



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

移动通信

(第五版)

章坚武 编著

YIDONGTONGXIN



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

移动通信

(第五版)

章坚武 编著

“通信工程”国家特色专业建设教材

“通信工程”教育部“卓越工程师教育培养计划”配套教材

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

移动通信是当前发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。本书共分为八章，主要内容
包括概述、移动通信网、移动通信的电波传播、数字调制技术、GSM 数字蜂窝移动通信系统与
GPRS、CDMA 数字蜂窝移动通信系统、第三代移动通信系统(3G)、第四代移动通信系统(4G)。

本书是作者近十年来为本科生、研究生讲授“移动通信”课程教学经验的总结，在选材上参考
了最新的文献，因而在内容上充分反映了当代移动通信技术的最新进展，在讲述上内容全面系
统，结构严密，概念清晰，理论与工程相结合，可读性强。

本书可作为高等院校通信以及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
业工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信/章坚武编著. —5 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2017. 2

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5606-4376-2

I. ① 移… II. ① 章… III. ① 移动通信 IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 020901 号

策 划 马乐惠

责任编辑 许青青 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017 年 2 月第 5 版 2017 年 2 月第 16 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20

字 数 472 千字

印 数 86 001~90 000 册

定 价 35.00 元

ISBN 978-7-5606-4376-2/TN

XDUP 4668005-16

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入 21 世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电大学、吉林大学、杭州电子科技大学、桂林电子科技大学、北京信息科技大学、深圳大学、解放军电子工程学院等 10 余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类专业教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映 21 世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力;在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

高等学校计算机、信息工程类专业

规划教材编审专家委员会

主任：杨 震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院院长、教授）

韩俊刚（西安邮电大学计算机学院 教授）

计算机组

组 长：韩俊刚（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院 教授）

王小华（杭州电子科技大学计算机学院 教授）

孙力娟（南京邮电大学计算机学院院长、教授）

李秉智（重庆邮电大学计算机学院 教授）

孟庆昌（北京信息科技大学 教授）

周 娅（桂林电子科技大学计算机学院 教授）

张长海（吉林大学计算机科学与技术学院 教授）

信息工程组

组 长：张德民（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

王 晖（深圳大学信息工程学院 教授）

胡建萍（杭州电子科技大学信息工程学院 教授）

徐 祎（解放军电子工程学院 教授）

唐 宁（桂林电子科技大学通信与信息工程学院 教授）

章坚武（杭州电子科技大学通信工程学院 教授）

康 健（吉林大学通信工程学院 教授）

蒋国平（南京邮电大学副校长、教授）

总 策 划：梁家新

策 划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

第五版前言

岁月如梭，本书自第一版面世至今已十三年，这十三年也是移动通信发展最快的时期。昨日，人们还在品味 3G 网络带来的欣喜；今天 4G 网络已全面进入我们的生活；5G 时代还会远吗？

伴随着移动通信技术的飞速发展和中国电信改革的不断深入，为了适应时代的发展和社会对人才的需求，对本书进行修订已十分必要。

本次修订除对各章进行必要的内容更新外，主要是增加了 4G 的相关内容，并给出了 5G 的一些新技术与最新发展变化。

本书配套的实验教材《移动通信实验与实训》将增加三大主流手机操作系统的编程实验，以增强学生参与实验的趣味性。

在本次修订过程中，肖明波教授、张品副教授、姚英彪副教授、曾嵘副教授、许方敏讲师、李杰讲师、郭锐讲师、郑长亮讲师等同仁参与了讨论及部分修订工作，在此深表感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎读者指正(E-mail: jwzhang@hdu.edu.cn)。

作 者

于杭州电子科技大学

2016 年 8 月

第一版前言

“移动通信”是通信工程专业的一门主要的专业课程。编著者从 1996 年开始为本科生讲授“移动通信”课程，为研究生讲授“移动通信与个人通信”课程，使用过多本《移动通信》教材和国外原版书籍。1999 年 9 月编著者完成了《移动通信》讲义的编写工作，并在多年的教学实践中，不断对教材充实改进，力求使之成为既能够系统、全面反映移动通信技术新进展，又适合高校本科教学、理论与工程相结合的《移动通信》教材。该教材被列入 2001 年度浙江省第二批重点教材后备出版教材。

本书共分七章，第 1 章概述，主要介绍移动通信及其特点，移动通信的工作方式，移动通信系统的组成、使用频率、多址方式，移动通信系统的发展历史，我国移动通信发展现状，移动通信系统发展的主要技术问题及发展方向；第 2 章移动通信网，主要介绍移动通信体制，移动通信系统结构，移动通信网的频率配置，蜂窝移动通信网络的频率规划，多信道共用技术，移动通信交换技术，信道自动选择方式；第 3 章移动通信的电波传播，主要介绍 VHF、UHF 频段的电波传播特性和电波传播特性的估算(工程计算)；第 4 章数字调制技术，主要介绍线性调制技术，恒包络调制技术，“线性”和“恒包络”相结合的调制技术，扩频调制技术，在多径衰落信道中的调制性能分析；第 5 章 GSM 系统与 GPRS，介绍 GSM 电信业务，GSM 结构，GSM 较模拟网的优势，GSM 网络接口，GSM 的编号、鉴权与加密，GSM 无线信道，GSM 呼叫方案，并介绍了 GPRS；第 6 章 CDMA 系统，介绍 CDMA 空中接口协议层、CDMA 前向信道、CDMA 反向信道、功率控制、CDMA 系统的容量、CDMA 登记和 CDMA 切换过程；第 7 章介绍第三代移动通信系统。

在本书的编写过程中，研究生罗彬进行了部分文字输入和绘图工作，西北工业大学的张歆博士审阅了全稿，在此特表谢意。

由于编著者水平有限，书中不当之处敬请读者指正。

编著者

2002 年 10 月

于杭州电子工业学院

目 录

第 1 章 概述	1	2.4 蜂窝移动通信系统的频率配置	31
1.1 移动通信及其特点	1	2.5 移动通信环境下的干扰	33
1.2 移动通信的工作方式	2	2.5.1 同频道干扰	33
1.3 移动通信系统的组成	4	2.5.2 邻频道干扰	34
1.4 移动通信系统的频段使用	5	2.5.3 互调干扰	34
1.5 多址方式	6	2.5.4 阻塞干扰	36
1.5.1 移动通信系统中的多址方式	6	2.5.5 近端对远端的干扰	36
1.5.2 不同多址方式的频谱效率	8	2.6 蜂窝移动通信网络的频率规划	36
1.6 其他常用技术	8	2.6.1 等频距分配法	36
1.6.1 均衡技术	9	2.6.2 信道分配策略	38
1.6.2 分集技术	10	2.6.3 CDMA 数字蜂窝移动通信系统的 频率规划	39
1.6.3 信道编码技术	11	2.7 多信道共用技术	42
1.7 移动通信系统的发展	12	2.7.1 话务量与呼损	43
1.7.1 全球移动通信的发展历程	12	2.7.2 每个信道能容纳的用户数	46
1.7.2 从 2G 向 3G 发展	15	2.8 移动性管理	47
1.7.3 WiMAX(全球微波互联接入)	17	2.8.1 位置管理	47
1.7.4 从 3G 向 4G 发展	18	2.8.2 切换管理	61
1.7.5 我国的移动通信发展历程	19	2.9 无线资源管理技术	66
1.8 第五代移动通信(5G)标准及现状	22	2.9.1 功率控制	66
1.8.1 第五代移动通信(5G)的 关键技术	22	2.9.2 接入控制	67
1.8.2 第五代移动通信(5G)标准的 进展状况	24	2.9.3 负载(拥塞)控制	67
1.8.3 第五代移动通信(5G)的研发状况	25	2.9.4 信道分配	67
思考题与习题	26	2.9.5 分组调度	68
第 2 章 移动通信网	27	2.10 信道自动选择方式	68
2.1 引言	27	2.10.1 专用呼叫信道方式	68
2.2 移动通信体制	27	2.10.2 循环定位方式	69
2.2.1 大区制移动通信网	27	2.10.3 循环不定位方式	69
2.2.2 小区制(蜂窝)移动通信网	28	2.10.4 循环分散定位方式	70
2.3 移动通信的信道结构	29	思考题与习题	70
2.3.1 话音信道	30	第 3 章 移动通信的电波传播	71
2.3.2 控制信道	30	3.1 VHF、UHF 频段的电波传播特性	71
		3.1.1 直射波	71
		3.1.2 视距传播的极限距离	71

3.1.3 绕射衰耗	72	4.6.1 PN 码序列	136
3.1.4 反射波	72	4.6.2 直接序列扩频(DS-SS)	136
3.1.5 多径衰落	73	4.6.3 跳频扩频(FH-SS)	138
3.1.6 阴影衰落	74	4.6.4 直扩的性能	138
3.2 电波传播特性的估算	75	4.6.5 跳频扩频的性能	140
3.2.1 Egli John J. 场强计算	75	4.7 在多径衰落信道中的调制性能分析	141
3.2.2 奥村(Okumura)模型	76	4.7.1 在慢速平稳衰落信道中的	
3.2.3 Okumura-Hata 模型	86	数字调制性能	141
3.2.4 COST-231 Hata 模型	86	4.7.2 在频率选择性移动通信信道中的	
3.2.5 Walfisch-Bertoni 模型	87	数字调制技术	144
3.2.6 COST231-WI 模型	88	思考题与习题	146
3.2.7 SPM 模型	88		
3.2.8 微蜂窝系统的覆盖区预测模式	89		
3.3 传输模型的校正——路测	91		
思考题与习题	92		
第 4 章 数字调制技术	93	第 5 章 GSM 数字蜂窝移动通信	
4.1 引言	93	系统与 GPRS	147
4.1.1 影响数字调制的因素	93	5.1 引言	147
4.1.2 数字调制的性能指标	93	5.2 GSM 的电信业务	148
4.1.3 当今蜂窝系统、PCS(个人通信系统)和		5.2.1 承载业务	149
无绳电话采用的主要调制方式	94	5.2.2 电信业务	149
4.2 线性调制技术	95	5.2.3 补充业务	150
4.2.1 二进制相移键控(BPSK)	95	5.3 GSM 结构	151
4.2.2 差分相移键控(DPSK)	96	5.3.1 移动台(MS)	151
4.2.3 正交相移键控 QPSK(4PSK)	98	5.3.2 基站(BS)及基站收发信机(BTS)	
4.2.4 偏移四相相移键控(OQPSK)	100		152
4.2.5 $\pi/4$ -QPSK	101	5.3.3 基站控制器(BSC)	153
4.3 恒包络调制技术	106	5.3.4 发送编码器和速率适配器单元	
4.3.1 最小频移键控(MSK)	106	(TRAU)	153
4.3.2 高斯滤波最小频移键控		5.3.5 移动业务交换中心(MSC)	153
(GMSK)	115	5.3.6 归属位置寄存器(HLR)	153
4.4 “线性”和“恒包络”相结合的		5.3.7 访问者位置寄存器(VLR)	154
调制技术	122	5.3.8 鉴权中心(AuC)	155
4.4.1 M 维相移键控(MPSK)	123	5.3.9 设备识别寄存器(EIR)	155
4.4.2 M 维正交振幅调制(QAM)	124	5.3.10 操作和维护中心(OMC)	155
4.4.3 M 维频移键控(MFSK)	126	5.4 GSM 较模拟网的优势	155
4.5 正交频分复用(OFDM)技术	127	5.4.1 GSM 系统在抗瑞利衰落及	
4.5.1 正交频分复用的原理	127	干扰方面的优势	156
4.5.2 子载波调制	129	5.4.2 GSM 系统与 TACS 系统的	
4.5.3 正交频分复用的 DFT 实现	132	性能比较	156
4.5.4 OFDM 的特点	133	5.5 GSM 网络接口	157
4.5.5 OFDM 系统的关键技术	134	5.5.1 空中接口(Um)	157
4.6 扩频调制技术	135	5.5.2 A-bis 接口	157
		5.5.3 A 接口	158
		5.5.4 PSTN 接口	159
		5.5.5 移动应用部分(MAP)	159
		5.6 GSM 的编号、鉴权与加密	160

5.6.1 编号和路由	160	6.3 CDMA 前向信道	202
5.6.2 鉴权与加密	164	6.3.1 前向业务信道	203
5.7 GSM 无线信道	166	6.3.2 前向广播信道	209
5.7.1 频域分析	166	6.4 CDMA 反向信道	211
5.7.2 时域分析	166	6.4.1 接入信道	212
5.7.3 话音编码(Speech Coding)	167	6.4.2 反向业务信道	214
5.7.4 信道编码(Channel Coding)	168	6.5 功率控制	220
5.7.5 交织(Interleaving)	168	6.5.1 反向开环功率控制	222
5.7.6 调制	168	6.5.2 反向闭环功率控制	222
5.7.7 信道组成(Channel Organization)	169	6.5.3 前向功率控制	224
5.7.8 不连续发送和话音激活检测	171	6.6 Rake 接收机	224
5.7.9 定时前置和功率控制	172	6.7 CDMA 系统的容量	226
5.7.10 移动台接入	173	6.7.1 干扰对 CDMA 容量的影响	226
5.8 GSM 呼叫方案	174	6.7.2 提高 CDMA 通信系统容量的 有效技术——智能天线技术	227
5.8.1 移动台开机后的工作	174	6.8 CDMA 登记	232
5.8.2 小区选择	174	6.8.1 漫游的决定因素	233
5.8.3 位置登记和位置更新	175	6.8.2 开机登记	233
5.8.4 建立通信链路	175	6.8.3 关机登记	233
5.8.5 起初信息过程	176	6.8.4 时钟周期登记	233
5.8.6 鉴权	176	6.8.5 基于距离的登记	233
5.8.7 加密	176	6.8.6 基于区域的登记	234
5.8.8 位置更新过程	176	6.8.7 基于参数改变的登记	234
5.8.9 通信链路的释放	177	6.9 CDMA 切换过程	234
5.8.10 移动台主叫	177	思考题与习题	235
5.8.11 移动台被呼	179	第 7 章 第三代移动通信系统(3G)	236
5.8.12 切换	180	7.1 概述	236
5.9 GSM 的跳频技术	182	7.1.1 IMT-2000 和我国 3G 的 三大标准	237
5.9.1 跳频系统的工作原理	182	7.1.2 3G 的三大标准的演进路径	240
5.9.2 跳频系统的特点	183	7.1.3 3G 业务	241
5.10 通用分组无线业务 GPRS	183	7.1.4 全球 3G 业务发展情况	244
5.10.1 GPRS 标准制定的 过程与阶段	184	7.2 WCDMA	244
5.10.2 GPRS 网络的网络结构	185	7.2.1 WCDMA 系统的网络结构	244
5.10.3 GPRS 网络的分层结构	186	7.2.2 WCDMA 空中接口的 物理信道结构	248
5.10.4 增强型 GPRS	195	7.2.3 HSDPA 和 HSUPA	258
思考题与习题	196	7.3 cdma2000	260
第 6 章 CDMA 数字蜂窝移动 通信系统	197	7.3.1 cdma2000 的特点	260
6.1 引言	197	7.3.2 cdma2000 系统的网络结构	262
6.1.1 CDMA 技术的标准化	198	7.3.3 cdma2000 空中接口	264
6.1.2 CDMA 系统的特点	199	7.4 TD-SCDMA	273
6.2 CDMA 空中接口协议层	202	7.4.1 TD-SCDMA 发展历程	273

7.4.2 TD-SCDMA 关键技术和 技术优势	275	8.4 LTE 协议综述	290
7.4.3 TD-SCDMA 网络结构	279	8.4.1 LTE 系统架构	290
7.5 3G 三种主流标准的方案性能比较	285	8.4.2 LTE 协议栈	290
第 8 章 第四代移动通信系统(4G)	287	8.4.3 LTE 帧结构	291
8.1 LTE 提出的历史背景	287	8.4.4 无线传输方案	292
8.2 LTE 的需求	288	8.5 TD-LTE 的应用情况	292
8.3 LTE 的关键技术	288	8.6 LTE-FDD 的应用情况	294
8.3.1 多载波技术	288	思考题与习题	295
8.3.2 多天线技术	289	附录 缩略词	296
8.3.3 无线接口的分组交换技术	289	参考文献	308

第 1 章 概 述

1.1 移动通信及其特点

移动通信是指移动用户之间或移动用户与固定用户之间进行的通信。

随着社会的发展,科学技术的进步,人们希望能随时随地、迅速可靠地与通信的另一方进行信息交流。这就是我们要介绍的移动通信。这里所说的“信息交流”,不仅指双方的通话,还包括数据、传真和图像等通信业务。

正是由于移动通信能让人们随时随地、迅速、可靠地与通信的另一方进行信息交流,为人们更有效地利用时间提供了可能,因而随着电子技术,特别是半导体、集成电路和计算机技术的发展,移动通信得到了迅速发展。应用领域的扩大和对性能要求的提高,促使移动通信在技术上和理论上向更高水平发展。20 世纪 80 年代以来,移动通信已成为现代通信手段中不可缺少且发展最快的通信手段之一。

与其他通信方式相比,移动通信具有以下基本特点:

(1) 电波传播条件恶劣。在陆地上,移动体(如汽车)往来于建筑群或障碍物之间,其接收信号是由直射波和各反射波多径叠加而成的。由于多径传播会造成瑞利衰落,因此电平幅度起伏深度达 30 dB 以上。

(2) 具有多普勒频移效应。由于移动台在运动中,因此会产生多普勒频移效应。频移值 f_d 与移动台运动速度 v 、工作频率 f (或波长 λ)及电波到达角 θ 有关,即

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos\theta \quad (1-1)$$

多普勒频移效应会导致附加调频噪声。

(3) 干扰严重。由于移动通信网是多无线电台(包括基站、移动台)、多波道通信系统,通信设备除受城市噪声(主要是车辆噪声)干扰外,无线电台干扰(同频干扰、互调干扰)较为突出,因此,抗干扰措施在移动通信系统设计中显得尤为重要。

(4) 接收设备动态范围大。由于移动台的位置不断变化,接收机和发射机(基站)之间的距离不断变化,因此导致接收机接收信号电平不断变化。这就要求接收设备具有很大的动态范围。

(5) 需要采用位置登记、越区切换等移动性管理技术。由于移动台不停地运动,因此为了实现可靠而有效的通信,必须采用位置登记和频道切换等移动性管理技术。

(6) 综合了各种技术。移动通信综合了交换技术、计算机技术和传输技术等。

(7) 对设备要求苛刻。移动用户常在野外,环境条件相对较差,因此对其设备(尤其对

专网设备)的要求相对苛刻。

移动通信系统按用途、频段、制式和入网方式等的不同,有不同的分类方法。例如,按用途和区域,可分为陆地、海上、航空移动通信系统;按经营方式或用户性质,可分为公共网(简称公网)、专用网(简称专网);按基站配置,可分为单区制、多区制、蜂窝制;按与地面固定网的连接方式,可分为人工、半自动、全自动;按信号性质,可分为模拟、数字移动通信系统;按多址方式,可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)和空分多址(SDMA)等;按用户的通话状态和频率使用的方法,可分为单工制(Simplex)、半双工制(Half Duplex)和双工制(Duplex)。

1.2 移动通信的工作方式

移动通信按照用户的通话状态和频率使用的方法,可分为三种工作方式:单工制、半双工制和双工制。

1. 单工制

单工制分为单频(同频)单工和双频(异频)单工两种,见图 1-1。

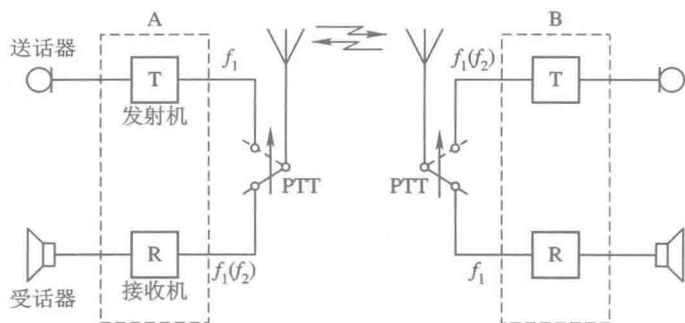


图 1-1 单工通信方式

1) 同频单工

同频是指通信双方使用相同的工作频率(f_1);单工是指通信双方的操作采用“按一讲”(PTT, Push To Talk)方式。平时,双方的接收机均处于守听状态。如果 A 方需要发话,可按下 PTT 开关,发射机工作,并使 A 方接收机关闭。这时,由于 B 方接收机处于守听状态,因此可实现由 A 至 B 的通话;同理,也可实现由 B 至 A 的通话。在该方式中,电台的收发信机是交替工作的,故收发信机不需要使用天线共用器,而是使用同一副天线。这种工作方式的优点是:① 设备简单;② 移动台之间可直接通话,不需基站转接;③ 不按键时发射机不工作,因此功耗小。其缺点是:① 只适用于组建简单和甚小容量的通信网;② 当有两个以上移动台同时发射时就会出现同频干扰;③ 当附近有邻近频率的电台发射时,容易造成强干扰,通常为了避免干扰,要求相邻频率的间隔大于 4 MHz,因而频谱利用率低;④ 按键发话,松键受话,使用者不习惯。

2) 异频单工

异频是指通信双方使用两个不同频率 f_1 和 f_2 。这种方式中通信双方的操作仍采用

“按一讲”方式。由于收发使用不同的频率，因此同一部电台的收发信机可以交替工作，也可以收常开，只控制发，即按下 PTT 发射。其优缺点与同频单工的基本相同。在无中心转信台转发的情况下，电台需配对使用，否则通信双方无法通话，故异频单工方式主要用于有中心转信台转发(单工转发或双工转发)的情况。所谓单工转发，即中心转信台使用一组频率(如收用 f_1 ，发用 f_2)，一旦接收到载波信号即转去发送。所谓双工转发，即中心转信台使用两组频率(一组收用 f_1 ，发用 f_2 ；另一组收用 f_3 ，发用 f_4)，任一路一旦接收到载波信号即转去发送。

由于收发频率有一定保护间隔，提高了抗干扰能力，中心转信台的加入使通信区域得到了有效扩大，因此，这种方式常用于组建有几个频道同时工作的专用网(专网)。

2. 半双工制

图 1-2 中，通信一端(A)采用双工制，而移动台(B)采用单工制，这种方式称为半双工制。半双工制的优点是：① 移动台设备简单，价格低，耗电少；② 收发采用不同频率，提高了频谱利用率；③ 移动台受邻近电台干扰小。其缺点是移动台仍需按键发话，松键受话，使用不方便。

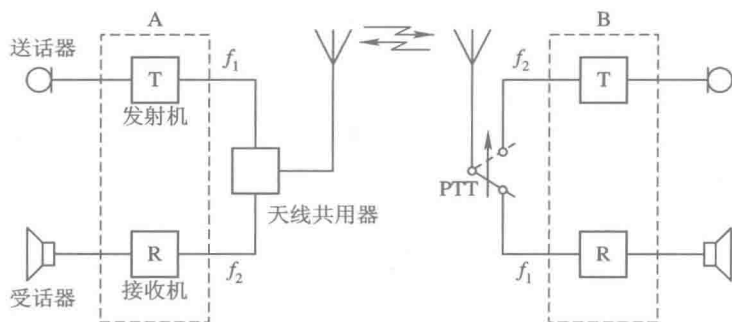


图 1-2 半双工通信方式

由于收发使用不同的频率，因此移动台(B)的收发信机可以交替工作，也可以收常开，只控制发，即按下 PTT 发射。半双工制主要用于移动台接入有线网(如市话网)，A 作为有线网接入点。

3. 双工制

双工制有频分双工(FDD，也称异频双工)和时分双工(TDD，也称同频双工)两种方式。

频分双工制如图 1-3 所示，是指通信的双方，即收发信机均同时工作，任一方在发话的同时，也能收听到对方的话音，无需按 PTT 开关，类同于平时打市话，使用自然，操作方便。频分双工制的优点是：① 收发频率分开，可大大减小干扰；② 用户使用方便。其缺点是：① 移动台在通话过程中总是处于发射状态，因此功耗大；② 移动台之间通话需占用两个信道；③ 需双工器，体积较大，价格较贵。在无中心转信台转发的情况下，采用频分双工制的电台需配对使用，否则通信双方无法通话。

同频双工制采用时分双工(TDD)技术。在这种方式中，收发双方采用相同的载频，但在不同时间隙收发，而从基带的角度来看，收发两端保持时间上连续的双工通信状态。采用 TDD 技术可省去双工器。

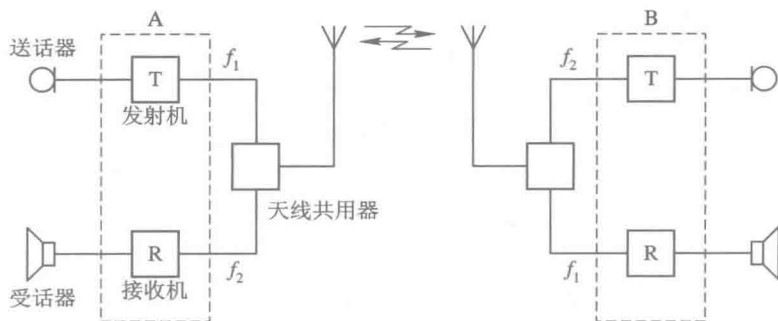


图 1-3 频分双工通信方式

1.3 移动通信系统的组成

移动通信系统按其经营方式或用户性质可分为专用移动通信系统(专网)和公用移动通信系统(公网)。专网的最大功能要求是调度,其发展经历了一对一的单机对讲系统、单信道一呼百应系统和选呼系统,后来又发展到多信道多用户共享的专用调度系统。集群(Trunking)移动通信是传统的专用无线调度系统的高级发展阶段,是专用移动通信系统的发展方向。随着电子技术、集成电路技术、计算机技术和交换技术的飞速发展,专用移动通信系统的网络结构与公用移动通信系统越来越像,如 Motorola 的 iDEN (integrated Digital Enhanced Network, 集群数字高效网络),其本身就是在数字蜂窝移动通信系统上加上了调度功能。所以,本节我们将重点介绍公用移动通信系统的网络结构。公用移动通信系统(即蜂窝移动通信系统)的基本结构如图 1-4 所示。一个交换区由一个移动交换中心(MSC, Mobile Switching Centre)、一个或若干个归属位置寄存器(HLR, Home Location Register)和访问者位置寄存器(VLR, Visitor Location Register, 有时几个 MSC 合用一个 VLR)、设备识别寄存器(EIR, Equipment Identity Register)、鉴权中心(AuC, Authentication Centre)、操作维护中心(OMC, Operation and Maintenance Centre)、基站控制器(BSC, Base Station Controller)、基站(BS, Base Station)和移动台(MS, Mobile Station)等功能实体组成。

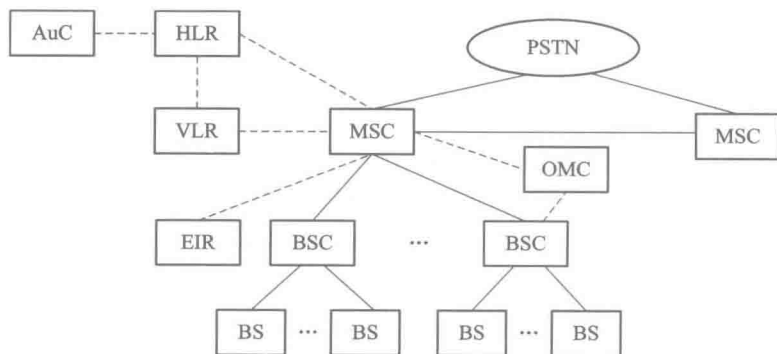


图 1-4 蜂窝移动通信系统的基本结构

MSC 对位于其服务区内的 MS 进行交换和控制,同时提供移动网与固定公众电信网的接口。MSC 是移动网的核心。作为交换设备, MSC 具有完成呼叫接续与控制的功能,这一点与固定网交换中心相同。作为移动交换中心, MSC 又具有无线资源管理和移动性管理等功能,例如移动台位置登记与更新、越区切换等。为了建立从固定网至某个移动台的呼叫路由,固定网按一定规则(就近或就远)进入关口 MSC(GMSC),由该 GMSC 查询有关的 HLR,并建立至移动台当前所属的 MSC 的呼叫路由。

HLR 是用于移动用户管理的数据库。每个移动用户必须在某个 HLR 中登记注册。HLR 所存储的用户信息分为两类:一类是有关用户参数的信息,例如用户类别,向用户所提供的服务,用户的各种号码、识别码以及用户的保密参数等;另一类是有关用户当前位置的信息,例如移动台漫游号码、VLR 地址等,用于建立至移动台的呼叫路由。

VLR 是存储用户位置信息的动态数据库。当漫游用户进入某个 MSC 区域时,必须向该 MSC 相关的 VLR 登记,并被分配一个移动用户漫游号(MSRN),在 VLR 中建立该用户的有关信息,其中包括移动用户识别码(MSI)、移动用户漫游号(MSRN)、所在位置区的标志以及向用户提供的服务等参数,这些信息是从相应的 HLR 中传递过来的。MSC 在处理入网、出网呼叫时需要查询 VLR 中的有关信息。一个 VLR 可以负责一个或若干个 MSC 区域。

EIR 是存储有关移动台设备参数的数据库。EIR 实现对移动设备的识别、监视、闭锁等功能。

AuC 是认证移动用户的身份以及产生相应认证参数的功能实体。AuC 对任何试图入网的用户进行身份认证,只有合法用户才能接入网中并得到服务。

OMC 是网络操作维护人员对全网进行监控和操作的功能实体。

BSC 是基站控制器,其主要任务是实现频率管理以及 BTS 的控制和交换功能。

1.4 移动通信系统的频段使用

移动通信主要使用 VHF 和 UHF 频段,其主要原因有以下三点:

(1) VHF/UHF 频段较适合移动通信。从 VHF/UHF 频段的电波传播特性来看,主要是在视距范围内传播,一般为几千米到几十千米,通信区域可控。

(2) 天线较短,便于携带和移动。天线长度取决于波长。移动台中使用最多的是 $\lambda/4$ 的鞭状天线。例如,当频率为 150 MHz 时,鞭状天线的长度约为 50 cm;当频率为 450 MHz 时,鞭状天线的长度约为 17 cm;当频率为 900 MHz 时,鞭状天线的长度约为 8 cm。

(3) 抗干扰能力强。由于工业火花干扰及天电干扰等属于脉冲干扰,随着频率的增高,干扰幅度减小,因而工作在 VHF/UHF 频段的设备可以用较小的发射功率获得较好的信噪比。

第一代和第二代移动通信系统主要使用 800 MHz 频段(CDMA)、900 MHz 频段(AMPS、TACS、GSM)、1800 MHz 频段(GSM1800)。

第三代移动通信系统(3G)使用 2000 MHz 频段。随着移动通信用户的不断增加,无线电频谱将越来越拥挤,未来将进一步继续往高频段开拓新频段。

为了支持宽带上网和 2G/3G/4G 数据业务分流,国内运营商近年来进行了大规模无限局域网(WLAN)建设,包括 2.4 GHz(802.11n/11g/11b)以及 5.8 GHz(802.11n/11a)两个

频段。

1.5 多址方式

1.5.1 移动通信系统中的多址方式

多址问题可以被认为是一个滤波问题,即许多用户可以同时使用同一频谱,然后采用不同的滤波器和处理技术,使不同用户信号互不干扰地被分别接收和解调。

蜂窝移动通信系统中,为了使信号仅在要求通信的两者之间传输而不影响其他用户,就必须选用适当的天线和多址方式。

基站(BS)多数采用定向天线阵,以增加需要方向上的信号强度,减轻其他方向上的干扰,并通过现在的蜂窝移动通信系统中的扇形分区来减少相邻蜂窝共用信道造成的干扰。

现在用到的多址方式主要有四种:频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)和空分多址(SDMA)。

(1) FDMA。图 1-5(a)所示为 FDMA 的频段划分方法。当前应用这种多址方式的主要蜂窝系统有美国的 AMPS 和英国的 TACS,它们均为第一代模拟移动通信系统(1G)。在我国这两种制式都曾商用过,但 TACS 占绝大多数。所谓 FDMA,就是指在频域中一个相对窄带信道里,不同信号被分配到不同频率的信道里,发往和来自邻近信道的干扰用带通滤波器限制,这样在规定的窄带里只能通过有用信号,而任何其他频率的信号被排斥在外。

(2) TDMA。TDMA 示意图如图 1-5(b)所示。当前应用这种多址方式的主要蜂窝系统有北美的 DAMPS 和欧洲的 GSM,为第二代数字移动通信系统(2G)。其中,GSM 在我国从 1994 年以后一直商用至今。所谓 TDMA,就是指一个信道由一连串周期性的时隙构成,不同信号被分配到不同的时隙里,利用定时选通来限制邻近信道的干扰,从而在规定时隙中只让有用的信号通过。现在使用的 TDMA 蜂窝系统实际上都是 FDMA 和 TDMA 的组合,如美国 TIA 建议的 DAMPS 数字蜂窝系统是先使用了 30 kHz 的频分信道,再把它分成 6 个时隙进行 TDMA 传输,而 GSM 数字蜂窝系统是先使用了 200 kHz 的频分信道,再把它分成 8 个时隙(全速)或 16 个时隙(半速)进行 TDMA 传输。

(3) CDMA。CDMA 示意图如图 1-5(c)所示。当前应用这种多址方式的主要蜂窝系统有北美的 QCDMA(IS-95),为第二代数字移动通信系统(2G),在我国目前正在商用。所谓 CDMA,就是指每一个信号被分配一个伪随机二进制序列进行扩频,不同信号被分配到不同的伪随机序列里。在接收机里,信号用相关器加以分离,这种相关器只接收选定的二进制序列并压缩其频谱,凡不符合该用户二进制序列的信号,其带宽不被压缩,结果只有有用信号的信息才被识别和提取出来。

(4) SDMA。它是一种较新的多址技术。在由中国提出的第三代移动通信(3G)标准 TD-SCDMA 中就应用了 SDMA 技术。空分多址示意图如图 1-5(d)所示。SDMA 实现的核心技术是智能天线的应用,理想情况下它要求天线给每个用户分配一个点波束,这样根据用户的空间位置就可以区分每个用户的无线信号。换句话说,处于不同位置的用户可以在同一时间使用同一频率和同一码型,而不会相互干扰。实际上,SDMA 通常都不是独立使用的,而是与其他多址方式(如 FDMA、TDMA 和 CDMA 等)结合使用的。也就是说,