



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高等院校通信与信息专业规划教材

现代移动通信

第4版

MODERN MOBILE COMMUNICATIONS



蔡跃明 吴启晖 田华 高瞻 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教学资源下载网址
<http://www.cmpedu.com>



“十二五”普
高等院校通信

及规划教材

现代移动通信

第4版

蔡跃明 吴启晖 田华 高瞻 编著

机械工业出版社

本书详细介绍了现代移动通信的基本概念、基本原理、基本技术和典型系统,较充分地反映了移动通信工程设计和新技术。全书共12章,内容包括移动通信概述、移动通信信道、组网技术基础、数字调制技术、抗衰落技术、多址接入技术、2G移动通信系统、3G移动通信系统、4G移动通信系统、专用移动通信系统、无线网络规划和5G移动通信。

本书可作为高等学校通信工程、信息工程、电子工程和其他相近专业的高年级本科生教材,也可作为通信工程技术人员和科研人员的参考书。

本书配套授课电子课件和习题解答,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 6142415, 电话 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

现代移动通信/蔡跃明等编著. —4版. —北京:机械工业出版社, 2017.1

高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-55898-9

I. ①现… II. ①蔡… III. ①移动通信-高等学校-教材

IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第000655号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨

责任校对:樊钟英 封面设计:鞠杨

责任印制:李昂

北京宝昌彩色印刷有限公司

2017年4月第4版第1次印刷

184mm×260mm·24印张·587千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-55898-9

定价:59.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

高等院校通信与信息专业规划教材

编委会名单

(按姓氏笔画排序)

编委会主任	乐光新	北京邮电大学
编委会副主任	王金龙	解放军理工大学
	刘 陈	南京邮电大学
	张文军	上海交通大学
	张思东	北京交通大学
	杨海平	解放军理工大学
	徐澄圻	南京邮电大学
	彭启琮	电子科技大学
	曾孝平	重庆大学
编委会委员	王成华	南京航空航天大学
	王建新	南京理工大学
	冯正和	清华大学
	卢官明	南京邮电大学
	刘富强	同济大学
	刘增基	西安电子科技大学
	余 翔	重庆邮电大学
	张邦宁	解放军理工大学
	张玲华	南京邮电大学
	李少洪	北京航空航天大学
	邹家禄	东南大学
	南利平	北京信息科技大学
	赵 力	东南大学
	赵尔沅	北京邮电大学
	徐惠民	北京邮电大学
	舒 勤	四川大学
秘 书 长	胡毓坚	机械工业出版社
副 秘 书 长	许晔峰	解放军理工大学

出版说明

为了培养 21 世纪国家和社会急需的通信与信息领域的高级科技人才，为了配合高等院校通信与信息专业的教学改革和教材建设，机械工业出版社会同全国在通信与信息领域具有雄厚师资和技术力量的高等院校，组成阵容强大的编委会，组织长期从事教学的骨干教师编写了这套面向普通高等院校的通信与信息专业系列教材，并且将陆续出版。

这套教材将力求做到：专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理，并注意与专业课教学的衔接；专业课教材覆盖面广、深度适中，不仅体现相关领域的最新进展，而且注重理论联系实际。

这套教材的选题是开放式的。随着现代通信与信息技术日新月异地发展，我们将不断更新和补充选题，使这套教材及时反映通信与信息领域的新发展和新技术。我们也欢迎在教学第一线有丰富教学经验的教师及通信与信息领域的科技人员积极参与这项工作。

由于通信与信息技术发展迅速，而且涉及领域非常宽，这套教材的选题和编审中难免有缺点和不足之处，诚恳希望各位老师和同学提出宝贵意见，以利于今后不断改进。

机械工业出版社
高等院校通信与信息专业规划教材编委会

前 言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《现代移动通信》的修订版。近年来，移动通信持续保持高速发展，各种新技术层出不穷，使得手机成为世界上普及率最高的工业产品之一，并深刻影响着人们的生活、学习和工作。随着4G大规模商用和普及，5G研究如火如荼，当下已呈现出2G、3G和4G三网共存局面。在这种形势下，原书已难以充分反映移动通信技术的发展及应用。鉴于此，我们秉持“保留基础，推陈出新”的理念，在第3版的基础上进行了较大程度的修订，以尽可能反映新理论和新技术。本次修订与第3版相比，主要的变化是结合技术发展和应用，重写了3G移动通信系统和4G移动通信系统，增加了5G移动通信的有关知识，并在第2章、第5章、第10章和第11章中分别增加了MIMO信道、联合发射-接收分集与MIMO、数字集群通信进展和4G无线网络规划等内容，删去第3版第6章的6.6.3节多载波CDMA、第7章的7.4节GPRS、第8章IS-95 CDMA移动通信系统和第10章的10.3节应急移动通信系统，改写了第1章。

本次修订后的内容仍可分为四个部分。第一部分（第1、2章）讲述移动通信的基本概念、基本原理和移动通信信道的主要特点，第二部分（第3、4、5、6章）讲述基本技术，内容涉及组网技术基础、数字调制技术、抗衰落技术、多址接入技术等；第三部分讲述典型移动通信系统的组成、接口和工作原理（第7、8、9、10、12章），包括GSM移动通信系统、3G移动通信系统、4G移动通信系统、专用移动通信系统、5G移动通信等；第四部分讲述移动通信工程设计，内容主要涉及蜂窝系统的无线网络规划（第11章）。

本书第1、2、3、6、7、9、12章和附录由蔡跃明编写，第4、5章由吴启晖编写，第10、11章由田华编写，第8章由高瞻编写。蔡跃明负责初稿的修改和定稿，统编全书。

感谢使用本书的老师 and 同学的厚爱及鞭策，感谢机械工业出版社李馨馨编辑的支持和鼓励，使得本书得以多次重印和改版。在本次的修订过程中，得到了许多老师的帮助，我校研究生唐玄玄、陈德川、胡健伟和龙彦汕等做了许多工作，在此一并表示诚挚的感谢。

本次修订得到了国家自然科学基金项目（编号61371122，61671474）的支持。

本次修订的难题在于如何在有限的篇幅内恰当展现技术的发展和应用，尤其是高深理论的简单化和通俗化处理。尽管取舍再三，但由于编者才疏学浅，书中难免出现一些错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 移动通信概述 1

1.1 引言	1
1.1.1 移动通信的特点	1
1.1.2 移动通信系统的组成	3
1.1.3 工作方式	3
1.2 移动通信的分类及应用系统	5
1.3 移动通信的发展概况	6
1.3.1 移动通信的发展简史	6
1.3.2 我国移动通信的发展	9
1.3.3 移动通信的发展趋势	10
1.4 标准化组织	11
1.4.1 国际无线电标准化组织	11
1.4.2 欧洲通信标准化组织	11
1.4.3 北美地区的通信标准化组织	12
1.4.4 IEEE 802 标准委员会	12
1.4.5 中国通信标准化协会	13
1.5 思考题与习题	13

第2章 移动通信信道 14

2.1 陆地无线电波传播特性	14
2.1.1 电波传播方式	15
2.1.2 直射波	15
2.1.3 大气中的电波传播	16
2.1.4 障碍物的影响与绕射损耗	17
2.1.5 反射波	19
2.1.6 散射波	20
2.2 移动通信信道的多径传播特性	21
2.2.1 移动通信信道中的电波传播 损耗特性	21
2.2.2 移动环境的多径传播	22
2.2.3 多普勒频移	22
2.2.4 多径接收信号的统计特性	23
2.2.5 衰落信号幅度的特征量	25
2.3 描述多径衰落信道的主要参数	28
2.3.1 时延扩展和相关带宽	29
2.3.2 多普勒扩展和相关时间	32
2.3.3 角度扩展和相关距离	35
2.3.4 多径衰落信道的分类	36
2.4 阴影衰落的基本特性	37
2.5 电波传播损耗预测模型	37
2.5.1 地形环境分类	38
2.5.2 Okumura 模型	39
2.5.3 Hata 模型	41

2.5.4 扩展 Hata 模型	42
------------------------	----

2.5.5 室内路径损耗模型	42
----------------------	----

2.5.6 IMT-2000 模型	44
-------------------------	----

2.6 多径衰落信道的建模和仿真 45

2.6.1 平坦衰落信道的建模和仿真	45
--------------------------	----

2.6.2 频率选择性衰落信道的建模 和仿真	48
---------------------------------	----

2.7 MIMO 信道 49

2.8 思考题与习题 53

第3章 组网技术基础 55

3.1 移动通信网的基本概念 55

3.2 移动通信环境下的干扰 57

3.3 区域覆盖和信道配置 59

3.3.1 区域覆盖

3.3.2 信道(频率)分配

3.4 提高蜂窝系统容量的方法 68

3.4.1 同频干扰对系统容量的影响

3.4.2 小区分裂

3.4.3 小区扇区化

3.4.4 覆盖区域逼近方法

3.5 多信道共用技术 73

3.5.1 话务量与呼损

3.5.2 多信道共用的容量和信道 利用率

3.6 网络结构 77

3.6.1 基本网络结构

3.6.2 移动通信网的典型网络结构

3.7 信令 81

3.7.1 接入信令

3.7.2 网络信令

3.7.3 信令应用

3.8 移动性管理 86

3.8.1 系统的位置更新过程

3.8.2 越区切换

3.9 思考题与习题 89

第4章 数字调制技术 90

4.1 数字调制技术基础 90

4.1.1 移动通信对数字调制的要求

4.1.2 数字调制的性能指标

4.1.3 数字调制信号所需的传输带宽

4.1.4 目前所使用的主要调制方式

4.2 线性调制技术 92

4.2.1 正交四相移相键控

4.2.2 交错正交四相移相键控

4.3 恒包络调制技术	95	6.2.2 FDMA 系统的特点	139
4.3.1 最小频移键控 MSK	96	6.3 TDMA 方式	140
4.3.2 高斯滤波最小频移键控 GMSK	99	6.3.1 TDMA 系统原理	140
4.4 “线性”和“恒包络”相结合的 调制技术	102	6.3.2 TDMA 的帧结构	140
4.4.1 M 维相移键控 MPSK	102	6.3.3 TDMA 系统的特点	141
4.4.2 M 维正交振幅调制	104	6.4 CDMA 方式	142
4.5 扩频调制技术	105	6.4.1 CDMA 系统原理	142
4.5.1 扩频调制技术的理论基础	105	6.4.2 正交 Walsh 函数	142
4.5.2 PN 码序列	106	6.4.3 m 序列伪随机码	144
4.5.3 直接序列扩频	106	6.4.4 CDMA 系统的特点	146
4.5.4 跳频扩频技术	108	6.5 SDMA 方式	147
4.6 自适应编码调制技术	109	6.6 OFDM 多址方式	148
4.6.1 自适应编码	109	6.6.1 OFDM-TDMA	148
4.6.2 自适应调制	109	6.6.2 OFDMA	149
4.6.3 自适应编码调制	110	6.7 随机多址方式	151
4.7 多载波调制技术	112	6.8 FDMA、TDMA 与 CDMA 系统容量 的比较	153
4.7.1 多载波调制技术的基本原理	112	6.8.1 FDMA 和 TDMA 蜂窝系统的容量	153
4.7.2 OFDM 基本原理	113	6.8.2 CDMA 蜂窝系统的容量	153
4.8 思考题与习题	114	6.8.3 三种多址系统容量的比较	156
第 5 章 抗衰落技术	116	6.9 思考题与习题	157
5.1 抗衰落技术的基本原理	116	第 7 章 GSM 移动通信系统	158
5.2 分集技术	116	7.1 GSM 系统概述	158
5.2.1 分集的基本概念、分类及方法	117	7.1.1 网络结构	158
5.2.2 分集信号的合并	117	7.1.2 GSM 的区域、号码、地址与识别	162
5.2.3 空间分集	120	7.1.3 主要业务	165
5.2.4 时间分集	121	7.2 GSM 系统的无线接口	166
5.2.5 频率分集	121	7.2.1 GSM 系统无线传输特征	166
5.2.6 极化分集	121	7.2.2 信道类型及其组合	168
5.2.7 角度分集	122	7.2.3 语音和信道编码	176
5.2.8 场分集	122	7.2.4 跳频和间断传输技术	177
5.3 自适应均衡技术	122	7.3 GSM 系统的控制与管理	179
5.3.1 自适应均衡原理	122	7.3.1 位置登记	179
5.3.2 均衡器的类型	123	7.3.2 鉴权与加密	181
5.3.3 均衡算法	124	7.3.3 呼叫接续	184
5.3.4 自适应均衡器的应用	127	7.3.4 越区切换	187
5.4 多径信号的分离与合并	128	7.4 思考题与习题	189
5.4.1 多径信号分离与合并的概念	128	第 8 章 3G 移动通信系统	190
5.4.2 RAKE 接收机	129	8.1 3G 概述	190
5.5 发射分集与空时编码	130	8.1.1 3G 发展背景	190
5.5.1 空时格码	131	8.1.2 3G 典型特征和组成	190
5.5.2 空时块码(空时分组码)	132	8.1.3 3G 与 2G 的主要区别	191
5.6 联合发射—接收分集与 MIMO	133	8.1.4 3G 主流标准对比	195
5.7 思考题与习题	135	8.1.5 3G 标准化进程及演进	195
第 6 章 多址接入技术	137	8.2 WCDMA 系统	197
6.1 多址接入技术的基本原理	137	8.2.1 WCDMA 标准特色	197
6.2 FDMA 方式	138	8.2.2 WCDMA 网络结构	198
6.2.1 FDMA 系统原理	138	8.2.3 WCDMA 信道结构	201

8.2.4	WCDMA 关键技术	206	10.1.3	集群系统的分类	283
8.2.5	WCDMA 增强技术	207	10.1.4	集群方式	284
8.3	IS-95 与 cdma2000 系统	211	10.1.5	集群通信的主要功能	286
8.3.1	IS-95 与 cdma2000 标准特色	211	10.1.6	数字集群通信系统	287
8.3.2	IS-95 的无线链路	212	10.2	卫星移动通信系统	297
8.3.3	cdma2000 网络结构	219	10.2.1	低轨道卫星移动通信	297
8.3.4	cdma2000 信道结构	221	10.2.2	“铱”系统	299
8.3.5	cdma2000 关键技术	227	10.2.3	“全球星”系统	301
8.3.6	cdma2000 增强技术	228	10.2.4	卫星移动通信的发展	302
8.4	TD-SCDMA 系统	231	10.3	思考题与习题	303
8.4.1	TD-SCDMA 标准特色	231	第 11 章 无线网络规划	304	
8.4.2	TD-SCDMA 网络结构	231	11.1	无线网络规划基础	304
8.4.3	TD-SCDMA 信道结构	232	11.1.1	无线网络规划流程	304
8.4.4	TD-SCDMA 关键技术	234	11.1.2	覆盖规划	314
8.4.5	TD-SCDMA 增强技术	237	11.1.3	容量规划	318
8.5	CDMA 系统的功率控制和切换	238	11.2	GSM 无线网络规划	322
8.5.1	CDMA 系统的功率控制	238	11.2.1	网络规划设计要求	322
8.5.2	CDMA 系统的软切换及其漫游	241	11.2.2	覆盖规划	323
8.6	3G 终端	242	11.2.3	频率规划	326
8.6.1	终端分类和模式	242	11.2.4	基站容量	329
8.6.2	终端安全机制	244	11.3	CDMA 无线网络规划	330
8.7	思考题与习题	245	11.3.1	无线网络规划目标	330
第 9 章 4G 移动通信系统	246		11.3.2	链路预算	332
9.1	4G 的设计目标和研究计划	246	11.3.3	基站容量	336
9.1.1	4G 的设计目标	246	11.3.4	导频规划	336
9.1.2	4G 研究计划	248	11.4	3G 无线网络规划	341
9.2	4G 系统的网络结构与协议栈	251	11.4.1	3G 无线网络规划的特点	341
9.2.1	4G 系统的网络结构	251	11.4.2	3G 无线网络规划的流程	342
9.2.2	4G 协议栈	253	11.4.3	不同 3G 制式无线网络规划 的差异	344
9.3	4G 系统的核心技术	254	11.5	4G 无线网络规划	348
9.3.1	OFDM 技术	254	11.6	思考题与习题	353
9.3.2	MIMO 技术	258	第 12 章 5G 移动通信	355	
9.3.3	MIMO-OFDM 技术	262	12.1	5G 概述	355
9.4	LTE 系统的无线接口	262	12.1.1	5G 发展的背景	355
9.4.1	LTE 系统的帧结构	262	12.1.2	5G 的关键能力	355
9.4.2	LTE 系统的物理资源块	264	12.1.3	5G 的应用场景	356
9.4.3	LTE 系统的信道	265	12.2	5G 中的新技术	357
9.4.4	LTE 系统的物理信号	269	12.2.1	Massive MIMO 技术	358
9.5	LTE-Advanced 系统的增强技术	272	12.2.2	毫米波通信技术	358
9.5.1	载波聚合技术	272	12.2.3	同时同频全双工技术	359
9.5.2	增强多天线技术	274	12.2.4	D2D 通信技术	361
9.5.3	中继技术	275	12.2.5	超密集网络技术	361
9.5.4	协作式多点传输技术	277	12.2.6	非正交多址技术	362
9.6	思考题与习题	279	12.3	思考题与习题	365
第 10 章 专用移动通信系统	281		附录 缩略词	366	
10.1	集群通信系统	281	参考文献	376	
10.1.1	集群通信的基本概念	281			
10.1.2	集群通信的技术特点	282			

第1章 移动通信概述

随着社会的进步和技术的飞速发展，人们对通信方面的消费水平和需求日益提高。传统的电话方式已无法满足信息化的要求。为此，人们发展了形形色色的移动通信方式，以实现及时沟通和信息交流。随着技术的发展和需求牵引，以手机为代表的移动通信终端的价格急剧下降至可被普通百姓阶层接受的水平，有力地促进了移动通信的普及。现在，手机已成为人们身边的必备品和个人数字助理，并大大改变了人们的生活、学习和工作方式，明显增强了人们的信息获取和感知能力，催生了大街小巷的“低头族”一景；移动通信有力地促进了人们跨区域、跨地域乃至跨全球的信息传输，产生了日益深刻的社会文化影响，地球因此变小，交流更加快捷。可见，移动通信已成为现代通信领域中至关重要的一部分，学习和研究与此相关的移动通信技术与系统已成为通信领域中的重要内容。

本章主要介绍移动通信的基本概念、特点、分类及应用系统，并简述其发展概况及相应的标准化组织。

1.1 引言

移动通信是指通信双方中至少有一方是处于运动（或暂时停止运动）状态下进行的通信。例如，固定体（固定无线电台、有线用户等）与移动体（汽车、船舶、飞机或行人等）之间、移动体之间的信息交换，都属于移动通信。这里的信息交换，不仅指双方的通话，还包括数据、电子邮件、传真、图像等方式。

移动通信为人们随时随地、迅速可靠地与通信的另一方进行信息交换提供了可能，适应了现代社会信息交流的迫切需要。因此，随着技术的进步，特别是集成电路技术和计算机技术的发展，移动通信得到了迅速发展，并成为现代通信中不可缺少且发展最快的通信手段之一。移动通信系统包括蜂窝移动通信系统、无绳电话系统、无线寻呼系统、集群移动通信系统、卫星移动通信系统等，其中陆地蜂窝移动通信是当今移动通信发展的主流和热点。移动体之间的通信联系只能靠无线通信；而移动体与固定体之间通信时，除了依靠无线通信技术之外，还依赖于有线通信，如公用电话网（PSTN）、公用数据网（PDN）和综合业务数字网（ISDN）等。

移动通信涉及的范围很广，凡是“动中通”的通信都属于移动通信范畴。限于篇幅，本书重点介绍代表移动通信发展方向、体现移动通信主流技术、应用范围最广的数字蜂窝移动通信技术和系统。

1.1.1 移动通信的特点

与其他通信方式相比，移动通信主要有以下特点。

1. 无线电波传播复杂

移动通信中基站至用户之间必须靠无线电波来传送信息。目前，典型移动通信系统的工



作频率范围在甚高频（VHF，30 ~ 300MHz）和特高频（UHF，300 ~ 3000MHz）内。该频段的特点是：传播距离在视距范围内，通常为几十千米；天线短，抗干扰能力强；以直射波、反射波、散射波等方式传播，受地形地物影响很大，如在移动通信应用面很广的城市中高楼林立、高低不平、疏密不同、形状各异，这些都使移动通信传播路径进一步复杂化，并导致其传输特性变化十分剧烈，如图 1-1 所示。由于以上原因，移动台接收信号是由直射波、反射波和散射波叠加而成的，其强度起伏不定，严重时将影响通话质量。

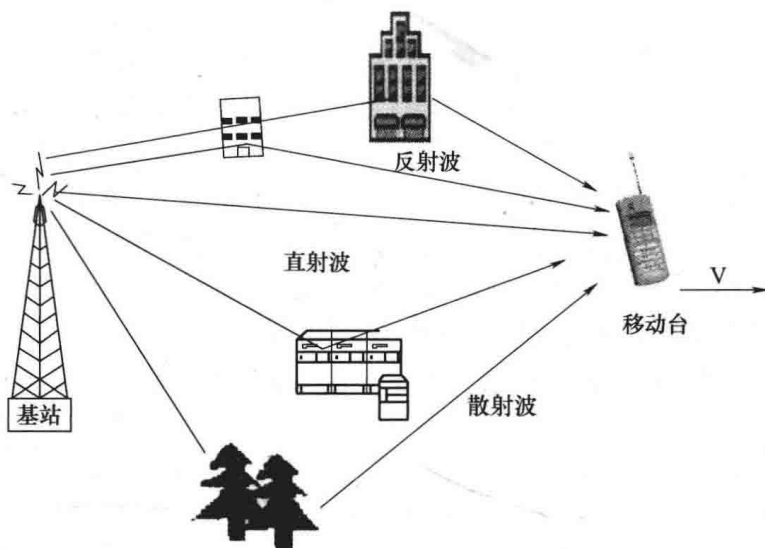


图 1-1 无线电波的多径传播示意图

2. 移动台受到的干扰严重

移动台所受到的噪声干扰主要来自人为的噪声干扰（如汽车的点火噪声、微波炉噪声等）。对于风、雨、雪等自然噪声，由于频率较低，可忽略其影响。

移动通信网中多频段、多电台同时工作，当移动台工作时，往往受到来自其他电台的干扰，主要的干扰有同频干扰、邻道干扰、互调干扰、多址干扰，以及近地无用强信号压制远地有用弱信号的现象等。所以，抗干扰措施在移动通信系统设计中显得尤为重要。

3. 无线电频谱资源有限

无线电频谱是一种特殊的、有限的自然资源。尽管电磁波的频谱相当宽，但作为无线通信使用的资源，国际电信联盟定义 3000GHz 以下的电磁波频谱为无线电磁波的频谱。由于受到频率使用政策、技术和可使用的无线电设备等方面的限制，国际电信联盟当前只划分了 9kHz ~ 400GHz 范围。实际上，目前使用的较高频段只在几十吉赫兹。由于现有技术水平所限，现有的商用蜂窝移动通信系统一般工作在 10GHz 以下，所以可用频谱资源是极其有限的。

为了满足不断增加的用户需求，一方面要开辟和启用新的频段；另一方面要研究各种新技术和新措施，如窄带化、缩小频带间隔、频率复用等方法，新近又出现了多载波传输技术、多人多出技术、认知无线电技术等。此外，有限频谱的合理分配和严格管理是有效利用频谱资源的前提，这是国际上和各国频谱管理机构和组织的重要职责。

4. 对移动设备的要求高

移动设备长期处于不固定状态，外界的影响很难预料，如振动、碰撞、日晒雨淋，这就

要求移动设备具有很强的适应能力，还要求其性能稳定可靠，携带方便、小型、低功耗及能耐高温、低温等。同时，移动设备还要尽量具有使用户操作方便，适应新业务、新技术的发展等特点，以满足不同人群的要求。

5. 系统复杂

由于移动设备在整个移动通信服务区内自由、随机运动，需要选用无线信道进行频率和功率控制，以及位置登记、越区切换及漫游等跟踪技术，这就使其信令种类比固定网络要复杂得多。此外，在入网和计费方式上也有特殊要求，所以移动通信系统是比较复杂的。

1.1.2 移动通信系统的组成

移动通信系统是移动体之间，以及固定用户与移动体之间，能够建立许多信息传输通道的通信系统。移动通信包括无线传输、有线传输和信息的收集、处理和存储等，使用的主要设备有无线收发信机、移动交换控制设备和移动终端设备。

得益于需求驱动和技术进步，以集群移动通信系统、小灵通系统为代表的许多移动通信系统的构成与蜂窝移动通信系统越来越相像，所以下面以蜂窝移动通信系统（简称蜂窝系统）为例介绍。基本的蜂窝系统如图 1-2 所示，它包括移动台（MS）、基站（BS）和移动交换中心（MSC）。MSC 负责将蜂窝系统中的所有移动用户连接到公共交换电话网（PSTN）上。每个移动用户通过无线电和某一基站通信，在通话过程中，可被切换到其他基站。移动台包括收发器、天线和控制电路，有便携式和车载式两种。基站包括几个同时处理全双工通信的发送器、接收器及支撑收发天线的塔台。基站将小区中的所有用户通过线缆（如光纤）或微波线路连接到 MSC。MSC 协调所有基站的工作，并将整个蜂窝系统连接到 PSTN 上。基站与移动用户之间的通信接口称为公共空中接口（CAI）。

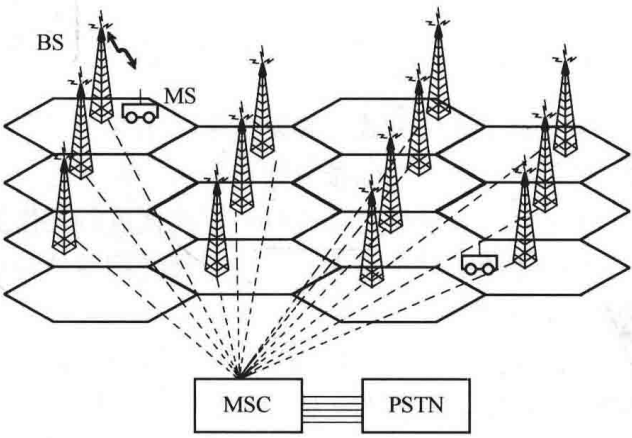


图 1-2 蜂窝移动通信系统组成示意图

移动通信中建立一个呼叫是由 BS 和 MSC 共同完成的。BS 提供并管理 MS 和 BS 之间的无线传输通道；MSC 负责呼叫控制功能，所有的呼叫都是经由 MSC 建立连接的。

1.1.3 工作方式

移动通信的传输方式分单向传输（广播式）和双向传输（应答式）。单向传输只用于无线电寻呼系统。双向传输有单工、双工和半双工三种工作方式。

1. 单工通信

所谓单工通信是指通信双方电台交替地进行收信和发信。根据收、发频率的异同，又可分为同频单工和异频单工通信。单工通信常用于点到点通信，如图 1-3 所示。

同频单工通信是指通信双方（如图 1-3 中的电台甲和电台乙）使用相同的频率 f_1 工作，发送时不接收，接收时不发送。平常各接收机均处于守候状态，即把天线接至接收机等候被呼。当电台甲要发话时，它就按下其送受话器的按键开关（PTT），一方面关掉接收机，另

一方面将天线接至发射机的输出端，接通发射机开始工作。当确知电台乙接收到载频为 f_1 的信号时，即可进行信息传输。同样，电台乙向电台甲传输信息也使用载频 f_1 。同频单工工作方式的收发信机是轮流工作的，故收发天线可以共用，收发信机中的某些电路也可共用，因而电台设备简单、省电，且只占用一个频点。但是，这样的工作方式只允许一方发送时另一方进行接收。例如，在甲方发送期间，乙方只能接收而无法应答，这时即使乙方启动其发射机也无法通知甲方使其停止发送。此外，任何一方当发话完毕时，必须立即松开其按键开关，否则将收不到对方发来的信号。

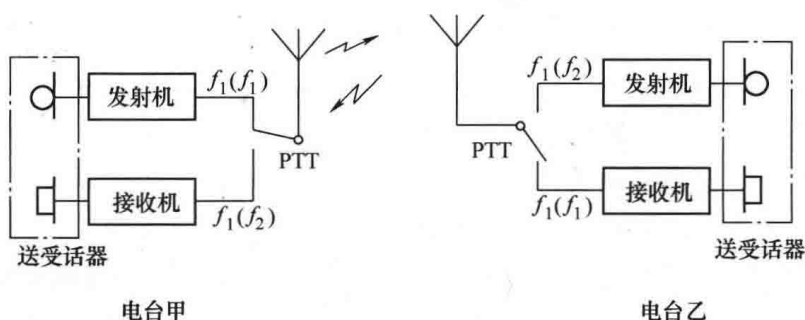


图 1-3 单工通信示意图

异频单工通信方式，收发信机使用两个不同的频率分别进行发送和接收。例如，电台甲的发射频率及电台乙的接收频率为 f_1 ，电台乙的发射频率及电台甲的接收频率为 f_2 。不过，同一部电台的发射机与接收机还是轮换进行工作的，这一点是与同频单工通信相同的。异频单工与同频单工通信的差异仅仅是收发频率的异同而已。

2. 双工通信

所谓双工通信，是指通信双方可同时传输信息的工作方式，有时也称全双工通信，如图 1-4 所示。图中，基站的发射机和接收机各使用一副天线，而移动台通过双工器共用一副天线。双工通信一般使用一对频道，以实施频分双工（FDD）工作方式。这种工作方式使用方便，同普通有线电话相似，接收和发射可同时进行。但是，在电台的运行过程中，不管是否发话，发射机总是工作的，故电源消耗较大，这一点对用电池作电源的移动台而言是不利的。为解决这个问题，在一些简易通信设备中可以采用半双工通信。

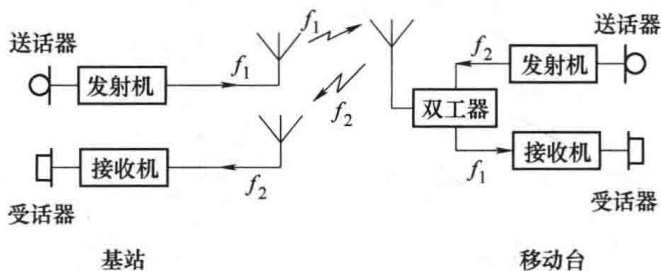


图 1-4 双工通信示意图

3. 半双工通信

半双工通信是移动台采用“按讲”工作方式，基站采用收发同时进行的通话方式。该方式主要用于解决双工方式耗电大的问题，其组成与图 1-4 相似，差别在于移动台不采用双工器，而是按下按讲开关发射机才工作，而接收机总是工作的。基站工作情况与双工方式完全相同。



1.2 移动通信的分类及应用系统

1. 移动通信的分类方法

移动通信有以下分类方法:

- 1) 按使用对象可分为民用设备和军用设备。
- 2) 按使用环境可分为陆地通信、海上通信和空中通信。
- 3) 按多址方式可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)等。
- 4) 按覆盖范围可分为广域网、城域网、局域网和个域网。
- 5) 按业务类型可分为电话网、数据网和综合业务网。
- 6) 按工作方式可分为同频单工、同频双工、异频单工、异频双工和半双工。
- 7) 按服务范围可分为专用网和公用网。
- 8) 按信号形式可分为模拟网和数字网。

2. 移动通信的应用系统

移动通信系统形式多样,主要包括以下几种。

(1) 蜂窝式公用陆地移动通信系统(蜂窝系统)

蜂窝式公用陆地移动通信系统适用于全自动拨号、全双工工作、大容量公用移动陆地网组网,可与公用电话网中任何一级交换中心相连接,实现移动用户与本地电话网、长途电话网用户及国际电话网用户的通话接续,还可以与公用数据网相连接,实现数据业务的接续。这种系统具有越区切换、自动或人工漫游、计费及业务量统计等功能。

蜂窝移动通信是当今移动通信发展的主流,它的迅猛发展奠定了移动通信乃至无线通信在当今通信领域的重要地位。

(2) 集群移动通信系统

集群移动通信系统属于调度系统的专用通信网,它一般由控制中心、总调度台、分调度台、基地台和移动台组成。该系统对网中的不同用户常常赋予不同的优先等级,适用于在各个行业(和几个行业合用)中进行调度和指挥。

(3) 无绳电话系统

无绳电话系统最初是为了解决有线电话的“线缆束缚”问题而诞生的,初期主要应用于家庭。这种无绳电话系统十分简单,只有一个与有线电话用户线相连接的基站和随身携带的手机,基站与手机之间采用无线方式连接,故而得名“无绳”。

后来,无绳电话很快得到商业应用,并由室内走向室外,诞生了欧洲的数字无绳电话系统(DECT)、日本的个人手持电话系统(PHS)、美国的个人接入通信系统(PACS)和我国开发的个人通信接入系统(PAS)等多种数字无绳电话系统。其中PAS系统又俗称为“小灵通系统”,它作为以有线电话网为依托的移动通信方式,在我国曾经得到很好的发展。无绳电话系统适用于低速移动、较小范围内的移动通信。

小灵通系统是在日本PHS基础上改进的一种无线市话系统,它充分利用已有的固定电话网络交换、传输等资源,以无线方式为在一定范围内移动的手机提供通信服务,是固定电话网的补充和延伸。小灵通系统主要由基站控制器、基站和手机组成,基站散布在办公楼、居民楼之间,以及火车站、机场、繁华街道、商业中心、交通要道等,形成一种微蜂窝或微

微蜂窝覆盖。

(4) 无线寻呼系统

无线寻呼系统是以广播方式工作的单向通信系统,可看做有线电话网中呼叫振铃功能的无线延伸或扩展。无线寻呼系统既可作为公用也可作为专用,专用寻呼系统由用户交换机、寻呼中心、发射台及寻呼接收机组成。公用寻呼系统由与公用电话网相连接的无线寻呼控制中心、寻呼发射台及寻呼接收机组成。受蜂窝移动通信网短信业务的冲击,目前公用无线寻呼业务基本停止。

(5) 卫星移动通信系统

卫星移动通信系统是把卫星作为中心转发台,为移动台和手机提供通信服务的通信系统,特别适合于海上、空中和地形复杂而人口稀疏的地区。20世纪80年代末以来,以手机为移动终端的卫星移动通信系统纷纷涌现,其中美国摩托罗拉公司提出的铱星(IRIDIUM)系统是最具代表性的系统。铱星系统是世界上第一个投入使用的大型低地球轨道(LEO)的卫星通信系统,它由距地面785km的66颗卫星、地面控制设备、关口站和用户端组成。铱星系统的诞生是人类通信史上的重要事件,它旨在突破现有地面蜂窝系统的局限,通过高空向任何地区、任何人提供语音、数据、传真及寻呼业务,实现全球覆盖。然而,尽管铱星系统技术最先进、星座规模最大、投资最多、建设速度最快,可以说是占尽了市场先机,但遗憾的是,由于其手机价格和话费昂贵、用户少、运营成本高,使得运营铱星系统的铱星公司入不敷出,被迫于2000年3月破产关闭。除铱星系统外,Globalstar(全球星)系统也是一个有代表性的系统,它是美国的一个多国集团公司(LQSS)提出的低轨道卫星移动通信系统,其基本设计思想与铱星系统一样,也是利用LEO卫星组成一个覆盖全球的卫星移动通信系统,向世界各地提供语音、数据等业务。Globalstar有48颗卫星,分布在 52° 倾角的8条轨道上。该系统与铱星系统的最大区别是无星上交换和星际链路,依赖地面网络通信,因此整个系统造价和运营成本费用较铱星系统便宜很多。

(6) 无线 LAN

无线 LAN 是无线通信的一个重要领域,它支持小范围、低速的游牧移动通信。IEEE 802.11、802.11a/802.11b 以及 802.11g 等标准已相继出台,为无线局域网提供了完整的解决方案和标准。随着需求的增长和技术的发展,无线局域网的移动性逐渐增强,已在解决人口密集区的移动数据传输问题上显现出优势,成为移动通信的一个重要组成部分。

1.3 移动通信的发展概况

1.3.1 移动通信的发展简史

移动通信从1898年M. G. 马可尼所完成的无线通信试验开始就产生了。而现代移动通信技术的发展是从20世纪20年代开始的,其代表——蜂窝移动通信大致经历了7个阶段。

第1阶段从20世纪20年代至40年代,为早期发展阶段。在这期间,首先在短波几个频段(2MHz)上开发出专用移动通信系统,其代表是美国底特律市警察使用的车载无线电系统。这个阶段可以认为是现代移动通信的起步阶段,特点是专用系统,工作频率较低。

第2阶段从20世纪40年代中期至60年代初期。在此期间,公用移动通信业务开始问



世。1946年,根据美国联邦通信委员会(FCC)的计划,贝尔电话实验室在圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话网,称为“城市系统”。这个系统的频率范围是35~40MHz,采用FM调制。随后,德国(1950年)、法国(1956年)、英国(1959年)等相继研制了公用移动电话系统。美国贝尔实验室解决了人工交换系统的接续问题。这一阶段的特点是从专用移动通信网向公用移动通信网过渡,接续方式为人工,网络的容量较小。

第3阶段从20世纪60年代中期至70年代中期。在此期间,美国推出了改进型移动电话系统(IMTS),采用大区制、中小容量,实现了无线频道自动选择并能够自动接续到公用电话网。德国也推出了具有相同技术水平的B网。可以说,这一阶段是移动通信系统的改进与完善阶段,其特点是采用大区制、中小容量,实现了自动选频与自动接续。

第4阶段从20世纪70年代中期至80年代中期。这是移动通信蓬勃发展的时期。1978年底,美国贝尔实验室成功研制出先进移动电话系统(AMPS),建成了蜂窝移动通信网,大大提高了系统容量。1979年,日本推出800MHz汽车电话系统(HAMTS),在东京、大阪、神户等地投入商用。1985年,英国开发出全接入通信系统(TACS),首先在伦敦投入使用,以后覆盖了全国。同时,加拿大推出移动电话系统(MTS)。瑞典等北欧四国于1980年开发出NMT-450移动通信网,并投入使用。这一阶段的特点是蜂窝移动通信网实用化,并在世界各地迅速发展,形成了所谓的第一代移动通信系统。移动通信大发展的原因,除了用户需求迅猛增加这一主要推动力之外,还有其他几方面技术的发展所提供的条件。首先,微电子技术在这一时期得到长足发展,这使通信设备的小型化、微型化有了可能,各种轻便电台被不断地推出。其次,出现了移动通信新体制。随着用户数量的增加,大区制所能提供的容量很快饱和,这就必须探索新体制。在这方面最重要的突破是贝尔实验室在20世纪70年代提出的蜂窝网概念。蜂窝网即所谓的小区制,由于实现了频率复用,系统容量得到明显提高。可以说,蜂窝网技术有效解决了公用移动通信系统要求容量大与频率资源有限的矛盾。最后,随着微处理器技术的日趋成熟,以及计算机技术的迅猛发展,大型通信网的管理与控制有了强有力的技术手段。

第5阶段从20世纪80年代中期开始。以AMPS和TACS为代表的第二代蜂窝移动通信网是模拟系统。模拟蜂窝网虽然取得了很大成功,但也暴露了一些问题。例如,频谱利用率低,移动通信设备复杂,费用较高,业务种类受到限制,以及通话易被窃听等,最主要的问题是容量已不能满足日益增长的移动用户需求。解决这些问题的方法是开发新一代数字蜂窝系统,即第二代移动通信系统。数字无线传输的频谱利用率高,可大大提高系统容量。另外,数字网能提供语音、数据等多种业务,并与ISDN兼容。第二代移动通信以GSM和窄带CDMA(N-CDMA)两大移动通信系统为代表。事实上,在20世纪70年代末期,当模拟蜂窝系统还处于开发阶段时,一些发达国家就着手研究数字蜂窝系统。到20世纪80年代中期,为了打破国界,实现漫游通话,欧洲首先推出了泛欧数字移动通信网(GSM)体系。GSM系统于1991年7月开始投入商用,并很快在世界范围内获得了广泛认可,成为具有现代网络特征的通用数字蜂窝系统。由于美国的第一代模拟蜂窝系统尚能满足当时的市场需求,所以美国数字蜂窝系统的实现晚于欧洲。为了扩大容量,实现与模拟系统的兼容,1991年,美国推出了美国第一套数字蜂窝系统(UCDC,又称D-AMPS),UCDC标准是美国电子工业协会(EIA)的数字蜂窝暂行标准,即IS-54,它提供的容量是AMPS的3倍。1995年美国电信工业协会(TIA)正式颁布了窄带CDMA(N-CDMA)标准,即IS-95A标准。IS-95A

系统是美国第二套数字蜂窝系统。随着 IS-95A 的进一步发展，TIA 于 1998 年制定了新的标准 IS-95B。另外，还有 1993 年日本推出的采用 TDMA 多址方式的太平洋数字蜂窝（PDC）系统。

第 6 阶段从 20 世纪 90 年代中期开始到 21 世纪初。伴随着对第三代移动通信（3G）的大量研究，1996 年底国际电联（International Telecommunication Union，ITU）确定了第三代移动通信系统的基本框架。2001 年，多个国家相继开通了 3G 商用网，标志着第三代移动通信时代的到来。欧洲的电信业巨头们则称其为 UMTS（通用移动通信系统）。3G 系统能够将语音通信和多媒体通信相结合，其增值服务包括图像、音乐、网页浏览、视频会议以及其他一些信息服务，其主流标准有北美和韩国的 cdma2000、欧洲国家和日本的 WCDMA、中国的 TD-SCDMA。3G 系统与现有的 2G 系统不同，3G 系统采用 CDMA 技术和分组交换技术，而不是 2G 系统通常采用的 TDMA 技术和电路交换技术。与现在的 2G 系统相比，3G 将支持更多的用户，实现更高的传输速率（如室内低速移动场景下数据速率达 2Mbit/s）。近年来，3G 系统已经在许多国家大规模商业应用，与此同时，IEEE 组织推出的宽带无线接入技术也从固定向移动化发展，形成了与移动通信技术竞争的局面。为应对“宽带接入移动化”的挑战，同时为了满足新型业务需求，2004 年底第三代合作伙伴项目（3rd Generation Partnership Project，3GPP）组织启动了长期演进（Long Term Evolution，LTE）的标准化工作。

第 7 阶段从 21 世纪前 10 年代中期开始。在推动 3G 系统产业化和规模商用化的同时，LTE 项目持续演进。2005 年 10 月，国际电联正式将 B3G/4G（后三代/第四代）移动通信统一命名为 IMT-Advanced（International Mobile Telecommunication-Advanced），即第四代移动通信。IMT-Advanced 技术需要实现更高的数据速率和更大的系统容量，能够提供基于分组传输的先进移动业务，显著提升 QoS 的高质量多媒体应用能力，满足多种环境下用户和业务的需求，支持从低到高的移动性应用和很宽的数据速率，在低速移动、热点覆盖场景下数据速率达 1Gbit/s 以上，在高速移动和广域覆盖场景下达 100Mbit/s。2008 年 3 月，国际电联开始征集 IMT-Advanced 无线接入技术标准，3GPP 和 IEEE 等国际标准化组织分别提出了 LTE-A（LTE-Advanced 的简写）和 IEEE 802.16m，其中 LTE-A 包括 FDD 和 TDD 两部分；2012 年 1 月 20 日，国际电联会议正式审议通过将 LTE-A 和 IEEE 802.16m 技术规范作为国际标准，我国主导的 TD-LTE-A 同时成为国际标准，也标志着我国在移动通信标准领域再次走到世界前列是我国通信历史上又一个里程碑式的重要成果。图 1-5 给出了蜂窝移动通信发展的不同阶段、主要技术特点和业务能力。

在蜂窝移动通信蓬勃发展的同时，其他移动通信也迅速发展。无线寻呼系统的最早实验系统是 1948 年美国贝尔实验室开发的 Bell Boy。世界上最普遍使用的寻呼标准是英国邮局编码标准咨询组开发的 POCSAG，为英国、澳大利亚、

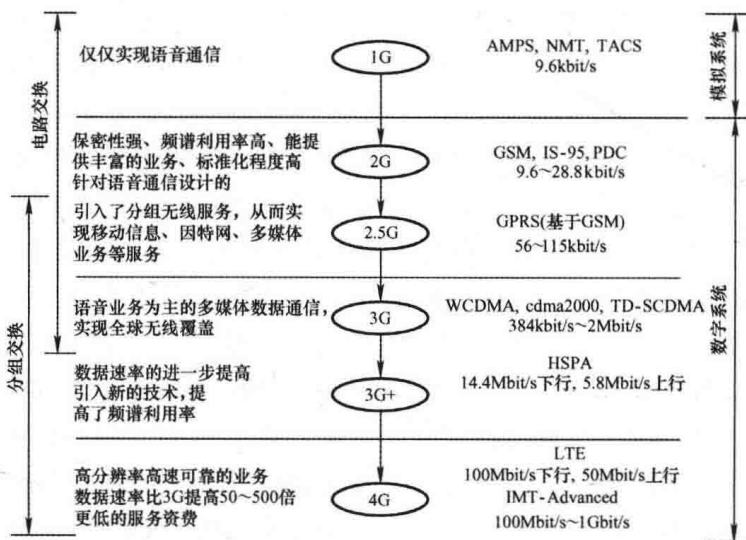


图 1-5 蜂窝移动通信发展的不同阶段、主要技术特点和业务能力