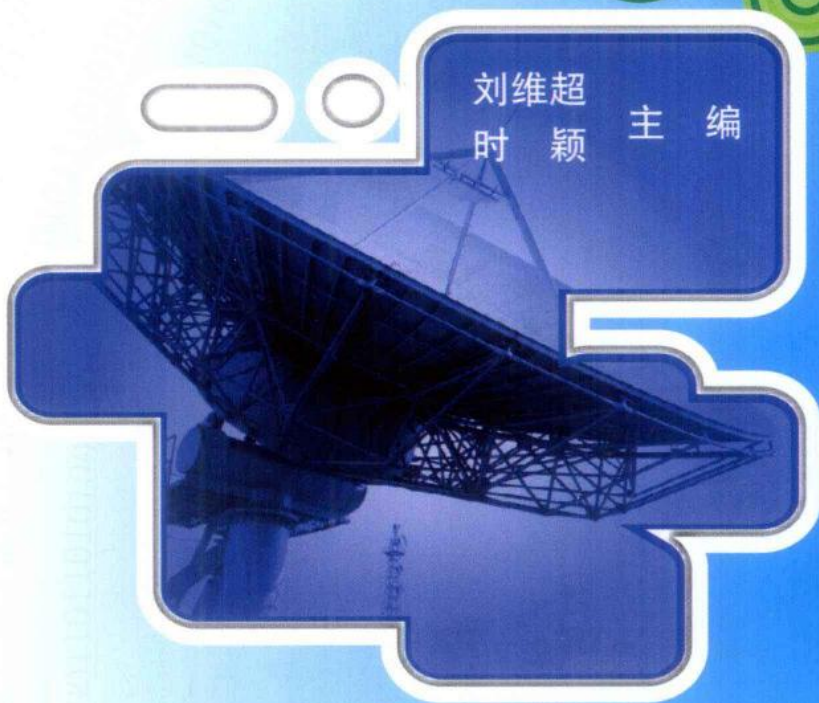




21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

# 移动通信

刘维超 主编  
时颖



100余幅示意图配合理论讲解，达到最佳学习效果  
最新技术结合最广泛应用案例，培养学生实践能力



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

# 移动通信

主 编 刘维超 时 颖  
副主编 张洪全 陈义平  
参 编 王艳营  
主 审 隋晓红



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书系统地阐述了现代移动通信的基本原理、基本技术和当前广泛应用的典型移动通信系统,较充分地反映了当代移动通信发展的最新技术。

全书共 11 章:绪论、移动信道、数字调制技术、信源编码与信道编码、多址接入技术、分集接收与均衡技术、移动通信网的组网技术、GSM 移动通信系统、CDMA 移动通信系统、第三代移动通信系统、移动通信系统的未来展望。每章末均附有习题。

本书可作为高等院校工科通信专业及其相关专业的高年级本科生教材,也可供通信工程技术人员和科研人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动通信/刘维超,时颖主编. —北京:北京大学出版社,2011.8

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19320-4

I. ①移… II. ①刘…②时… 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 (2011) 第 154890 号

书 名:移动通信

著作责任者:刘维超 时 颖 主编

策划编辑:程志强

责任编辑:程志强

标准书号:ISBN 978-7-301-19320-4/TN·0075

出 版 者:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱:[pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者:河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787mm×1092mm 16 开本 20.75 印张 486 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024

电子邮箱:[fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

随着社会的发展，移动通信得到了越来越广泛的应用，并取得了巨大的进步。从传统的单基站大功率到蜂窝移动通信系统，从本地覆盖到区域、全国覆盖，它实现了国内和国际漫游；从提供话音业务到提供综合业务，从模拟移动通信系统到数字移动通信系统，它得到了进一步的发展和演变。随着第三代移动通信技术的实现以及移动通信和互联网的融合，移动通信推动全球向着移动信息时代迈进。未来移动通信将为无处不在的互联网提供全方位的、无缝的移动性接入。在这种情况下，通信工程等专业的学生和科技人员迫切需要一本移动通信教材。本书以编者多年来为本科生、研究生讲授移动通信的讲稿为基础，参考国内外最新的书籍和文献资料编写而成。

全书共分 11 章，主要讲述现代移动通信的基本概念、基本组成、基本原理、基本技术和典型移动通信系统，其内容以当前广泛应用的移动通信系统和代表发展趋势的移动通信新技术为背景，力求能反映近年来国内外移动通信的发展状况。第 1 章全面概述移动通信的特点、类型、发展现状及发展趋势；第 2 章讨论移动通信信道，移动通信与其他通信相比，最大的特点是能实现“动中通”，其信道条件往往是十分复杂的，为此，编者在第 2 章中详细讲述了移动信道的特征和传播损耗计算；第 3 章讲述数字调制技术，主要介绍了移动通信对数字调制的要求、线性调制技术、恒包络调制技术以及扩频调制技术；第 4 章讲述信源编码与信道编码，主要内容包括无失真信源编码和几种常见的信道编码技术；第 5 章讲述多址接入技术，主要包括 4 种多址接入方式的原理和多信道共用的相关问题；第 6 章讲述分集接收与均衡技术；第 7、8、9、10 章分别讲述移动通信网的组网技术、GSM 移动通信系统、CDMA 移动通信系统和第三代移动通信系统的相关问题；第 11 章对未来移动通信的发展趋势进行展望。

本书在内容上与时俱进，反映科技发展的现状，注重基本核心内容，符合专业人才培养方案知识结构的要求。本书可作为高等院校通信、电子信息专业学生的教材，也可作为从事移动通信以及相关专业的工程技术人员的参考书。

本书由黑龙江科技学院电信学院的老师编写。刘维超和时颖担任主编，张洪全和陈义平担任副主编，王艳营担任参编，隋晓红担任主审，全书由刘维超负责统稿。其中，刘维超编写了第 1、9、10、11 章，时颖编写了第 4、5、6 章，张洪全编写了第 2、8 章，陈义平编写了第 3、7 章，王艳营负责收集和整理资料。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正！

编 者

2011 年 5 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 移动通信的基本概念 .....	3
1.1.1 移动通信的组成 .....	3
1.1.2 移动通信的特点 .....	4
1.2 移动通信的分类及工作方式 .....	4
1.2.1 移动通信的分类 .....	4
1.2.2 移动通信的工作方式 .....	5
1.3 移动通信的发展概况 .....	6
1.3.1 移动通信的发展现状 .....	6
1.3.2 移动通信的发展趋势 .....	11
1.3.3 我国移动通信的发展 .....	12
1.4 移动通信的使用频段 .....	12
1.5 标准化组织 .....	13
本章小结 .....	15
习题 1 .....	15
<b>第 2 章 移动信道</b> .....	16
2.1 无线电波传播特性 .....	18
2.2 移动信道的特点 .....	20
2.2.1 移动通信信道的 3 个主要特点 .....	20
2.2.2 移动通信信道中的电磁波传播 .....	20
2.3 三类主要快衰落 .....	21
2.3.1 空间选择性衰落 .....	21
2.3.2 频率选择性衰落 .....	22
2.3.3 时间选择性衰落 .....	22
2.4 多径效应对数字传输的影响 .....	23
2.5 多径延时和相关带宽及信道模型 .....	28
2.5.1 多径延时和相关带宽 .....	28
2.5.2 多径信道的脉冲响应特性与信道模型 .....	31
2.5.3 数字无线信道的测试方法 .....	32
2.6 陆地移动信道的传输损耗 .....	33
2.6.1 接收机输入电压、功率与场强的关系 .....	33
2.6.2 地形、地物分类 .....	35
2.6.3 中等起伏地形上传播损耗的中值 .....	35
2.6.4 不规则地形上传播损耗的中值 .....	38
2.6.5 任意地形地区的传播损耗的中值 .....	41
本章小结 .....	42
习题 2 .....	42
<b>第 3 章 数字调制技术</b> .....	44
3.1 数字调制技术基础 .....	46
3.2 线性调制技术 .....	48
3.2.1 二进制移相键控 .....	48
3.2.2 差分移相键控 .....	49
3.2.3 正交四相移相键控 .....	51
3.2.4 交错正交四相移相键控 .....	53
3.2.5 $\pi/4$ -QPSK .....	55
3.3 恒包络调制技术 .....	60
3.3.1 最小频移键控 .....	60
3.3.2 高斯滤波最小频移键控 .....	64
3.4 扩频调制技术 .....	67
3.4.1 扩频调制的理论基础 .....	67
3.4.2 PN 码序列 .....	68
3.4.3 直接序列扩频 .....	68
3.4.4 直扩的性能 .....	69
3.4.5 跳频扩频技术 .....	71
3.4.6 跳频扩频的性能 .....	72
本章小结 .....	73
习题 3 .....	74
<b>第 4 章 信源编码与信道编码</b> .....	75
4.1 信息传输概述 .....	77
4.2 无失真信源编码 .....	79
4.2.1 编码的有关概念 .....	79
4.2.2 等长码与等长信源编码定理 .....	81

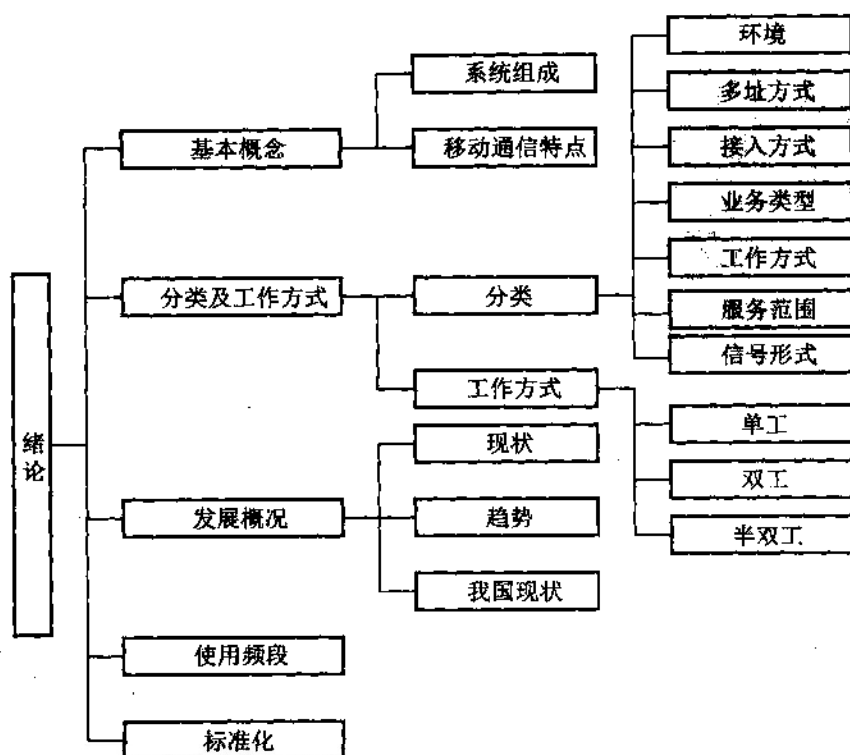
4.2.3 变长码与变长信源编码 定理 .....	83	6.2.1 均衡概念及原理 .....	134
4.2.4 霍夫曼码 .....	85	6.2.2 线性均衡技术 .....	138
4.3 信道编码 .....	90	6.2.3 非线性均衡技术 .....	140
4.3.1 信道编码的定义 .....	90	本章小结 .....	146
4.3.2 信道编码的分类 .....	90	习题 6 .....	146
4.3.3 线性分组码 .....	90	<b>第 7 章 移动通信网的组网技术</b> .....	148
4.3.4 循环码 .....	92	7.1 移动通信网的基本概念 .....	150
4.3.5 检错码 .....	93	7.2 区域覆盖和信道配置 .....	150
4.3.6 卷积码 .....	94	7.2.1 区域覆盖 .....	150
4.3.7 级联码 .....	95	7.2.2 信道(频率)分配 .....	156
4.3.8 Turbo 码 .....	97	7.3 网络结构 .....	158
4.3.9 交织编码 .....	100	7.3.1 基本网络结构 .....	158
本章小结 .....	101	7.3.2 模拟蜂窝网与数字 蜂窝网 .....	159
习题 4 .....	101	7.3.3 多服务区的蜂窝网 .....	160
<b>第 5 章 多址接入技术</b> .....	103	7.3.4 移动通信系统的网络 接口 .....	161
5.1 多址接入技术的基本概念 .....	104	7.4 信令系统 .....	162
5.2 多址接入方式 .....	105	7.4.1 接入信令 .....	163
5.2.1 频分多址 .....	105	7.4.2 网络信令 .....	166
5.2.2 时分多址 .....	106	7.5 越区切换 .....	168
5.2.3 码分多址 .....	108	本章小结 .....	170
5.2.4 空分多址 .....	111	习题 7 .....	170
5.3 多信道共用 .....	112	<b>第 8 章 GSM 移动通信系统</b> .....	172
5.3.1 话务量与呼损率的定义 .....	112	8.1 系统概述 .....	174
5.3.2 完成话务量的性质与 计算 .....	113	8.1.1 GSM 系统的发展历程 .....	174
5.3.3 呼损率的计算 .....	114	8.1.2 系统基本特点 .....	175
5.3.4 用户忙时的话务量与 用户数 .....	115	8.1.3 网络结构 .....	176
5.3.5 空闲信道的选取 .....	117	8.1.4 GSM 区域与号码 .....	181
本章小结 .....	119	8.1.5 GSM 承担业务 .....	185
习题 5 .....	119	8.2 GSM 的无线接口 .....	189
<b>第 6 章 分集接收与均衡技术</b> .....	120	8.2.1 无线传输特征 .....	190
6.1 分集接收 .....	122	8.2.2 GSM 的帧结构 .....	191
6.1.1 分集接收原理 .....	122	8.2.3 GSM 的信道类型 .....	195
6.1.2 分集合并性能的分析与 比较 .....	125	8.2.4 语音和信道编码 .....	200
6.1.3 数字化移动通信系统的 分集性能 .....	130	8.2.5 跳频和间断传输技术 .....	202
6.1.4 RAKE 接收 .....	132	8.3 GSM 系统的控制与管理 .....	203
6.2 均衡技术 .....	134	8.3.1 位置登记 .....	203
		8.3.2 鉴权与加密 .....	207
		8.3.3 呼叫接续 .....	211
		8.3.4 越区切换与漫游 .....	213
		8.4 通用分组无线业务 .....	218

8.4.1	GPRS 概述	218	10.1.5	未来移动通信业务	264
8.4.2	GPRS 网络总体结构	218	10.2	3G 系统的 4 个标准	264
8.4.3	GPRS 的业务	220	10.2.1	WCDMA	264
8.4.4	GPRS 系统的移动性		10.2.2	CDMA2000	268
	管理	221	10.2.3	TD-SCDMA	272
	本章小结	223	10.2.4	WiMAX	275
	习题 8	223	10.2.5	三大 CDMA 标准	
<b>第 9 章</b>	<b>CDMA 移动通信系统</b>	225	比较		279
9.1	系统概述	227	10.3	第三代移动通信系统的关键	
9.1.1	CDMA 技术的标准化	227	技术		280
9.1.2	CDMA 系统的基本		10.3.1	软件无线电	280
	特性	227	10.3.2	智能天线	289
9.1.3	CDMA 技术的优点	228	10.3.3	多用户检测	295
9.2	CDMA 蜂窝系统的无线链路	231		本章小结	298
9.2.1	前向信道	231		习题 10	299
9.2.2	反向信道	241	<b>第 11 章</b>	<b>移动通信系统的未来展望</b>	300
9.3	CDMA 自动功率控制	248	11.1	第四代移动通信系统	302
9.3.1	反向开环功率控制	248	11.1.1	4G 的产生背景	302
9.3.2	反向闭环功率控制	249	11.1.2	4G 的定义及其技术	
9.3.3	前向功率控制	250	要求		303
9.4	CDMA 蜂窝系统的控制功能	251	11.1.3	4G 的特点	303
9.4.1	登记注册	251	11.1.4	网络结构及关键	
9.4.2	切换	253	技术		304
9.4.3	呼叫处理	255	11.1.5	国内外对 4G 的研究	
	本章小结	256	现状		313
	习题 9	257	11.1.6	第四代移动通信系统	
<b>第 10 章</b>	<b>第三代移动通信系统</b>	258	发展面临的问题		314
10.1	第三代移动通信系统综述	259	11.2	认知无线电 CR	315
10.1.1	第三代移动通信		11.2.1	引言	315
	系统的主要特点	259	11.2.2	认知无线电基本	
10.1.2	第三代移动通信的		原理		315
	发展	260	11.2.3	认知无线电发展	
10.1.3	第三代移动通信标准		现状与趋势		318
	之争	263		本章小结	318
10.1.4	第二代移动通信系统			习题 11	319
	向第三代的过渡	263	<b>参考文献</b>		320

# 第1章 绪论



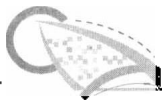
## 本章知识架构



## 本章教学目标与要求

- 掌握移动通信系统的组成及其特点
- 掌握移动通信的分类及工作方式





# 移动通信

- 了解移动通信的发展现状及发展趋势
- 了解移动通信的频率分配及主要的标准化组织

## 引言

随着社会的发展,人们对通信的需求日益迫切,对通信的要求也越来越高。人们的理想目标是在任何时候、在任何地方、与任何人都能及时沟通联系、交流信息。显然,没有移动通信,这种愿望是无法实现的。顾名思义,移动通信是指通信双方至少有一方在移动中(或者停留在某一非预定的位置上)进行信息传输和交换,这包括移动体(车辆、船舶、飞机或行人)和移动体之间的通信、移动体和固定点(固定无线电台或有线用户)之间的通信。常见的移动通信系统有蜂窝通信系统、集群移动通信系统、卫星通信系统、无线寻呼系统、无绳电话系统等。

本章将简要介绍移动通信系统的组成、特点、分类、工作方式、频率分配及发展情况等内容。

### 案例 1.1

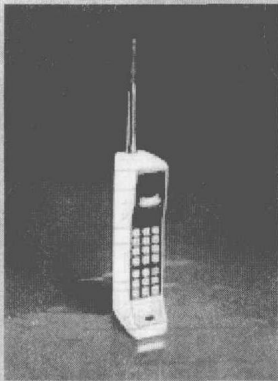


图 1.1 大哥大电话

人们从封闭走向开放,仅仅只有激情和想法肯定是不够的,还要借助工具。1987年进入中国的移动电话,无疑成为了加速人们信息沟通和社会交往的重要工具。移动电话刚刚进入我国内陆的时候,有一个奇怪的名词,叫“大哥大”。这其实是香港广东一带,称呼帮会头目的谐音。帮会一般管小头目叫大哥,而龙头老大自然叫“大哥大”了。据说,手机获得此名称,和影星洪金宝等香港较早拥有移动电话的人不无关系。据说洪金宝在片场当导演时,移动电话更是从不离手,并常用手机发号施令。洪金宝本来就是香港影坛大师兄级别的人物,别人尊称他为大哥大。因他拿手机的照片见报多了,香港媒体索性用“大哥大”来称呼手机,并由此叫开来。无论此源头是否属实,“大哥大”这3个字所携带的信息是明确的,在那个年代它便是身份、地位和财富的象征。对于不久前还认为“楼上楼下,电灯电话”就是共产主义的国人来说,它所带来的震撼是必然的。这不仅因为它的昂贵,也因为它所展示的高科技的神奇。“大哥大”的出现,意味着中国步入了移动通信时代。图 1.1 为大哥大电话照片。

### 案例 1.2

4G 通信技术并没有脱离以前的通信技术,而是以传统通信技术为基础,并利用了一些新的通信技术,来不断提高无线通信的网络效率和功能。如果说 3G 能为人们提供一个高速传输的无线通信环境的话,那么 4G 通信会是一种超高速无线网络,一种不需要电缆的信息超级高速公路。与传统的通信技术相比,4G 通信技术最明显的优势在于通话质量及数据通信速度。然而,在通话品质方面,移动电话消费者还是能接受的。随着技术的发展与应用,现有移动电话网中手机的通话质量还在进一步提高。数据通信速度的高速化确实是一个很大的优点,它的最大数据传输速率达到 100Mbps,这简直是不可思议的事情。另外,技术的先进性确保了成本投资的大大减少。图 1.2 为 4G 手机图片。



图 1.2 4G 手机

## 1.1 移动通信的基本概念

### 1.1.1 移动通信的组成

根据用途需要,移动通信系统有很多种形式,其成本、复杂度、性能和服务类型有很大的差别。例如,小型调度系统可以只由一个控制台和若干个MS组成,而公众移动通信系统一般由MS、BS、移动业务交换中心(MSC)以及与PSTN相连接的中继线等组成,如图1.3所示。图中,MS是在不确定的地点并在移动中使用的终端,它可以是便携的手机,也可以是安装在车辆等移动体上的设备。BS是移动无线系统中的固定站台,用来和MS进行无线通信,它包含无线信道和架在高建筑物上的发射、接收天线。每个BS都有一个可靠的无线小区服务范围,其大小主要由发射功率和基站天线的高度决定。MSC是在大范围服务区域中协调呼叫路由的交换中心,其功能主要是处理信息的交换和对整个系统进行集中控制管理。

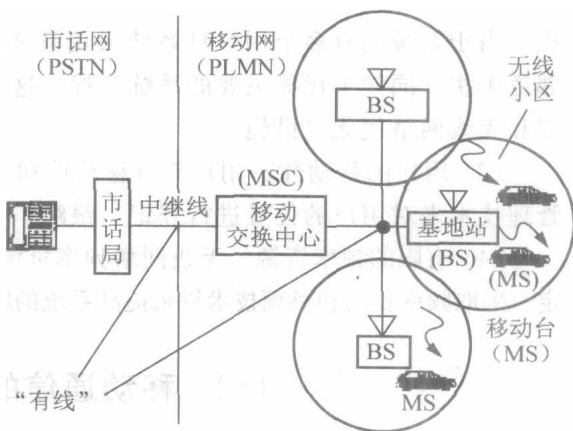


图 1.3 公众移动通信系统

大容量移动电话系统可以由多个具有一定服务小区的BS构成,通过BS、MSC可以实现在整个服务区内任意两个移动用户之间的通信;也可以通过中继线与市话局连接,实现移动用户与市话用户之间的通信,从而构成一个有线、无线综合的移动通信系统。图1.4是一个目前通用的蜂窝移动通信系统的构成示意图。

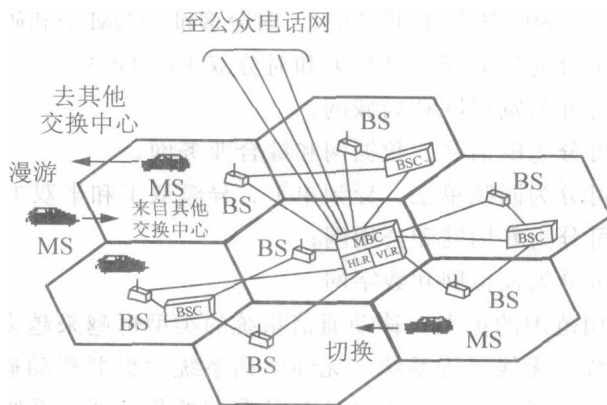
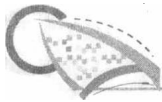


图 1.4 蜂窝移动通信系统的构成示意图

BSC: 基站控制器 BS: 基站

HLR: 归属/原籍位置寄存器 MSC: 移动交换中心

MS: 移动终端(手机) VLR: 访问用户位置寄存器



## 1.1.2 移动通信的特点

(1) 无线电波传播环境复杂。移动通信的电波处在特高频(300~3000MHz)频段,即分米波段,其传播的主要方式是空间传播,又称视距传播。电磁波在传播时不仅有直射信号,而且还会经地面、建筑群或障碍物等产生反射、折射、绕射传播,从而产生由多径传播引起的快衰落和阴影效应引起的慢衰落等衰落,以及多普勒频移。因此移动通信系统要有分集接收等抗衰落措施,才能保证正常运行。

(2) 噪声和干扰严重。移动台在移动时既受到环境噪声的干扰,又要受到系统的干扰。由于系统内有多个用户且系统采用频率复用技术,因此,移动通信系统有互调干扰、邻道干扰、同频干扰等主要的系统干扰,这就要求移动通信系统需要有合理的同频复用规划和无线网络优化等措施。

(3) 用户的移动性。用户具有移动性和移动的不可预知性,因此,系统中要有完善的管理技术来对用户的位置进行登记、跟踪,使用户不会因位置的改变而中断通信。

(4) 有限的频率资源。无线网络频率资源是有限的,ITU对无线频率的划分有严格的规定。采取频率复用和跳频技术等来提高系统的频率利用率是移动通信系统的又一个重要特点。

## 1.2 移动通信的分类及工作方式

### 1.2.1 移动通信的分类

移动通信按用途、制式、频段以及入网方式等的不同,可以有不同的分类方法。常见的一些分类方法如下。

- (1) 按使用环境可分为陆地通信、海上通信和空中通信;
- (2) 按使用对象可分为民用设备和军用设备;
- (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) 按接入方式可分为频分双工(FDD)和时分双工(TDD);
- (5) 按覆盖范围可分为宽域网和局域网;
- (6) 按业务类型可分为电话网、数据网和综合业务网;
- (7) 按工作方式可分为同频单工、异频单工、异频双工和半双工;
- (8) 按服务范围可分为专用网和公用网;
- (9) 按信号形式可分为模拟网和数字网。

随着移动通信应用范围的扩大,移动通信系统的类型也越来越多。常用的移动通信系统有蜂窝移动通信系统、无线寻呼系统、无绳电话系统、集群移动通信系统、卫星通信系统、汽车调度通信和个人通信等。下面对这几种典型的移动通信系统进行简要介绍。

(1) 蜂窝移动通信系统:这是与公用市话网相连的公众移动电话网。大中城市一般为蜂窝小区制,村镇或业务量不大的小城市常采用大区制。用户有车载台和手持台(手机)两类。

(2) 集群移动通信系统:集群移动通信系统又称集群调度系统。它实际上是把若干个原各自用单独频率的单工工作调度系统集成到一个基台工作,这样,原来一个系统单独用



的频率现在可以为几个系统共用，故称集群系统。它是专用调度无线通信系统的一种新体制，是专用移动通信系统的高级发展阶段。

(3) 无绳电话系统：这是一种接入市话网的无线话机。它将普通话机的机座与手持收发话器之间的连接导线取消，而代之以用电磁波的无线信道在两者之间进行连接，故称之为无绳电话。为了控制无线电频率的相互干扰，它对无线电信道的发射功率做出了限制，通常可在 50~200m 的范围内接收或拨打电话。

(4) 无线寻呼系统：寻呼系统是一种单信道的单向无线通信，主要起寻人呼叫的作用。当有人寻找配有寻呼机的个人时，可用一般电话拨通寻呼中心，中心的操作员将被寻呼人的寻呼机号码由中心台的无线寻呼发射机发出，只要被寻呼人在该中心台的覆盖范围之内，其所配的寻呼机(俗称 BP 机)收到信号后就会立即发出 Bi-Bi 响声。由于蜂窝移动通信的快速发展，该系统现已停用。

(5) 汽车调度通信：出租汽车公司或大型车队建有汽车调度台，车上有汽车电台，可以随时在调度员与司机之间保持通信联系。

(6) 卫星移动通信：这是把卫星作为中心转发台，各移动台通过卫星转发通信。它特别适合海上移动的船舶通信和地形复杂而人口稀疏的地区通信，也适合航空通信。

(7) 个人通信：个人在任何时候、任何地点与其他人通信，只要有一个个人号码，不管其身在哪里，都可以通过这个个人号码与其通信。

### 1.2.2 移动通信的工作方式

从传输方式的角度，无线通信分单向传输(广播式)和双向传输(应答式)。单向传输主要用于无线电寻呼系统。双向传输有单工、双工和半双工 3 种工作方式。

#### 1. 单工方式

单工通信是指通信双方电台交替地进行收信和发信。单工通信根据收、发频率的异同，又可分为同频单工和异频单工。单工通信常用于点到点通信，如图 1.5 所示。

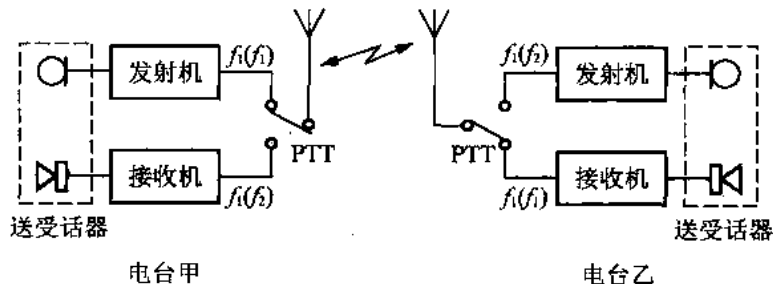


图 1.5 单工通信方式

#### 2. 双工方式

双工通信是指通信双方可同时进行传输消息的工作方式，有时亦称全双工通信，如图 1.6 所示。

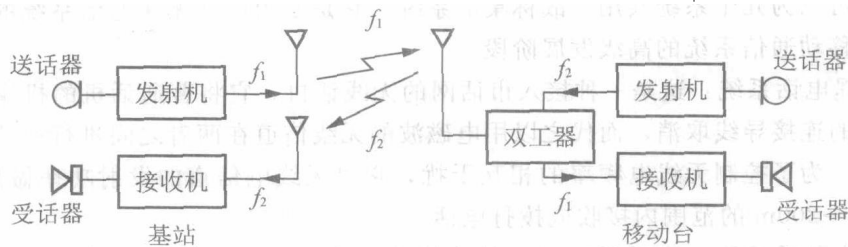


图 1.6 双工通信方式

### 3. 半双工方式

半双工通信的组成与图 1.6 相似，移动台采用类似单工的“按讲”方式，即按下按讲开关，发射机才工作，而接收机总是工作的。

## 1.3 移动通信的发展概况

### 1.3.1 移动通信的发展现状

2009 年 1 月 7 日，中华人民共和国工业和信息化部正式向中国移动、中国联通和中国电信 3 家运营商分别发放了 TD-SCDMA、WCDMA 和 CDMA 2000 的 3G 牌照，至此，国内 3G 市场全面商用的大门终于开启。移动通信技术于 20 世纪 80 年代开始商用，以传输语音信号为主，到了 2002 年，全球的移动用户已经超过固定电话用户，移动通信成为用户最多、使用最广泛的通信手段。此后，移动数据业务发展迅速，以无所不在和个人化服务为特征的移动通信已渗透到人们的生活、工作、学习和娱乐的方方面面。无线移动通信产业凭借其强大的渗透性和带动性，成为带动国民经济其他产业形成和发展的先导产业。我国中长期科技发展规划已将“新一代宽带无线通信系统研究”正式列为十六个重点发展专项之一，无线通信技术正在向着宽带移动通信和宽带无线接入两个方向并行发展。

#### 1. 无线移动通信技术发展特点

无线移动通信技术的发展将促使移动通信与互联网在更高层次上的结合与发展，其代表了信息技术宽带化、移动化、个人化的发展方向，主要呈现传输宽带化、业务多样化、体制并存化和网络泛在化等技术特点。

##### 1) 传输宽带化

无论频分、时分、码分还是多种多址技术的混合应用，无线技术发展的核心动力是追求更高的频谱利用效率和更大的数据传输能力，数据传输能力已从早期的 Kbps 逐步发展到如今的 Gbps。1G、2G 系统数据传输速率量级从 1Kbps 到 10Kbps；2.5G 系统数据传输速率量级为 100Kbps；3G 系统 (HSDPA、EVDO) 数据传输速率量级从 1Mbps 到 10Mbps；3G 演进 (E3G 及 4G) 计划中，3GPP 的 LTE (Long Term Evolution, 长期演进) 数据传输速率下行 100Mbps、上行 50Mbps；3GPP2 的 AIE (Air Interface Evolution, 空



中接口演进)数据传输速率第一阶段下行 46.5Mbps、上行 27Mbps, 第二阶段下行 100Mbps~1Gbps、上行 50~100Mbps。

### 2) 业务多样化

无线通信经历了从仅支持单一语音业务逐渐发展到支持语音、数据、图像等多种业务的历程。1G 仅支持模拟语音业务, 2G 支持数字语音和一些简单的数据业务, 如短信业务。3G 不是以技术体制区分, 而是把支持多媒体和高速数据业务作为分代的标志, 手机音乐、手机邮件、手机电视等层出不穷, 从人与人通信逐步发展到人与机器以及机器与机器之间的通信。随着无线传感器网络、射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)等技术的发展, 通信业务从以支持人与人之间的通信业务为主转向更为注重支持 M2M (Machine to Machine)、M2P (Machine to Person)、P2M (Person to Machine) 业务发展。

### 3) 体制并存化

早期无线通信体制比较单一, 进入新世纪以来, 多种体制标准纷纷提出, 众多体制并存成为无线通信不得不面对的一个重要发展趋势。3G 包含 3 种主流体制 TD-SCDMA、WCDMA 和 CDMA2000, 与其竞争的还有 WiMAX、WLAN 等宽带无线接入技术。短距离无线通信方面, Bluetooth、ZigBee、UWB 多种体制竞争趋势也十分明显。可以设想在将来的信息终端上, 同时存在十几种无线通信体制是完全可能的, 这也进一步刺激了软件无线电(Software Defined Radio, SDR)和认知无线电等技术的发展。

### 4) 网络泛在化

利用无处不在的无线网络服务建立人与周边环境之间的联系是人们对无线通信的期望。1991 年施乐实验室的计算机科学家 Mark Weiser 首次提出泛在计算(Ubiquitous Computing)的概念。在此基础上, 日韩衍生出了泛在网络(Ubiquitous Network), 欧盟提出了环境感知智能(Ambient Intelligence), 北美提出了普适计算(Pervasive Computing)等。我国 2004 年提出移动泛在业务环境(Mobile Ubiquitous Service Environment, MUSE)的概念, 其核心思想是网络协同融合, 终端泛在智能, 向用户提供最佳的业务体验 ABE(Always Best Experience)。在各种无线网络技术走向融合的大背景下, 依托泛在网络, 通信服务对象将从人逐步扩展到任何一件东西, 移动的不只是单个终端, 还可能是多个子网。特别是随着 RFID 技术、传感技术和短距离无线通信技术的发展和普及, 具备无线通信功能的传感器和控制芯片将可以附着在任何物体乃至动物、植物上。人们可以在任意时间、任意地点与任何客户端(包括人、手机、计算机、电视、冰箱、电子音响等任何设备或物品)实现无线连接并交换信息, 人类将迈进网络应用无所不在的“泛网时代”。

## 2. 3G 技术及其后续演进

为与 WiMAX 等宽带无线接入技术相抗衡, 3GPP2 和 3GPP 组织也加紧了 3G 后期增强型技术以及长期演进(AIE 和 LTE)技术的研究和标准化工作, 并将一些所谓的“4G 技术”应用于 3G 的后续演进标准之中, 用以进一步提高 3G 系统的频谱效率和数据传输速率。EVDO 版本 0 和 HSDPA 的基本思想是更有效地利用和分配前向资源(包括功率和码字), 为此引入速率控制来取代 CDMA(Code Division Multiple Access, 码分多址)中传统的功率控制, 通过自适应调制编码(Adaptive Modulation and Coding, AMC)、物理层调



度和重传将重传和信道编码与混合自动重传请求 (Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ)、多用户分集等技术有机结合,使下行峰值速率、系统吞吐量、时延等性能得到大幅提高。

EVDO 版本 A 和 HSUPA 则是为了更好地利用反向资源,即更好地利用基站观察到的因用户发送造成的 ROT (Rise Over Thermal, 噪声增量)。为了有效地分配 ROT,主要采用基站调度来集中控制各用户的反向发送速率和格式,这是通过控制用户被允许发送的业务信道和控制信道导频的功率比例来实现的。两者均采用了 AMC、物理层调度和重传、HARQ 等关键技术。自适应传输和 HARQ 等技术在 EVDO 版本 0/版本 A 和 HSDPA/HSUPA 中的使用,使得很多先进接收技术(如均衡器、多天线收分集、干扰相消、多用户检测等)的应用可以直接带来系统容量的进一步提升,且不需要修改已有协议。

EVDO 版本 B 主要引入多载波捆绑、载波间调度、可选的非对称前反向双工方式、灵活的频率复用模式等特性,能达到更高的聚合峰值速率和更高的系统容量。HSPA+ 的目标是在 5MHz 相同带宽下进一步提高 HSDPA/HSUPA 系统的峰值速率和系统容量,更好地支持 VOIP 等实时业务,提高小区边缘的性能和节省终端耗电等,目前考虑的物理层关键技术有更高级调制、MIMO、下行干扰相消、支持非连续工作模式等。

在 3G 的长期演进上,3GPP 正在开展 LTE 的标准化工作,3GPP2 则在进行 AIE 中松耦合后向兼容 (Loose Backward Coupling, LBC) 技术的标准化。LTE 和 LBC 在关键技术上有很多相似之处:均支持灵活的多种可变带宽,复用方式均基于正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术。另外 LTE 的反向采用 SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access, 单载波频分多址) 技术,可以把它看成是对用户信号的频域信息进行 OFDMA,目的是降低峰均比。AIE 的反向对控制信道仍使用 CDMA 进行复用,业务信道可使用正交的 OFDMA 方式或准正交的 LS-OFDMA 方式,支持子载波和子带间调度,支持 MIMO、SDMA,考虑使用 LDPC (Low Density Parity Check, 低密度奇偶校验) 信道编码,引入小区间干扰协调和抑制机制,基于更小 TTI 的基站快速调度,使用 AMC 和 HARQ 等。

3G 的长期演进技术 (LTE 和 AIE) 是以 OFDM 和 FDMA 为核心的技术,与其说是 3G 技术的“演进” (Evolution),不如说是“革命” (Revolution)。这种技术和 WiMAX 等由于已经具有某些“4G”特征,可以被看作“准 4G”技术。国际电信联盟 (ITU) 从 2000 年启动与超 3G (Beyond 3G, B3G) 有关的研究。超 3G 或称 4G 是指静态传输速率达到 1Gbps、高速移动状态下达到 100Mbps 的移动通信技术。2005 年 10 月 18 日 ITU-R WP8F 的第 17 次会议给 B3G 技术一个正式的名称 IMT-Advanced。按照国际电信联盟的定义,IMT2000 技术和 IMT-Advanced 技术拥有一个共同的前缀“IMT”,表示移动通信。当前的 WCDMA、HSDPA 等技术统称为 IMT2000 技术;未来的空中接口技术,称为 IMT-Advanced 技术。IMT-Advanced 的空中接口,在设计思想上基于 ITU-R M.1645 建议,其设计目标是以用户为中心、技术上灵活而且成本上可行。

IMT-Advanced/4G 系统中典型应用场景有 3 种:广域场景,其小区覆盖大,业务量中等;大城市场景,其小区覆盖中等,业务量高;本地场景,其小区覆盖小,业务量高。IMT-Advanced 系统根据不同的应用场景,对空中接口提出了不同的性能要求。



4G技术的重点是融合无线技术,移动技术和宽带技术于一体,新一代开放无线结构平台将满足未来信息化建设对无线通信的要求。自2002年以来,有关4G技术方面的专利申请数量快速增加,预计到2010年底,全球将有近1万项4G技术专利,其中核心专利(系统结构型、频谱管理型、总体设计型等)将近2000项,非核心专利(产品型、标准定位型、生产型等)近5000项,其他为跨行业4G技术专利。

4G技术将不再局限于电信行业,而是广泛应用于汽车通信业、民航业、广播电视业、国防工业、政府信息化系统、教育系统、医疗系统和金融系统等领域,传统的电信设备商、网络设备商、软件商运输设备商、汽车商等都将介入。

### 3. 宽带无线接入技术的发展

宽带无线接入WLAN 802.11系列的数据传输速率从数Mbps发展到上百Mbps,WiMAX 802.16e支持最高数据传输速率70Mbps,在最新的IEEE 802.16m标准中将支持1Gbps。目前,WLAN在热点覆盖、家庭网络中的应用已日渐成熟,继承VoWLAN和移动功能的手机终端已商用,给传统语音业务带来了一定的冲击。802.11n技术将进一步扩展WLAN的应用,其物理层速率可达到150Mbps,有效速率近100Mbps,QoS机制的引入和足够的带宽保证,使WLAN可以提供数据、语音和视频等多种业务。Mesh网技术在国外的实际应用日渐增多。

### 4. WiMAX发展趋势

全球微波接入互操作性(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)技术,是IEEE 802.16标准定义的一种无线宽带技术。最早的IEEE 802.16标准发布于2001年12月,此后连续有多个修订版和新版本出炉,然而真正使得WiMAX成为一项世界瞩目的技术的是最后两个版本,即IEEE 802.16-2004(802.16d)和IEEE 802.16-2005(802.16e)。

802.16-2004即802.16d,采用正交频分复用技术,支持视距(Line of Sight)和非视距(Non Line of Sight)环境。在视距环境下,它的工作频率范围为10~66GHz;在非视距环境情况下,802.16d可以在小于11GHz的频率范围工作。802.16d可以采用的终端形式为室内和室外移动台。目前,WiMAX论坛制定的802.16d WiMAX的工作频点为3.5GHz和5.8GHz。2005年底,WiMAX论坛认证的第一批产品已经实现商用上市。

802.16-2005基于IEEE 802.16e,能够提供切换和漫游。它通过采用可扩展的正交频分复用(Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access, SOFDMA)技术,实现将不同的子信道分给不同的用户,支持多个用户同时上网的场景。在非视距情况下,802.16e可以在小于6GHz的频率范围工作。采用802.16e技术建网的运营商,不但可以提供固定、游牧场景下的业务,同时可以提供便携及移动应用。

2006年4月,韩国运营商KT正式启动基于802.16e标准的无线宽带互联网(Wireless Broadband Access Service, WiBro)业务,对WiMAX而言这是一个里程碑;同年8月,美国第三大电信运营商Sprint Nextel宣布将采用WiMAX/WiBro无线技术部署其无线宽带网络,同时英特尔于2006年下半年推出2.3~2.5GHz的移动WiMAX卡,2008年初把



WiMAX 整合到笔记本产品上。尽管如此,目前 WiMAX 依然还有许多问题没有得到解决,如市场定位、运营模式、频谱获得和频谱统一等,多数运营商对这项技术仍处于测试阶段。运营商在确定了 3G 的发展路线之后,对 WiMAX 究竟是怎样的态度难以预计。从中国市场来看,WiMAX 难以在短期内取得突破性发展。

#### 5. McWiLL 发展概况

在以英特尔的 WiMAX 为代表的 OFDM 技术成为全球瞩目的焦点时,基于 SCDMA 技术的新型无线宽带接入技术 McWiLL(Multi-Carrier Wireless Information Local Loop,多载波无线信息本地环路)又悄然诞生了。McWiLL 是一种集窄带语音业务和宽带数据业务为一体的无线宽带接入技术,其系统由 SCDMA 宽带基站、塔顶放大器、系统网管、无线宽带终端等设备组成。由于采用了可跳频的多载波技术,基站与宽带终端之间可以在非视距的环境下传播。在实际测试中发现,在目前典型的城市环境下,McWiLL 的单基站覆盖半径为 1~3km。而在传输速度方面,McWiLL 的无线终端的传送已实现了 2Mbps 的速率,通过 PCMCIA 无线上网卡在移动状态下传输速率也可达 1Mbps。在多个性能指标方面,McWiLL 完全可以与目前主要的 3G 技术相媲美。SCDMA 无线接入系统(R3)已经达到了大规模商用水平,在国内外多个地区进行了商业运行。R4 版本在 R3 版本的基础上采用多载波技术提供数据接入,产品已初步商用。R5 版本采用 OFDM+SCDMA 技术,最大传输带宽为 5MHz,频谱利用率最高可达到 3bps/Hz,终端最大移动速率可达 120km/h,支持同频组网。

#### 6. 多种技术的比较和演进关系

##### 1) 移动通信与无线宽带接入的互补

比较无线宽带接入和无线移动通信,应着眼于无线宽带接入与无线移动通信协调发展,体现出无线宽带接入的特点,定位于热点区域内和行业用户的宽带数据接入服务,同时提供便携的移动支持能力。对 IMT-Advance 中的宽带新技术而言,两种技术是互补而不是重合的领域。从无线宽带接入技术的传统特性考虑,其长远的发展应定位于更大的传输带宽和更高速率的数据接入能力。

##### 2) 网络融合、业务融合和接入综合

随着移动通信和互联网的迅猛发展以及固定和移动宽带化的发展趋势,通信网络和业务正发生着根本性的变化。这体现在两大方面:一是提供的业务将从以传统的语音业务为主向提供包括高速无线数据传输技术的综合信息服务方向发展;二是通信的主体将从人与人之间的通信,扩展到人与物、物与物之间的通信,渗透到人们日常生活的方方面面。顺应这一发展趋势,相关行业将逐步融合,通过一系列新技术、新业务和新应用来满足市场的需求。融合将是全方位多层次的,包括网络融合、业务融合和终端的融合。特别是固定网与移动网的融合,通信、计算机、广播电视和传感器网络的融合成为发展的大趋势,而且已经在技术、市场需求和设备方面逐渐具备条件。同时,采用多种无线接入技术和固定接入技术将是实现上述目标的必由之路,包括蜂窝移动通信技术(广域网)、无线宽带接入技术(城域网)和各种短距离无线技术(如 RFID、UWB 和蓝牙等技术),它们共同接入基于