

高职高专通信技术专业“十三五”规划教材



移动通信设备运行与维护

主编 张重阳

主审 王小台



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专通信专业“十三五”规划教材

移动通信设备运行与维护

主 编 张重阳

主 审 王小台

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以移动通信 GSM、TD-SCDMA、TD-LTE 系统现行网络运行设备为载体,采用项目化结构,以 GSM—TD-SCDMA—TD-LTE 系统为主线进行编写,主要内容包括移动通信系统基础知识、GSM 系统日常巡检与设备维护、TD-SCDMA 系统组网配置与设备维护、TD-LTE 系统开通调试与网络优化等 4 个项目。

本书打破传统教材的章节结构形式,以移动通信系统现有的典型工作任务为依据,整合教学内容,设计教学项目。在完成项目的过程中,读者既能学到必要的专业理论,又能掌握相关的实操技能,达到理论与实践的高度融合。

本书既可作为通信类专业以及相关专业高职高专学生的教材,也可作为通信类专业教师及相关实验员的参考书。

本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信设备运行与维护/张重阳主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.8

高职高专通信技术专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3836-2

I. ① 移… II. ① 张… III. ① 移动通信—通信设备—运行—高等职业教育—教材
② 移动通信—通信设备—维修—高等职业教育—教材 IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 205542 号

策 划 马乐惠

责任编辑 阎 彬 马 静

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

印刷单位 陕西大江印务有限公司

版 次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 13

字 数 307 千字

印 数 1~3000 册

定 价 23.00 元

ISBN 978-7-5606-3836-2/TN

XDUP 4128001-1

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。

前言

GSM 是全球移动通信系统(Global System for Mobile Communication)的简称。在我国,不仅其用户数量最多,而且网络规模也最大,因此其网络运行维护的需求量自然也最大。

TD-SCDMA 是 Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access (时分同步码分多址)的简称,是中国提出的第三代移动通信标准(简称 3G),也是 ITU 批准的三个 3G 标准中的一个。TD-SCDMA 是以我国知识产权为主的、被国际上广泛接受和认可的无线通信国际标准。目前,TD-SCDMA 系统组网配置与设备维护人员比较紧缺。

2013 年 12 月 4 日,工信部正式向三大运营商发出了 4G 运营牌照,中国移动、中国电信和中国联通均获得 LTE 牌照。LTE 包括 LTE-TDD(时分双工)和 LTE-FDD(频分双工)两种制式。LTE-TDD,国内亦称 TD-LTE,即 Time Division Long Term Evolution(分时长期演进),在我国发展迅速。目前,急需大量的 TD-LTE 系统设备开通调试和网络优化人员。

本书正是为了适应这种社会需求而编写的。

本书在介绍“移动通信系统基础知识”的基础之上,紧紧围绕 GSM 系统日常巡检与设备维护、TD-SCDMA 系统组网配置与设备维护、TD-LTE 系统开通调试与网络优化进行阐述,并将所涉及的理论知识穿插其中,使理论与实践交织融合、层层递进。

“移动通信设备运行与维护”是通信技术专业的必修专业课,也是高职通信技术专业的专业核心课。其先修课程主要有“传输设备运行与维护”、“交换设备运行与维护”、“光缆线路施工”。学习本课程的主要目的是使学生掌握 GSM、TD-SCDMA、TD-LTE 系统的基本原理,熟悉 GSM、TD-SCDMA、TD-LTE 系统的相关设备,初步具备 GSM 系统日常巡检与设备维护、TD-SCDMA 系统组网配置与设备维护、TD-LTE 系统开通调试与网络优化的基本能力。

本书内容主要分为 4 个项目。

项目 1: 主要介绍移动通信系统基础知识,包括移动通信基础、GSM 系统基础、TD-SCDMA 系统基础和 TD-LTE 系统基础 4 个学习任务。

项目 2: 主要介绍 GSM 系统日常巡检与设备维护,包括 GSM 基站主设备维护、GSM 基站天馈及接地维护两个工作任务。

项目 3: 主要介绍 TD-SCDMA 系统组网配置与设备维护,包括 TD-SCDMA 系统 RNC 组网配置、TD-SCDMA Node B 设备维护两个工作任务。

项目 4: 主要介绍 TD-LTE 系统开通调试与网络优化,包括 TD-LTE eNode B 基站开通调试和 TD-LTE 系统网络优化两个工作任务。

全书由张重阳担任主编并统稿。具体编写分工如下：项目1的任务1.1，项目2、3、4由张重阳编写；项目1的任务1.2由范新龙编写，任务1.3由朱晓红编写，任务1.4由杨楠编写。全书由中国移动铁通安康分公司总经理兼党委书记高级工程师王小台审定。本书在编写过程中得到了西安铁路职业技术学院电子信息系主任孙津平教授的热心帮助和大力支持，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中疏漏、不妥之处在所难免，恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

2015年5月

目 录

项目 1 移动通信系统基础知识	1
任务 1.1 移动通信基础	2
1.1.1 移动通信系统的发展过程	2
1.1.2 移动通信信道	7
1.1.3 移动通信噪声与干扰	9
1.1.4 移动通信基本技术	12
1.1.5 移动通信组网技术	19
课后思考	29
任务 1.2 GSM 系统基础	31
1.2.1 GSM 系统概述	31
1.2.2 GSM 系统结构	33
1.2.3 GSM 接口和协议	36
1.2.4 无线接口技术	38
1.2.5 时帧结构和信道类型	42
1.2.6 GSM 系统管理	45
课后思考	50
任务 1.3 TD-SCDMA 系统基础	52
1.3.1 TD-SCDMA 概述	52
1.3.2 TD-SCDMA 网络结构与接口	55
1.3.3 TD-SCDMA 关键技术	58
课后思考	63
任务 1.4 TD-LTE 系统基础	64
1.4.1 TD-LTE 系统概述	64
1.4.2 TD-LTE 网络结构和接口	67
1.4.3 TD-LTE 关键技术	70
课后思考	74
项目 2 GSM 系统日常巡检与设备维护	75
任务 2.1 GSM 基站主设备维护	76
2.1.1 专业理论：基站设备维护规范和流程	76
2.1.2 实作技能：GSM 基站主设备维护	83
课后思考	95
任务 2.2 GSM 基站天馈及接地维护	96
2.2.1 专业理论：天馈维护作业内容和安全规范	96

2.2.2 实作技能: GSM 基站天馈及接地维护	99
课后思考	104
项目 3 TD-SCDMA 系统组网配置与设备维护	105
任务 3.1 TD-SCDMA 系统 RNC 组网配置	106
3.1.1 专业理论: TD-SCDMA RNC 系统结构	106
3.1.2 实作技能: TD-SCDMA RNC 组网配置	110
课后思考	117
任务 3.2 TD-SCDMA Node B 设备维护	118
3.2.1 专业理论: TD-SCDMA 基站 Node B 系统结构	118
3.2.2 实作技能: TD-SCDMA 基站 Node B 安装与维护	127
课后思考	154
项目 4 TD-LTE 系统开通调试与网络优化	155
任务 4.1 TD-LTE eNode B 基站开通调试	156
4.1.1 专业理论: TD-LTE eNode B 开通准备	156
4.1.2 实作技能: TD-LTE eNode B 开通调试	163
课后思考	181
任务 4.2 TD-LTE 系统网络优化	183
4.2.1 专业理论: TD-LTE 网络优化流程	183
4.2.2 实作技能: TD-LTE 网络优化	187
课后思考	200
参考文献	202

项目 1

移动通信系统基础知识

项目 1 的内容是后续 3 个项目的理论基础,主要介绍移动通信系统基础知识,包括移动通信基础、GSM 系统基础、TD-SCDMA 系统基础和 TD-LTE 系统基础 4 个学习任务。

任务1.1

移动通信基础



教学目标

知识目标:

- (1) 了解移动通信系统的发展过程;
- (2) 掌握移动通信系统各组成部分及功能;
- (3) 掌握移动通信信道特征;
- (4) 掌握移动通信基本技术;
- (5) 掌握移动通信组网技术。

能力目标:

- (1) 能查阅移动通信基础知识等方面的资料,并能独立学习;
- (2) 能对移动信道特征进行分析;
- (3) 能对移动通信组网中产生的干扰进行分析;
- (4) 能对移动通信基本技术进行分析;
- (5) 能收集我国移动通信组网技术资料,并对相关信息进行分析、判断和处理。

1.1.1 移动通信系统的发展过程

1. 第一代移动通信系统(1G)

所谓移动通信,是指移动体之间、移动体与固定体之间的通信。现代意义上的移动通信系统起源于20世纪20年代,距今已有90余年的历史。

20世纪70年代中期至80年代中期是第一代蜂窝网络移动通信系统发展阶段。第一代蜂窝网络移动通信系统(1G)是基于模拟传输的,其特点是业务量小、质量差、安全性差、没有加密、速度低。1G主要基于蜂窝结构组网,直接使用模拟语音调制技术,传输速率约为2.4 kb/s。

1978年底,美国贝尔实验室成功研制了先进的移动电话系统(Advanced Mobile Phone System, AMPS),建成了蜂窝状移动通信网,这是第一种真正意义上的具有随时随地通信能力的大容量蜂窝状移动通信系统。蜂窝状移动通信系统是带宽或干扰受限的,它通过小区分裂,有效地控制干扰,在相隔一定距离的基站重复使用相同的频率,从而实现频率复用,大大提高了频谱的利用率,有效地提高了系统的容量。

1983年,AMPS首次在芝加哥投入商用,1985年,其使用扩展到47个地区。其他国家也相继开发出各自的蜂窝状移动通信网。日本于1979年推出800 MHz的汽车移动电话

系统(HAMTS),在东京、大阪等地投入商用,成为全球首个商用蜂窝移动通信系统。前联邦德国于1984年完成C网,频段为450 MHz。英国在1985年开发出全入网通信系统(Total Access Communications System, TACS),频段为900 MHz。法国开发出450系统。加拿大推出450 MHz的移动电话系统(Mobile Telephone System, MTS)。瑞典等北欧四国于1980年开发出NMT-450(Nordic Mobile Telephone, NMT)移动通信网,频段为450 MHz。这些系统都是双工、基于频分多址(Frequency Division Multiple Access, FDMA)的模拟制式系统,被称为第一代蜂窝网络移动通信系统。

我国于1987年11月引入第一代移动通信,采用的是英国的TACS系统,在广东省建成并投入商用。第一代蜂窝网络移动通信系统由于传输带宽的限制,不能进行移动通信的长途漫游,只能是一种区域性的移动通信系统。另外,第一代移动通信还有很多不足之处,比如容量有限、制式太多、互不兼容、保密性差、通话质量不高、不能提供数据业务、不能提供自动漫游等。

2. 第二代移动通信系统(2G)

20世纪80年代中期至20世纪末,是数字蜂窝移动通信系统(2G)逐渐成熟和发展的时期。第一代移动通信系统(1G)——模拟蜂窝移动通信系统存在频谱利用率低、费用高、通话易被窃听(不保密)、业务种类受限等问题,而且系统容量也不能满足日益增长的移动用户需求。为了解决这些问题,推出了新一代数字蜂窝移动通信系统(2G)。

数字蜂窝移动通信系统(2G)主要采用的是数字的时分多址(TDMA)技术和码分多址(CDMA)技术。全球主要有GSM和CDMA两种体制。CDMA标准是美国提出的。GSM技术标准是欧洲提出的,目前全球绝大多数国家使用这一标准。

1982年,欧洲成立泛欧移动通信组织,于1983年开始开发GSM(Global Standard for Mobile Communications)系统。1991年7月,GSM系统在德国首次部署,它是世界上第一个数字蜂窝移动通信系统。欧洲1992年提出了第一个数字蜂窝网络标准GSM,它基于时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)技术。

美国提出了两个数字标准:IS-54与IS-95标准。1988年,美国提出的基于TDMA的IS-54(也称为DAMPS,数字AMPS)在美国作为数字标准得到通过。1989年,美国高通(Qualcomm)公司开始开发窄带CDMA(DS-CDMA)。1995年美国电信产业协会(TIA)正式颁布了基于窄带DS-CDMA的IS-95标准。CDMA原本是为军事通信而开发的抗干扰通信技术,后来美国高通公司进一步设计出商用数字蜂窝移动通信技术。1995年,第一个CDMA商用系统运行之后,CDMA技术理论上的诸多优势在实践中得到体现,从而在北美、南美和亚洲等地得到迅速推广和应用。在美国和日本,CDMA成为主要的移动通信技术。日本第一个数字蜂窝系统是个人数字蜂窝(PDC)系统,于1994年投入运行。

我国移动通信主要采用GSM体制,比如中国移动的135到139手机,中国联通的130到132都是GSM手机。2001年,中国联通开始在中国部署CDMA网络(简称C网)。2008年5月中国电信收购中国联通CDMA网络,并将C网规划为中国电信未来的主要发展方向。

第二代移动通信的主要业务是语音,其主要特性是提供数字化的语音业务及低速数据业务。它克服了模拟移动通信系统的弱点,语音质量、保密性能得到很大的提高,并可进行省内、省际自动漫游。第二代移动通信系统替代第一代移动通信系统完成模拟技术向数

字技术的转变,但由于第二代移动通信系统采用不同的制式,移动通信标准不统一,用户只能在同一制式覆盖的范围内进行漫游,因而无法进行全球漫游;又由于第二代数字移动通信系统带宽有限,限制了数据业务的应用,也无法实现高速率的业务,如移动的多媒体业务。

2G 与 1G 相比较,主要的特点是:提高了标准化程度及频谱利用率,不再是数模结合而是数字化,保密性增加,容量增大,干扰减小,能传输低速的数据业务,在增加了分组网络部分后可以加入窄带分组数据业务。2G 移动网络的突出弱点就是业务范围有限,无法实现移动的多媒体业务,各国标准不统一,无法实现全球漫游。

随着 GPRS^①/EDGE^②技术的引入,2G 网络改造升级成为所谓的 2.5G(GPRS)、2.75G (EDGE)网络,使 GSM 与计算机通信/Internet 有机结合,数据传送速率可达 115/384 kb/s,从而使 GSM 功能得到不断增强,初步具备了支持多媒体业务的能力,实际应用基本可以达到拨号上网的速度,因此可以发送图片、收发电子邮件等。

尽管 2G 技术在发展中不断得到完善,但随着用户规模和网络规模的不断扩大,频率资源已接近枯竭,语音质量不能达到用户满意的标准,数据通信速率太低,无法在真正意义上满足移动多媒体业务的需求。

3. 第三代移动通信系统(3G)

20 世纪 90 年代末是第三代移动通信技术(3G)发展和应用阶段,同时 4G 移动通信也进入了研究阶段。自 2000 年始,伴随着 2.5G(B2G)产品 GPRS 系统的过渡,3G 走上了通信舞台的前沿。

3G 也称为 IMT-2000(International Mobile Telecommunication 2000)。早在 1985 年,国际电信联盟^③(International Telecommunications Union, ITU)就提出了第三代移动通信系统的概念,当时称为“未来公众陆地移动通信系统(FPLMTS)”。1996 年 ITU 将 3G 命名为 IMT-2000,其含义为该系统将在 2000 年左右投入使用,工作于 2000 MHz 频段,最高传输速率为 2000 kb/s。

1999 年 11 月 5 日,在芬兰赫尔辛基召开的 ITU TG8/1 第 18 次会议上最终通过了 IMT-2000 无线接口技术规范建议,基本确立了第三代移动通信的 3 种主流标准,即欧洲和日本提出的宽带码分多址(WCDMA),美国提出的多载波码分复用扩频调制(CDMA 2000)和中国提出的时分同步码分多址接入(TD-SCDMA)。

2000 年 5 月,国际电信联盟正式确立了针对 3G 网络的 IMT-2000 无线接口的 5 种技术标准。

对比以模拟技术为代表的 1G、2G 和 2.5G,3G 有更宽的带宽,更高的传输速率。如 WCDMA,其传输速率在室外车载环境下最大支持 144 kb/s,在室内环境下最大支持 2 Mb/s,

① GPRS: 1997 年欧洲提出 GSM 系统的演进版——2.5G 的通用分组无线业务(General Packet Radio Service, GPRS)技术。

② EDGE: 1999 年提出 2.75G 的 GSM 演进的增强数据速率(Enhanced Data rate for GSM Evolution, EDGE)技术,为使用 900 MHz、1800 MHz、1900 MHz 频段的网络提供第三代移动通信网络的部分功能。

③ 国际电信联盟: 联合国于 1865 年成立的制定国际电信标准的专门机构,简称“国际电联”、“电联”或“ITU”。

所占频带宽度可达 5MHz 左右。在技术上, 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。在业务和性能方面, 3G 不仅能传输语音, 还能传输数据, 提供高质量的多媒体业务, 如可变速率数据、移动视频和高清晰图像等多种业务, 实现多种信息一体化, 从而提供快捷、方便的无线应用, 如无线接入 Internet。3G 的目标是在全球采用统一标准、统一频段、统一大市场。各国的 3G 系统在设计上具有良好的通用性, 3G 用户能在全球实现无缝漫游。3G 还具有低成本、优质服务、高保密性及良好的安全性能等特点。

但是, 第三代移动通信系统的通信标准共有 WCDMA、CDMA 2000 和 TD-SCDMA 三大分支, 共同组成一个 IMT-2000 家庭, 成员间存在相互兼容的问题, 因此已有的移动通信系统不是真正意义上的个人通信和全球通信; 再者, 3G 的频谱利用率还比较低, 不能充分利用宝贵的频谱资源; 第三, 3G 支持的速率还不够高, 如单载波只支持最大 2 Mb/s 的业务, 等等。这些不足远远不能适应未来移动通信发展的需要, 因此寻求一种既能解决现有问题, 又能适应未来移动通信需求的新技术(即下一代移动通信(Next Generation Mobile Communication))是必要的。

4. 第四代移动通信系统(4G)

20 世纪 90 年代末, 4G 的研究就已经开始了, 到现在已过去十几年。现在的 4G 在之前被称为 B3G(Beyond 3G, 超 3G)技术。2000 年确定了 3G 国际标准之后, ITU 就启动了 4G 的相关工作。2003 年 ITU 对 4G 的关键性指标进行定义, 确定了 4G 的传输速率为 1 Gb/s。在 2005 年 10 月 18 日结束的 ITU-R WP8F 第 17 次会议上, ITU 给 B3G 技术一个正式的名称——IMT-Advanced, 将未来新的空中接口技术叫做 IMT-Advanced 技术。2007 年, ITU 给 4G 分配了新的频谱资源。

各个大国(如中国、欧洲各国、美国、日本等)及通信技术规范机构(如 3GPP^①、3GPP2^②、IEEE 等)之间在移动通信技术方面的竞争越来越激烈了。在传统蜂窝移动通信技术快速发展的同时, 宽带无线技术(如 WiMAX)也开始提供移动性能, 试图抢占移动通信的部分市场。为了保证 3G 移动通信的持续竞争力, 满足市场对高数据业务、多媒体业务等的新需求, 同时让 3G 技术具有与其他技术竞争的實力, 3GPP 和 3GPP2 相应启动了 3G 技术长期演进(Long Term Evolution, LTE)。3G 技术因此不断演进、不断完善、不断创新。目前 WCDMA 已经演进到 WCDMA HSPA(HSDPA/HSUPA), CDMA 2000 已经演进到 CDMA 20001x EV-DO/EV-DV, 中国拥有自主知识产权的 TD-SCDMA 标准也演进到 TDD HSDPA/HSUPA 的技术标准方案。2008 年 ITU 开始公开征集 4G 标准, 有三种方案成为 4G 标准的备选方案, 分别是 3GPP 的 LTE、3GPP2 的 UMB 以及 IEEE 的移动 WiMAX, 其中

① 3GPP: 3rd Generation Partnership Project 的缩写, 是领先的 3G 技术规范机构, 由欧洲的 ETSI、日本的 ARIB 和 TTC、韩国的 TTA 以及美国的 TI 在 1998 年 12 月发起成立的, 旨在研究、制定并推广基于演进的 GSM 核心网络的 3G 标准, 即 WCDMA、TD-SCDMA、EDGE 等。中国于 1999 年 6 月加入 3GPP。

② 3GPP2: 3rd Generation Partnership Project 2 的缩写, 1999 年 1 月成立, 由北美 TTA、日本的 ARIB、日本的 TTC、韩国的 TTA 四个标准化组织发起, 主要是制定以 ANSI-41 核心网为基础, 以 CDMA 2000 为无线接口的第三代技术规范。中国于 1999 年 6 月加入 3GPP2。

最被产业界看好的是 LTE。LTE、UMB 和移动 WiMAX 虽然各有差别,但是它们也有一些相同之处,三个系统都采用 OFDM(正交频分)和 MIMO(多输入多输出)技术,以提供更高的频谱利用率。移动通信技术演进路线如图 1-1 所示。

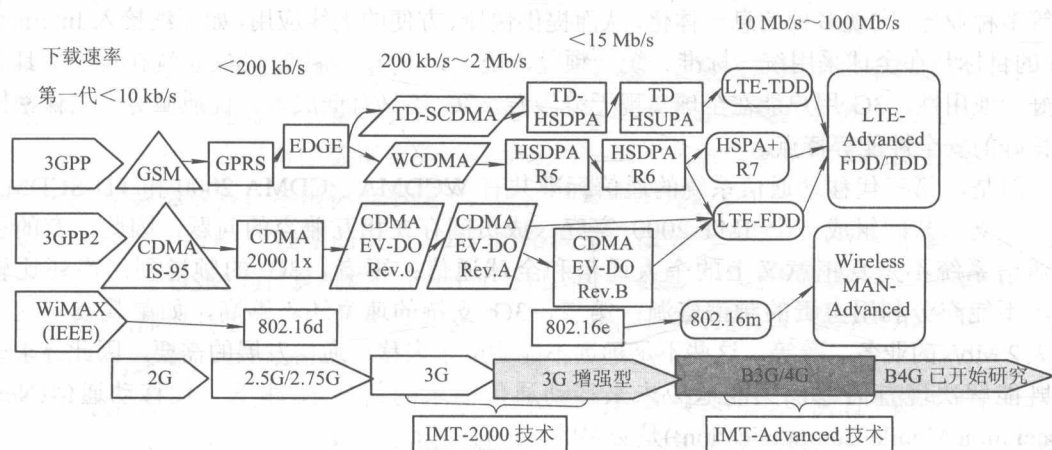


图 1-1 移动通信技术演进路线

说到 4G 技术,我们不得不提到 LTE 技术。LTE 并不是 4G 技术,而是 3G 向 4G 技术发展过程中的一个过渡技术,是被称为 3.9G 的全球化标准,它通过采用 OFDM 和 MIMO 作为无线网络演进的标准,改进并且增强了 3G 的空中接入技术。这些技术的运用,使得其在 20 MHz 频谱带宽的情况下能够提供下行 326 Mb/s 与上行 86 Mb/s 的峰值速率。这种具有革命性的改革,使得 LTE 技术改善了小区边缘位置用户的使用性能,提高小区容量值并且降低了系统的延迟。

2012 年 1 月 18 日, LTE-Advanced 和 Wireless MAN-Advanced(802.16 m)技术规范通过了 ITU-R 的审议,正式被确立为 IMT-Advanced(也称 4G)国际标准,我国主导制定的 TD-LTE-Advanced 同时成为 IMT-Advanced 国际标准。LTE 包括 TD-LTE(时分双工)和 LTE-FDD(频分双工)两种制式,其中我国引领 TD-LTE 的发展。TD-LTE 继承和拓展了 TD-SCDMA 在智能天线、系统设计等方面的关键技术和自主知识产权,系统能力与 LTE-FDD 相当。

TD-LTE-Advanced 正式成为 4G 国际标准,标志着我国在移动通信标准制定领域再次走到了世界前列,为 TD-LTE 产业的后续发展及国际化奠定了重要基础。

2012 年 4 月 15 日,中国移动香港有线公司正式推出 4G 服务,为客户提供高速移动数据业务,一般通信速率可达 10~20 Mb/s,最高下载速率可达 100 Mb/s。

4G 是集 3G 与 WLAN 于一体、能够传输高质量视频图像且图像传输质量与高清晰度电视不相上下的技术。4G 能够以高达 100 Mb/s 的速度下载,比拨号上网快 2000 倍,上传速度可达 20 Mb/s,并能满足几乎所有用户对无线服务的要求。同时,在价格方面,4G 收费与固定宽带网络差不多,计费方式还会更加灵活,通信也更加灵活,人们不仅可以随时随地通信,可以双向下载传递资料、照片、视频,还可以与陌生人联网打游戏。使用 4G,可以获得比 10M 带宽更好的体验和便捷。4G 与 3G 相比,它的频谱利用率更高,通信费用更低,传输速率更高,语音、数据、影像等多媒体通信服务质量更高。

目前,4G 已经进入商用时代,而下一代移动通信技术 B4G(超 4G)也已经进入研究阶

段。5G 标准将会在 4G 的演进中经历 B4G 之后诞生,在此过程中必须想方设法不断提高频谱利用率,克服频谱资源稀缺的大难题。

1.1.2 移动通信信道

任何一个通信系统,信道是必不可少的组成部分。信道按传输媒质分为有线信道和无线信道。有线信道包括电缆及光纤;无线信道有中长地表面波传播,短波电离层反射传播,超短波和微波直射波传播及各种散射波传播。根据信道特性参数随外界各种因素的影响而变化的快慢,通常分为“恒参信道”和“变参信道”两种。所谓恒参信道是指其传输特性的变化量极其微小,且变化速度也极慢,或者说,在足够长的时间内,其参数基本不变;变参信道与此相反,其传输特性随时间的变化较快。移动信道为典型的变参信道。本节在阐述电波传输特性的基础上,重点讨论陆地移动信道的特征。

1. 电波传播特性

1) 电波传播方式

(1) 直射波。电波传播过程中没有遇到任何的障碍物,直接到达接收端的电波,称为直射波。直射波更多出现于理想的电波传播环境中。

(2) 反射波。电波在传播过程中遇到比自身的波长大得多的物体时,会在物体表面发生反射,形成反射波。反射常发生于地表、建筑物的墙壁表面等。

(3) 绕射波。电波在传播过程中被尖利的边缘阻挡时,会由阻挡表面产生二次波,二次波能够散布于空间,甚至到达阻挡体的背面,那些到达阻挡体背面的电波就称为绕射波。地球表面的弯曲性和地表物体的密集性,使得绕射波在电波传播过程中起到了重要作用。

(4) 散射波。电波在传播过程中遇到的障碍物表面粗糙或者体积小但数目多时,会在其表面发生散射,形成散射波。散射波可能散布于许多方向,因而电波的能量也被分散于多个方向。

2) VHF 和 UHF 电波传播特性

电磁波从发射天线发出,传到接收天线,可以有不同的传播方式,当频率大于 30 MHz 时,典型的传播方式如图 1-2 所示。

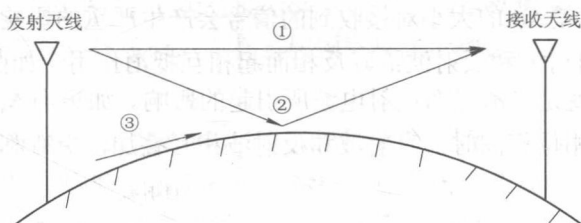


图 1-2 典型的传播方式

沿路径①从发射天线直接到接收天线的电波称为直射波,它是 VHF 和 UHF 频段的主要传播方式;沿路径②的电波经过地面反射到达接收机,称为反射波;沿路径③的电波沿地球表面传播,称为地表面波,由于地表面波的损耗随频率的升高而急剧增大,传输距离随之迅速减小,因此,在 VHF 和 UHF 频段地表面波的传播损耗可以忽略不计。此外,在移动信道中,电波遇到各种障碍物时都会发生反射和散射现象,从而对直射波引起干涉而

产生多径衰落现象。这里主要介绍直射波和反射波的传播特性。

(1) 直射波：直射波传播可按自由空间传播来考虑。所谓自由空间传播是指天线周围为无限大真空时的电波传播，它是理想传输条件。电波在自由空间传播时，其能量既不会被障碍物所吸收，也不会产生反射或折射。虽然电波在自由空间传播时不受阻挡，也不产生反射、折射、绕射、散射和吸收。但是当电波经过一段路径传播之后，能量仍会受到衰减，这是由于辐射能量的扩散而引起的。

自由空间传播损耗常用的计算公式：

$$L_{fs}(\text{dB}) = 32.45 + 20 \lg d (\text{km}) + 20 \lg f (\text{MHz}) \quad (1-1)$$

由上式可知，当工作频率提高一倍，或者说工作波长减小一半时，电波在自由空间的传播损耗就增加 6 dB。同样当传输距离增加一倍时，传播损耗也增加 6 dB。

在实际情况下，电波在直射传播的路径上可能存在山丘、建筑物等障碍物，由这些障碍物引起的附加衰减(除自由空间传播衰减外)，称为绕射衰减或绕射损耗。这时，电波传播损耗应为自由空间传播衰减 $L_{fs}(\text{dB})$ 与附加衰减之和。用公式表示为

$$L(\text{dB}) = L_{fs}(\text{dB}) + \text{附加衰减} \quad (1-2)$$

(2) 反射波：当电波传播中遇到两种不同介质的光滑界面时，如果界面尺寸比电波波长大得多时就会产生镜面反射，即电波在传播过程中遇到比自身的波长大得多的物体时，会在物体表面发生反射，形成反射波。因此从发射天线到接收天线的电波包括直射波和反射波，如图 1-3 所示。

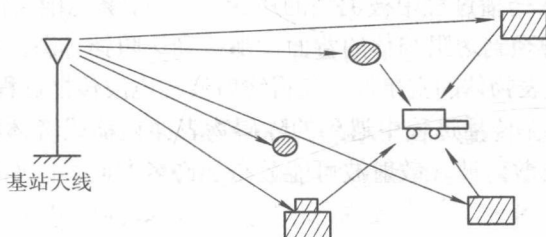


图 1-3 反射波和直射波

由图可知，反射路径比直射路径要长一些，亦即反射波和直射波存在一定的路径差 Δd 。有了路径差，由于电波传播速度为常数，因而就会产生时延差 Δt ，时延差 Δt 又可换算为相位差 $\Delta \phi$ 。相位差 $\Delta \phi$ 的大小对接收到的信号会产生严重的影响。当 $\Delta \phi = (2n+1)\pi$ 时（其中 n 为正整数），直射波和反射波恰好反相而起相互抵消作用，如图 1-4 所示。显然，这种情况是不利的，这就是光滑界面反射电波所引起的影响。如果当 $\Delta \phi = 2n\pi$ ，即反射波和直射波到达接收点的相位相同时，直射波和反射波相互叠加，更有利于通信的正常进行。

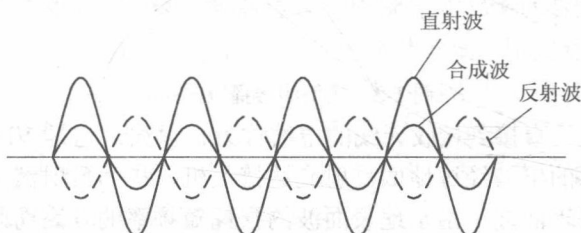


图 1-4 反射波和直射波抵消作用

实际情况下，外界条件往往是不稳定的，它会随着各种因素的变化而随机变化，路径

差 Δd 以及相位差 $\Delta\phi$ 也会随机变化, 因此直射波和反射波有时同相叠加, 有时反相抵消, 造成了合成波的衰落现象。此外, 移动信道中还会有更多的物体, 包括固定建筑物及其他移动车辆, 它们都可能产生反射, 因此多径传播造成的衰落现象尤为突出。

2. 移动信道特征

1) 多径效应与快衰落

在陆地移动信道中, 移动台往往工作在城市建筑群和地形地物较为复杂的环境中, 基地台和移动台之间的电波传播不再是单纯的直射波形式, 而会出现多个路径的反射, 以致到达接收天线的信号是来自不同传播路径的各个分量的合成。由于各个分量的相互干涉会产生深度的快衰落, 即多径衰落或多径效应。多径衰落后的信号包络服从瑞利分布, 所以多径衰落又称作瑞利衰落或快衰落, 快衰落深度可达 20~30 dB, 衰落速率(多普勒频移)与移动台运动速度及工作频率有关。

2) 阴影效应与慢衰落

移动台接收信号除瞬时值出现快速起伏的瑞利衰落外, 其场强中值(具有 50%场强的概率值)随着所处位置改变而呈现较慢的变动, 称为慢衰落。发生慢衰落的主要原因是障碍物的阴影效应, 即在电波传播的路径上遇到建筑物、树林等障碍物的阻挡, 产生了电磁场的阴影。当移动台通过不同的障碍物时, 就造成接收信号场强中值的缓慢变动。变动的大小取决于障碍物状况及工作频率。变化的速率不仅与障碍物有关, 而且还和移动台的移动速度有关。造成慢衰落的另一个原因是大气折射条件变化, 使电波折射系数随时间变化, 多径传播到达接收点的信号时延也随之变化, 从而造成同一地点场强中值随时间的慢变化, 即慢衰落。

3) 多普勒频移

多普勒频移就是快衰落时场强的衰落速率, 它是指当移动台具有一定速度的时候, 基站接收到移动台的载波频率会随移动台运动速度的不同而产生不同的频移, 通常把这种现象称为多普勒频移。由于移动台处在移动中, 所以工作时有多普勒频移 f_D 产生, f_D 与移动台运动速度及工作频率有关, 当移动台在电波主射线上移动时, 移动产生的多普勒频移为

$$f_D = f \left(\frac{v}{c} \right) \quad (1-3)$$

其中, f 为工作频率, c 为光速, v 为移动台运动速度。当运动速度较高时, 如在超音速飞机上, 多普勒频移的影响必须考虑, 而且工作频率越高, 频移越大。

4) 衰落储备

为了防止因衰落(包括快衰落和慢衰落)引起的通信中断, 在信道设计中, 信号的电平要留有足够的余量, 以使中断率小于规定的指标。这种电平余量称为衰落储备。衰落储备的大小决定于地形、地物、工作频率及要求的通信可靠性指标。通信可靠性也称作可通率, 并用 T 表示, 它与中断率的关系是 $T = 1 - R$ 。

1.1.3 移动通信噪声与干扰

1. 移动通信噪声

信道对信号传输特性的影响除传输损耗和衰落以外, 另一个重要的因素就是噪声和干

扰。通信系统中任何不需要的信号都是噪声或干扰,不过因为噪声和干扰产生的根源和特点不同,还是将二者分开为好。移动通信中的噪声来源是多方面的,一般可分为内部噪声和外部噪声两种,如图 1-5 所示。

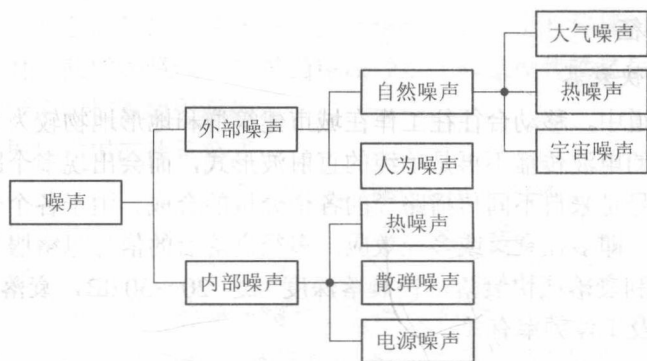


图 1-5 噪声的分类

依据特征不同,噪声又可分为脉冲噪声和起伏噪声两种。脉冲噪声在频谱上通常有较宽的频带,而在时间上却无规则。例如,汽车发动机所产生的点火噪声,这种噪声的主要特点是其突发的脉冲幅度较大,而持续时间较短。除脉冲噪声之外的都可归属为起伏噪声。热噪声、散弹噪声及宇宙噪声是典型的起伏噪声。

1) 内部噪声

内部噪声是系统设备本身产生的各种噪声。例如,在电阻一类的导体中由电子的热运动所引起的热噪声,真空管中由电子的起伏性发射或半导体中由载流子的起伏变化所引起的散弹噪声及电源噪声等。电源噪声及接触不良或自激振荡等引起的噪声是可以消除的,但热噪声和散弹噪声一般无法避免,而且它们的准确波形不能预测。这种不能预测的噪声统称为随机噪声。

内部噪声主要是指热噪声。它的瞬时值服从高斯分布,又称为高斯噪声。理论分析和实践表明,从直流到微波的频率范围内,单位频带(1 Hz)内部噪声功率,即噪声功率密度为一常数,故又称为白噪声。

2) 外部噪声

外部噪声又包括自然噪声和人为噪声,这些噪声也属于随机噪声。自然噪声主要是指自然界引起的各种噪声,包括大气噪声、宇宙噪声和热噪声等。人为噪声是指各种电气装置(如电动机、电焊机、电气开关等)中电流或电压发生急剧变化而形成的电磁辐射。这种噪声电磁波除直接辐射外,还可以通过电力线传播,并由电力线和接收机天线间的电容性耦合而进入接收机。在移动信道中,人为噪声主要是车辆的点火噪声。汽车的流量越大,这种人为噪声的影响就越大。

2. 移动通信干扰

1) 邻道干扰

邻道干扰是一种来自相邻或相近频道的干扰。相近频道可以相隔几个或几十个频道。邻道干扰有两个方面,一是由于工作频带紧随的若干频道的寄生辐射产生的干扰,二是指移动通信网内,一组空间离散的邻近频道引入的干扰。邻道干扰的一部分落入被干扰接收