个。多信道系统的基站具有搜索空闲信道和检测干扰信号的功能,利用无中心控制器的多信道选取技术,使工作信道的信噪比始终较高。表1-2列出了几种典型无绳电话系统的主要参数。

表 1-2 几种无绳电话系统的主要参数^[2]

系统		日本(邮政省标准)	美国(FCC标准)	欧洲(CEPT标准)
频段(MHz)	手机发	253.8625~254.9625	49.830~49.990	914.0125~914.9875
	座机发	380.2125~381.3125	46.610~46.970	959.0125~959.9875
信道间隔(kHz)		12.5	20/40	25
信道数量		88	18/9	40
发射功率		<10 mW	<10 mW	<10 mW
信道共用方式		多信道	单信道	多信道
语音调制方式		FM	FM	FM
控制信号		副载波 FM	单音	副载波 FM

与上述模拟蜂窝电话系统和无绳电话系统同时存在的还有一些早期的无线数据通信系统,如寻呼系统和无线调制解调器系统。寻呼系统是一种单向无线通信系统,它由寻呼控制中心和由用户携带的便携式接收机组成。寻呼控制中心可向用户传送简短的数字和字符信息,由于便携式接收机小巧玲珑、价格低廉,在无线通信的发展初期受到了广大用

户的普遍欢迎,寻呼业务可以算是第1代移动数据业务。无线调制解调器系统开发于20世纪80年代初期,当时,美国和加拿大的一些小公司利用话带调制解调器芯片组和商用对讲机开发了一些无线数据传送系统,这些无线数据传送系统的传输速率较低(小于9 600 bit/s),使用了无线局域网中的媒体接入控制协议,这些产品可看作是后来出现的无线局域网产品(WLAN)的早期雏形。

第1代模拟无线通信系统的主要缺点是频谱利用率低、抗干扰能力差、系统保密性差等,但由于模拟技术十分成熟,因而在发展初期得到了较为广泛的应用。模拟蜂窝技术由于系统容量小,不适合多媒体通信业务的需要,在日益激烈的市场竞争中已被逐步淘汰。

1.1.2 第2代(2G)无线通信系统

随着数字通信技术的发展和用户对高质量无线通信的追求,从20世纪80年代末开始,无线通信系统发展到了以数字通信技术为代表的第2代(2G)无线通信系统,这些系统由于采用了更先进的数字技术,使得通信质量、传输效率和系统容量有了很大提高。除了传统的话音业务之外,第2代无线通信系统还为用户提供了丰富多彩的数据业务。根据网络结构和所提供的业务,第2代无线通信系统包括数字蜂窝系统、个人通信业务(PCS)系统和无线数据网络系统。

1. 第2代数字蜂窝网络

最早的数字蜂窝网络是欧洲的全球移动通信系统(GSM),欧洲开发GSM的主要目的是为了解决蜂窝电话在欧盟各国之间的国际漫游。GSM系统在1991年开始商用,随后发展到全球一百多个国家,成为目前用户最多的数字蜂窝网络。除了欧洲的GSM系统之外,第2代数字蜂窝网络还包括美国的IS-54系统(随后发展为IS-136系统)、IS-95系统和日本的JDC系统,如表1-3所示。除了IS-95系统使用码分多址接入(CDMA)技术,其他系统均使用时分多址(TDMA)接入技术。与第1代模拟蜂窝系统相同,第2代数字蜂窝系统也使用FDD双工方式且工作在800~900 MHz频段。IS-54和JDC系统采用的载波间隔与其各自使用地区的第1代模拟蜂窝系统的载波间隔相同,GSM和IS-95则使用多个模拟信道组成一个数字信道。GSM在200 kHz的带宽内可支持8个用户,IS-54和JDC分别在30和25 kHz的带宽内可支持3个用户,而CDMA在1 250 kHz带宽内所支持的用户数量取决于用户可接受的业务质量,在理论上不是一个固定的数值。

表 1-3 第2代数字蜂窝系统的主要参数^[1]

系统	GSM	IS-54	JDC	IS-95
使用地区	欧洲/亚洲	美国	日本	美国/亚洲
接入方法	TDMA/FDD	TDMA/FDD	TDMA/FDD	CDMA/FDD
调制方法	GMSK	$\pi/4$ -DQPSK	$\pi/4$ -DQPSK	SQPSK/QPSK

续表

系 统	GSM	IS-54	JDC	IS-95
频段(MHz)	935~960 890~915	869~894 824~849	810~826 940~956 1 477~1 489 1 429~1 441 1 501~1 513 1 453~1 465	869~894 824~849
载波间隔(kHz)	200	30	25	1 250
承载信道数/载波	8	3	3	可变
信道比特率(kbit/s)	270. 833	48. 6	42	1 228. 8
语声编码速率(kbit/s)	13	8	8	1~8(可变)
帧长(ms)	4. 615	40	20	20

GSM的信道比特速率为270 kbit/s, IS-54和JDC的信道速率分别为48.6和42 kbit/s。在数字蜂窝系统中,具有高的信道比特速率可很容易地支持高速率的数据业务。另外,通过将单个载波上的多个语音时隙同时分配给一个用户,可以很容易地提高网络数据业务的传输速率,如后面要提到的GSM网络中所支持的通用分组无线数据业务(GPRS)。同样的道理,在IS-95系统中也可以很容易地综合高速数据业务,如在第3代(3G)系统中,系统所支持的数据速率可达2 Mbit/s。

第2代数字蜂窝系统的小区覆盖半径较大(0.5~30 km),每个小区中的用户数量很多,为了提高系统容量,需要采用高效的语声编码技术,由表1-2可知,第2代数字蜂窝系统的语声编码速率约为10 kbit/s,所采用的编码器均为基于线性预测的声码器编码方法,如IS-54中采用的是线性求和激励线性预测编码器,GSM中采用的是规则脉冲激励长期预测(RPE-LTP)编码器。在第2代蜂窝系统中,移动终端的峰值发送功率在数百毫瓦到1瓦之间,采用的功率控制方式为集中式功控,可降低电池的功率消耗和控制干扰电平。

2. 第2代PCS系统

PCS系统是在第1代无绳电话系统的基础上发展起来的。与第1代无绳电话系统相比,PCS系统更加复杂,采用了类似蜂窝移动通信系统的技术,可覆盖较大的区域,具有移动交换能力。但与蜂窝系统相比,PCS系统主要面向家庭和办公室等小区域使用,小区的覆盖半径小(5~500 m),支持的移动速度低(小于5 km/h),天线可安装在路边的电线杆上,手机和基站的复杂度较低。为了降低系统的复杂度,PCS系统使用32 kbit/s的自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)语声编码技术,以及时分双工(TDD)和非相干接收技术。

主流的PCS系统有4种,如表1-4所示。CT-2和CT-2+是由英国提出的第1代数字无绳电话标准,DECT是由欧洲邮电委员会(CEPT)提出的数字无绳电话的泛欧标准系统,PHS是日本提出的PCS系统,而PACS则由美国提出。这些系统的主要特点是:采用