

双色印刷

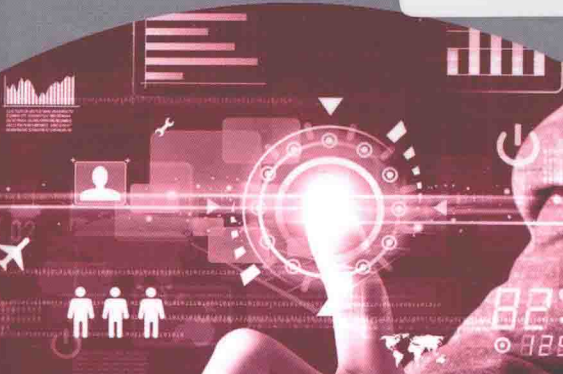


“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
高职高专通信类专业核心课程系列教材

WCDMA无线网络 规划与优化

徐彤 孙秀英 主编

- 内容与岗位技能对接
- 理实一体，图文并茂
- 校企合作共同编写，突出实践技能培养



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费下载
cmpqu@163.com
010-88379564

赠 电子课件、习题答案
模拟试卷及答案等



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
高职高专通信类专业核心课程系列教材

WCDMA 无线网络 规划与优化

主编 徐 彤 孙秀英
参编 于正永 许鹏飞 韩金燕
丁胜高 华 山
主审 钟 伟



机械工业出版社

本书以培养 WCDMA 无线网络规划与优化岗位技能为目标,从网络规划与优化的技术原理到实践操作,由浅入深地介绍了 WCDMA 无线网络规划与优化方面的知识和技能。

本书由校企合作共同编写,内容选取与中国联通 WCDMA 网络规划与优化技能相对接,将实际 WCDMA 网络规划与优化工作所涉及的相关技术原理和操作技能融入书中,本书内容分为四个部分:分别是原理篇、规划篇、优化篇和实训篇,包含 10 章和 8 个实训项目。原理篇介绍了无线电波传播的基本理论、天线原理和 WCDMA 关键技术;规划篇介绍了基站勘察、WCDMA 无线网络覆盖和容量规划相关内容;优化篇介绍了 WCDMA 小区选择、小区重选、系统消息、无线网络接入、空口信令流程与解析及典型优化分析等内容;实训篇介绍了基站勘察工具的使用、网优测试和后台分析软件使用、室内外语言信号测试和测试数据的分析等 8 个实训项目。

为方便教学使用,章首设计了学习目标,章末设计了本章总结和思考与复习题。本书既可作为高职高专通信类专业的教材,也可作为从事网络规划和优化工程技术人员的参考用书。

为方便教学,本书配有免费电子课件、思考与复习题答案、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电(010-88379564)或邮件(cmpqu@163.com)索取,有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

WCDMA 无线网络规划与优化/徐彤,孙秀英主编. —北京:机械工业出版社,2014.8

“十二五”职业教育国家规划教材 高职高专通信类专业核心课程系列教材

ISBN 978-7-111-47028-1

I. ①W… II. ①徐…②孙… III. ①码分多址移动通信-通信网-高等职业教育-教材 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 125722 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:曲世海 责任编辑:曲世海 冯睿娟 责任校对:张玉琴

封面设计:陈沛 责任印制:刘岗

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2014 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·309 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-47028-1

定价:28.00 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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

近年来,移动通信在全球范围内迅猛发展,伴随着 WCDMA 技术在国内大规模的商用,用户对移动通信系统的性能提出了更高的要求,无线网络规划与优化工作显得尤为重要。无线网络规划与优化是通信类专业的核心课程,在人才培养中起着非常重要的作用。本书是中央财政支持的淮安信息职业技术学院“通信技术”国家重点专业项目教材建设成果。

本书作为校本教材在教学中使用了 3 年,编者均有通信网运行维护工作的经历,具有丰富的无线网络规划与优化实践工作经验。本书编写遵循工学结合的开发理念,以 WCDMA 无线网络规划与优化岗位需求为培养目标,以工作过程为主线组织内容,从基本原理到实践操作,由浅入深地介绍 WCDMA 无线网络规划与优化方面的理论知识和实践技能。

本书按照教育部“十二五”职业教育国家规划教材编写要求,由校企合作共同编写,突出实践技能培养。编写团队多次到华为大学培训中心和中国联通公司进行技术调研,请工程技术人员审核本书编写提纲,研讨本书编写内容,确保本书内容的选取与中国联通 WCDMA 网络规划与优化技能相对接,将 WCDMA 网络规划与优化工作所涉及的相关技术原理和操作技能融入书中。本书采用理实一体化形式编写,书中内容分为四个部分:原理篇、规划篇、优化篇和实训篇,包含 10 章和 8 个实训项目。

本书编写特色:

1. 编写结构新颖。根据无线网规网优流程将本书设计为原理篇、规划篇、优化篇和实训篇,更适用于操作技能培养。

2. 内容与岗位技能对接。依据中国联通 WCDMA 网络规划与优化技能要求和通信行业职业技能鉴定标准,将 WCDMA 网络规划与优化所涉及的相关技术原理和操作技能融入书中。

3. 理实一体,图文并茂。采用理实一体化编写方式,将技术理论通过实践案例分析的形式进行讲解,并在版面编排上图文并茂,使得抽象复杂的技术理论简单化,通俗易懂。

本书的参考学时为 90 学时,建议采用理实一体化教学模式,各章的参考学时见下表。

学时分配表

篇 章		课 程 内 容	参 考 学 时
第 1 篇 原理篇	第 1 章	无线电波传播原理	6
	第 2 章	天线基础知识	6
	第 3 章	WCDMA 相关技术	12
第 2 篇 规划篇	第 4 章	WCDMA 基站勘察	2
	第 5 章	WCDMA 无线网络覆盖和容量规划	6

(续)

篇 章		课 程 内 容	参 考 学 时
第 3 篇 优化篇	第 6 章	WCDMA 小区选择和小区重选	6
	第 7 章	WCDMA 系统消息	4
	第 8 章	WCDMA 无线网络接入	4
	第 9 章	WCDMA 空口信令流程与解析	10
	第 10 章	典型 WCDMA 无线网络问题的优化	10
第 4 篇 实训篇	实训 1	基站勘察工具的使用	2
	实训 2	Pilot Pioneer 测试软件的使用	4
	实训 3	WCDMA 室外语音信号的测试	6
	实训 4	WCDMA 室内语音信号的测试	2
	实训 5	WCDMA 测试数据的分析	4
	实训 6	弱覆盖问题的分析	2
	实训 7	邻区漏配问题的分析	2
	实训 8	切换不及时问题的分析	2
课时总计			90

本书由徐彤和孙秀英主编，于正永、韩金燕、许鹏飞、丁胜高、华山参编，华为大学南京培训分部钟伟对本书编写提出了许多宝贵建议，本书编写过程中，还得到了南京嘉环科技技术有限公司和中国联通江苏分公司的大力支持，这里一并表示诚挚的感谢！

对于书中的疏漏和不妥之处，恳请读者提出宝贵建议。

编 者

目 录

前言

第1篇 原 理 篇

第1章 无线电波传播原理	1
【学习目标】	1
1.1 无线电波的概念	1
1.2 无线电波波段划分	2
1.3 无线电波的形成与传播	2
1.4 无线电波的传播环境	4
1.4.1 传播损耗	4
1.4.2 传播特性	4
1.4.3 快衰落与慢衰落	5
1.4.4 多普勒频移	6
1.4.5 远近效应	6
1.5 分集技术	6
1.5.1 分集概念	7
1.5.2 分集方式	7
1.5.3 发射分集	8
1.5.4 信号的合并	9
【本章总结】	10
【思考与复习题】	11
第2章 天线基础知识	12
【学习目标】	12
2.1 天线的基本工作原理	12
2.2 基站天线的种类	13
2.3 基站天线的结构	13
2.4 基站天线的技术参数	14
2.4.1 电气参数	14
2.4.2 机械参数	21

2.4.3 天线特性对系统性能的影响	22
2.5 基站天线的选择	22
2.5.1 辐射方向	22
2.5.2 极化方向	23
2.5.3 天线下倾角	24
2.5.4 双频网络共用天线	24
【本章总结】	25
【思考与复习题】	26
第3章 WCDMA 相关技术	28
【学习目标】	28
3.1 WCDMA 系统网络结构	28
3.1.1 WCDMA 系统网络构成	28
3.1.2 UTRAN 的基本结构	30
3.2 WCDMA 空中接口技术	31
3.2.1 空中接口的协议结构	31
3.2.2 逻辑信道	32
3.2.3 传输信道	32
3.2.4 物理信道	33
3.3 WCDMA 物理层关键技术	36
3.3.1 扩频技术	36
3.3.2 功率控制	40
3.3.3 切换技术	42
3.3.4 RAKE 接收机	46
【本章总结】	46
【思考与复习题】	47

第2篇 规 划 篇

第4章 WCDMA 基站勘察	50
【学习目标】	50
4.1 基站选址	50
4.2 基站勘察	52
4.2.1 基站机房室内勘察	52
4.2.2 基站室外勘察	53

4.3 勘察输出报告	53
【本章总结】	54
【思考与复习题】	54
第5章 WCDMA 无线网络覆盖和容量规划	55
【学习目标】	55

5.1 WCDMA 网络规划概述	55	5.4 WCDMA 无线网络的容量分析	65
5.2 WCDMA 无线网络规划流程	55	5.4.1 上行链路极限容量分析	65
5.3 WCDMA 无线网络估算	57	5.4.2 下行链路极限容量分析	66
5.3.1 无线链路预算	57	【本章总结】	67
5.3.2 无线覆盖范围估算	62	【思考与复习题】	68
5.3.3 ATOLL 规划软件介绍	64		
第3篇 优 化 篇			
第6章 WCDMA 小区选择和小区重选	69	9.2 无线资源管理流程	95
【学习目标】	69	9.2.1 RRC 连接建立流程	95
6.1 PLMN 选择	69	9.2.2 NAS 信令建立流程	99
6.2 小区搜索	70	9.2.3 RAB 建立流程	101
6.3 小区选择	70	9.2.4 RRC 连接释放流程	103
6.4 小区重选	72	9.3 移动性管理流程	104
6.5 小区选择和小区重选参数	73	9.3.1 前向切换	104
【本章总结】	76	9.3.2 软切换	105
【思考与复习题】	77	9.3.3 硬切换	111
第7章 WCDMA 系统消息	78	【本章总结】	112
【学习目标】	78	【思考与复习题】	113
7.1 WCDMA 系统消息介绍	78	第10章 典型 WCDMA 无线网络问题的优化	115
7.2 系统消息构成	79	【学习目标】	115
7.3 系统参数	79	10.1 WCDMA 无线网络覆盖问题优化	115
7.3.1 MIB	79	10.1.1 覆盖问题分类	115
7.3.2 SIB 的类型	79	10.1.2 覆盖问题分析流程	116
7.3.3 SIB 的内容	80	10.1.3 覆盖问题解决措施	118
【本章总结】	84	10.1.4 典型覆盖问题分析	119
【思考与复习题】	86	10.2 WCDMA 导频污染问题优化	121
第8章 WCDMA 无线网络接入	87	10.2.1 导频污染的含义	122
【学习目标】	87	10.2.2 导频污染产生的原因	122
8.1 随机接入信道	87	10.2.3 导频污染问题对网络的影响	126
8.2 随机接入过程	89	10.2.4 导频污染案例分析	126
8.3 小区接入参数	91	10.2.5 导频污染问题的优化方法	128
【本章总结】	92	10.3 WCDMA 无线网络切换问题优化	129
【思考与复习题】	93	10.3.1 软切换算法参数	129
第9章 WCDMA 空口信令流程与解析	94	10.3.2 切换案例分析	132
【学习目标】	94	【本章总结】	137
9.1 WCDMA 信令流程概述	95	【思考与复习题】	138
第4篇 实 训 篇			
实训1 基站勘察工具的使用	139	【实训工具与设备】	139
【实训目的】	139	【实训步骤及注意要求】	139

1.1 手持式 GPS 接收机的使用	139	4.4 室内信号的测试	170
1.2 地质罗盘的使用	141	【思考与复习题】	171
1.3 激光测距仪的使用	143	实训 5 WCDMA 测试数据的分析	172
【思考与复习题】	143	【实训目的】	172
实训 2 Pilot Pioneer 测试软件的使用	144	【实训工具与设备】	172
【实训目的】	144	【实训内容和步骤】	172
【实训工具与设备】	144	5.1 Pilot Navigator 软件的使用	172
【实训步骤及注意要求】	144	5.1.1 Pilot Navigator 软件的简介	172
2.1 软件安装	144	5.1.2 Pilot Navigator 软件的操作界面	172
2.2 使用 Pilot Pioneer 软件	146	5.1.3 Pilot Navigator 软件的视图	174
【思考与复习题】	150	5.1.4 Pilot Navigator 软件的分析 and 统计功能	180
实训 3 WCDMA 室外语音信号的测试	151	5.2 无线指标	186
【实训目的】	151	【思考与复习题】	187
【实训工具与设备】	151	实训 6 弱覆盖问题的分析	188
【实训内容和步骤】	151	【实训目的】	188
3.1 WCDMA 路测数据的关键指标	151	【实训工具与设备】	188
3.2 测试模板的设置与调用	152	【实训步骤及注意要求】	188
3.3 开始测试	154	6.1 数据准备	188
3.4 测试窗口	154	6.2 数据分析	190
3.4.1 Map 窗口	154	【思考与复习题】	191
3.4.2 Message 窗口	162	实训 7 邻区漏配问题的分析	192
3.4.3 Events List 窗口	163	【实训目的】	192
3.4.4 Graph 窗口	163	【实训工具与设备】	192
3.4.5 UMTS Radio 窗口	165	【实训步骤及注意要求】	192
3.4.6 Serving/Neighbor 窗口	166	7.1 数据准备	192
【思考与复习题】	166	7.2 数据分析	192
实训 4 WCDMA 室内语音信号的测试	168	【思考与复习题】	194
【实训目的】	168	实训 8 切换不及时问题的分析	195
【实训工具与设备】	168	【实训目的】	195
【实训步骤及注意要求】	168	【实训工具与设备】	195
4.1 测试终端设备连接	168	【实训步骤及注意要求】	195
4.2 室内地图数据导入	169	8.1 数据准备	195
4.3 室内测试方式	170	8.2 数据分析	195
		【思考与复习题】	197
		参考文献	198

第 1 篇 原 理 篇

第 1 章 无线电波传播原理

【学习目标】

知 识	重点	1. 无线电波波段划分; 2. 无线电波的分布; 3. 电磁波的形成与传播特性; 4. 无线传播环境和传播损耗; 5. 移动通信采用的分集技术和合并技术。
	难点	1. 电磁波的形成与传播特性; 2. 移动通信采用的分集技术。
建议学时	6 课时	

在规划和建设一个移动通信网时,从频段的确定、频率分配、无线电波的覆盖范围、计算通信的概率及系统间的电磁干扰,直到最终确定无线设备的参数,都必须依靠对无线电波传播特性的了解。本章从应用的角度,全面阐述了移动通信中的无线传播理论。

1.1 无线电波的概念

无线电波是指在自由空间(各向同性、无吸收、电导率为零的均匀介质,包括空气和真空)传播的射频频段的电磁波。无线电波是一种能量传输形式,在传播过程中,电场和磁场在空间是相互垂直的。与光波一样,无线电波的传播速度和传播媒质有关,无线电波在真空中的传播速度等于光速。

无线电波在媒质中的传播速度 v_e 为

$$v_e = c / \sqrt{\epsilon}$$

式中, c 为光速; ϵ 为传播媒质的介电常数。

空气的相对介电常数与真空的相对介电常数很接近,略大于 1。因此,无线电波在空气中的传播速度略小于光速,通常我们就认为它等于光速。

无线电波的频率等于发射信号的频率 f , 波长 λ 是指在信号的一个周期内无线电波前进的距离,它等于传播速度 v 与周期 T 的乘积,即

$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$

1.2 无线电波波段划分

无线电波可以按频率划分,也可以按波长划分。根据无线电波传播及使用的特点,国际上将其划分为 12 个频段,而通常的无线电通信只使用其中的第 4 到第 11 个频段。无线电波频段的划分见表 1-1。在不同的频段内的无线电波具有不同的传播特性,无线电波的频率越低,其传播损耗越小,覆盖距离越大,绕射能力越强。但是,低频段无线电波的频率资源紧张,系统容量有限,因此主要应用于广播、电视及寻呼等系统;高频段无线电波的频率资源丰富,系统容量大,但是无线电波的频率越高,其传播损耗越大,覆盖距离越小,绕射能力越弱。另外,无线电波的频率越高,其技术实现的难度越大,系统的成本也相应提高。

对于移动通信系统,选择所用频段要综合考虑其覆盖效果和容量。UHF 频段与其他频段相比,在覆盖效果和容量之间折中的比较好,因此被广泛应用于移动通信领域。当然,随着人们对移动通信的需求越来越多,需要的容量越来越大,移动通信系统必然要向高频段发展。

表 1-1 无线电波频段的划分

序号	频段名称	频段范围	波段名称	波长范围	主要用途
1	极低频(ELF)	3 ~ 30Hz	极长波	100 ~ 10Mm	
2	超低频(SLF)	30 ~ 300Hz	超长波	10 ~ 1Mm	
3	特低频(ULF)	300 ~ 3000Hz	特长波	100 ~ 10 万 m	
4	甚低频(VLF)	3 ~ 30kHz	甚长波	10 ~ 1 万 m	音频电话、长距离导航、时标
5	低频(LF)	30 ~ 300kHz	长波	10 ~ 1km	船舶通信、信标、导航
6	中频(MF)	300 ~ 3000kHz	中波	1000 ~ 100m	广播、船舶通信、飞行通信
7	高频(HF)	3 ~ 30MHz	短波	100 ~ 10m	短波广播、军事通信
8	甚高频(VHF)	30 ~ 300MHz	米波	10 ~ 1m	电视、调频广播、雷达、导航
9	特高频(UHF)	300 ~ 3000MHz	分米波	10 ~ 1dm	电视、雷达、移动通信
10	超高频(SHF)	3 ~ 30GHz	厘米波	10 ~ 1cm	雷达、中继、卫星通信
11	极高频(EHF)	30 ~ 300GHz	毫米波	10 ~ 1mm	射电天文、卫星通信、雷达
12	至高频	300 ~ 3000GHz	丝米波	1 ~ 0.1mm	

1.3 无线电波的形成与传播

电磁理论认为:在时变电磁场中,变化的磁场激发涡旋电场;而变化的电场同样可以激发涡旋磁场。电场与磁场之间的相互激发可以脱离电荷和电流而发生。电场与磁场的相互联系,相互激发,时间上周而复始,空间上交叠重复,这一过程说明波动是电磁场的基本运动形态。当把射频信号加到天线输入端时,天线能够有效地把其所包含的电磁能量辐射到空间中去,并在天线附近的空间中形成电磁波,电磁波的能量将按照一定规律扩散,不断地向远

方传播,如图1-1所示。

天线在空间A点形成的交变电场 E 将会在B点产生交变磁场, A点的交变磁场 H 将在B点产生交变电场, 这样, A点的交变电磁场便推进到B点, B点的交变电场和交变磁场又在C点处产生交变磁场和交变电场。如此继续, 电磁能量就不断地向前传播。

1. 无线电波的分布

空间电磁波的变化规律取决于射频信号的变化规律。当射频电流按正弦规律变化时, 空间各点的电场强度和磁场强度将随之按正弦规律变化, 并且在其传播方向上也是按正弦规律变化的。空间任意点处的电场矢量(实箭线)与磁场矢量(虚箭线)始终是互相垂直的, 并且二者都与传播方向垂直, 如图1-2所示。

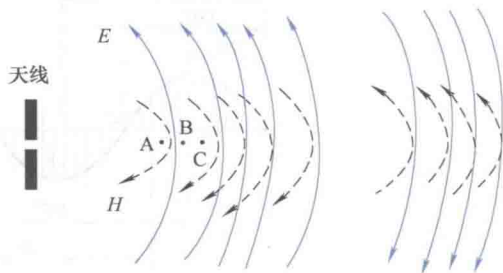


图 1-1 无线电波的传播

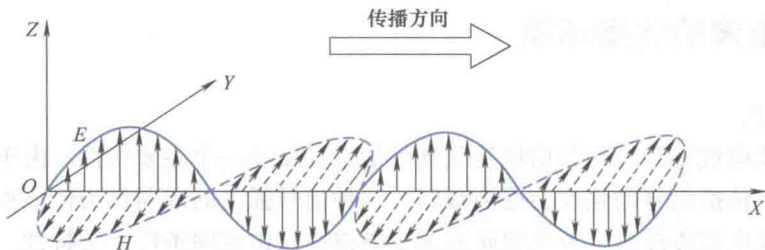


图 1-2 电场、磁场和电磁波传输关系

2. 无线电波的相位

在无线电波传播的途径上, 同一时刻一个波长范围内不同点的电场强度是不同的。空间某点电场强度强弱、方向和变化趋势的瞬时状态, 称为无线电波的相位。习惯上常用角度表示无线电波的相位, 称为无线电波的相位角, 用 φ 表示。图 1-3 中, A 点电场强度为零, $\varphi = 0^\circ$; B 点电场强度为最大值, $\varphi = 90^\circ$; C 点电场强度又回到零, $\varphi = 180^\circ$; D 点电场强度为最小值, $\varphi = 270^\circ$ 。

两点间相位角之差称为相位差, 用 $\Delta\varphi$ 表示。由图 1-3 可知, 在同一电磁波传播途径上, 两点间距离为 $\frac{\lambda}{4}$ (如 A 和 B 点之间) 时, $\Delta\varphi = 90^\circ$; 两点间距离为 $\frac{\lambda}{2}$ (如 A 点和 C 点、B 点和 D 点间) 时, $\Delta\varphi = 180^\circ$; 两点间距离为 $\frac{3}{4}\lambda$ (如 A 和 D 点间) 时, $\Delta\varphi = 270^\circ$; 传播途径上, 设两点间距离为 d , 则两点间相位差 $\Delta\varphi$ 为

$$\Delta\varphi = \frac{d}{\lambda} \cdot 360^\circ$$

由上式可知, 只要两点间距离不变, 任意时刻该两点间的相位差就不变。

3. 无线电波的传播方向

空间电磁波的电场矢量 E 、磁场矢量 H 与无线电波传播方向之间是相互垂直的, 这种电磁波称为横电磁波, 其传播方向可以形象地用右手螺旋定则来确定: 伸开右手且四指指向电

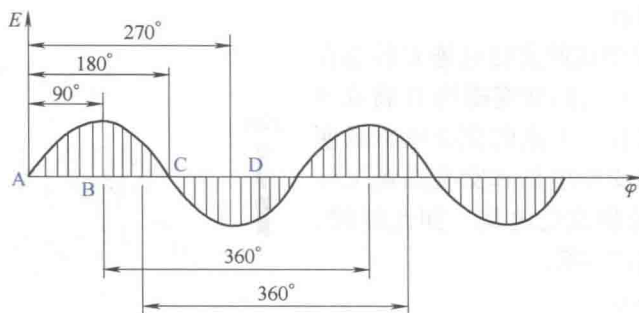


图 1-3 无线电波电场强度和相位

场矢量方向，四指向磁场矢量方向弯曲，则拇指指向即为无线电波传播方向。当电场和磁场矢量中任一个反向时，传播方向就反向；当电场和磁场矢量同时反向时，无线电波传播方向不改变。

1.4 无线电波的传播环境

1.4.1 传播损耗

在研究无线电波传播时，收信机接收到的信号强度是一个主要特性。由于传播路径和地形地貌的影响，传播信号的强度会逐渐减弱，这种信号强度的减弱称为传播损耗。

在研究无线电波传播时，首先要研究无线电波在自由空间条件下的特性。以理想全向天线为例，经推导，自由空间的传播损耗为

$$L_0 = 32.45\text{dB} + 20\lg f + 20\lg d$$

式中， f 为频率，单位为 MHz； d 为距离，单位为 km。

当距离增加一倍时，自由空间的传播损耗增加 6dB；同样，当频率提高一倍时，自由空间的传播损耗增加 6dB。这些损耗可以通过增大辐射和接收天线增益来补偿。

1.4.2 传播特性

无线电波在均匀媒质中是以恒定的速度沿直线传播的，当无线电波通过不均匀媒质传播时，无线电波的传播速度和传播方向都会发生变化，会产生反射、折射、绕射和散射现象。

1. 反射

无线电波通过不同媒质的分界面时，会产生反射现象。尤其是无线电波遇到介电常数 ϵ 很大的金属或其他导体时，无线电波的能量几乎全部被分界面反射。当反射面是平面且尺寸远大于无线电波波长时，无线电波的反射遵循光的反射定律。

2. 折射

无线电波由一种媒质进入另一种媒质时，除了在分界面上产生反射以外，还会产生折射现象。当分界面为平面且尺寸远大于无线电波波长时，无线电波的折射遵循光的折射定律。

当无线电波通过两种媒质的分界面时，折射方向总是向着介电常数 ϵ 较大的媒质的法线方向偏折的。短波信号进入大气层的电离层时，就会发生这种折射现象。

3. 绕射

无线电波能够绕过障碍物继续向前传播的现象称为**绕射**，绕射也称为衍射。由于无线电

波具有绕射特性，所以它可以沿着起伏不平的地球表面传播。绕射时有些能量会逸散到其他方向，使得无线电波衰减较大。

无线电波的绕射能力与波长有关，波长越长，绕射能力越强。如对于长波，高山也不算障碍，但对于超短波，一些高层建筑也可能严重阻挡无线电波的传播。

4. 散射

无线电波在大气中传播时，大气中的各种物质微粒（如雨滴、尘土等）和不均匀气团均可在无线电波作用下而激起电流，形成新的波源，产生二次辐射，散射就是二次辐射在各个方向上叠加造成的。一般来讲，超短波的散射现象是比较显著的。

散射会使能量分散到各个方向，不需要的散射信号对接收来讲是一种干扰，但也可以利用散射进行通信。

1.4.3 快衰落与慢衰落

由于接收者所处地理环境的复杂性、使得接收到的信号不仅有直射波的主径信号，还有从不同建筑物反射过来以及绕射过来的多条不同路径信号。而且它们到达时的信号强度、到达时间以及到达时的载波相位都是不一样的。所接收到的信号是上述各路径信号的矢量和，这种现象称为多径效应。如图 1-4 所示。

所有的信号分量合成产生一个复驻波，它的信号强度根据各分量的相对变化而增加或减小。其合成的电场强度在移动几个车身长的距离中会有 20 ~ 30dB 的衰落，如图 1-5 所示。大量传播路径的存在就产生了所谓的多径效应，其合成波的幅度和相位随 UE（用户设备）的运动产生很大的起伏变化，通常把这种现象称为多径衰落或快衰落。

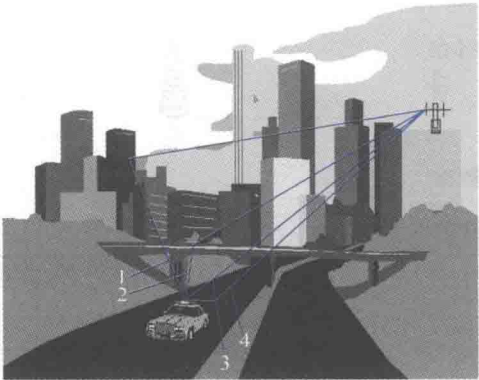


图 1-4 多径传播模型
1—建筑物反射波 2—绕射波
3—直射波 4—地面反射波

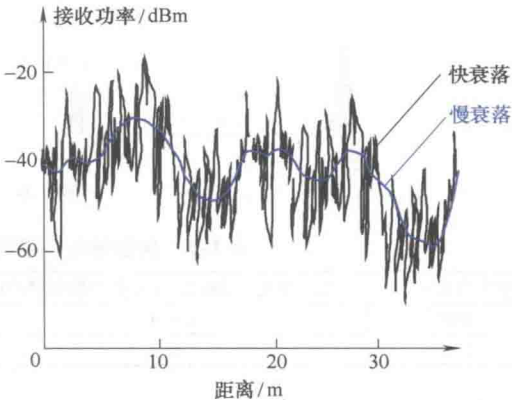


图 1-5 快衰落与慢衰落

研究表明，如移动单元所收到的各个无线电波分量的振幅、相位和角度是随机的，则电场强度概率密度函数服从瑞利分布，故多径衰落也称瑞利衰落。UE 接收的信号除瞬时值出现快速瑞利衰落外，其电场强度中值（在给定的统计时间内，有 50% 时间内的电场强度超过某个数值，则该值称为电场强度中值）随着地区位置改变出现较慢的变化，这种变化称为慢衰落，如图 1-5 所示。

在无线通信系统中，UE 在运动的情况下，由于大型建筑物和其他物体对无线电波传输路

径的阻挡而在传播接收区域上形成半盲区,从而形成电磁场阴影,这种随 UE 位置的不断变化而引起的接收点电场强度中值的起伏变化叫做**阴影效应**。电场强度中值变化的大小取决于障碍物的状况和工作频率,电场强度中值变化速率不仅和障碍物有关,而且与 UE 移动速度有关。

慢衰落主要是由阴影效应引起的,所以慢衰落也称阴影衰落,慢衰落中值变化服从对数正态分布。

1.4.4 多普勒频移

移动终端在运动中,特别是在高速运动的情况下通信时,移动终端和基站接收端接收的信号频率会发生变化,这种现象称为多普勒效应。多普勒效应所引起的频移称为**多普勒频移**,其计算公式为

$$f_d = \frac{f_0}{c} v \cos \theta$$

式中, f_d 为多普勒频移, f_0 为载波频率, θ 为 UE 移动方向和入射波方向的夹角; v 是 UE 运动速度; c 为电磁波传播速度, $c = 3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。

从上式可以看出:用户移动方向和电磁波传播的方向相同时,多普勒频移为正;完全垂直时,没有多普勒频移。在 UE 远离基站方向移动时,多普勒频移为负;在 UE 向基站方向移动时,多普勒频移为正。

图 1-6 展示了多普勒频移对移动通信系统的影响,在未加频偏校正的情况下,当 UE 向远离基站方向移动时,UE 收到基站的载频为 $f_0 - f_d$,当 UE 向基站方向移动时,UE 收到基站的载频为 $f_0 + f_d$ 。因此,UE 接收频率的偏差为 $\pm f_d$ 。表 1-2 列出了在中心频率为 2GHz 的典型情况下,不同速度下的最大多普勒频移值。

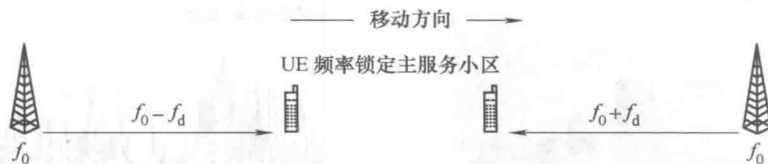


图 1-6 多普勒频移

表 1-2 典型情况下不同速度对应的最大多普勒频移

速度/(km/h)	中心频率为 2GHz 的最大多普勒频移/Hz	速度/(km/h)	中心频率为 2GHz 的最大多普勒频移/Hz
200	± 370	300	± 555
250	± 463	430	± 796

1.4.5 远近效应

由于 UE 的随机移动性,UE 与基站之间的距离也是随机发生变化的。若各 UE 发射功率一样,那么到达基站的信号强弱会有不同,离基站近的信号强,离基站远的信号弱,使得距离基站较近的 UE 发射信号将对距离基站较远的 UE 发射信号产生严重的干扰,通信系统的非线性会进一步加重这种情况,出现强者更强、弱者更弱和以强压弱的现象,通常称这类现象为**远近效应**。

1.5 分集技术

无线通信环境比较复杂,存在着大量的直射波、反射波、折射波、绕射波和散射波,由

于信号经过多条路径达到接收端的时间、幅度和相位不同,导致叠加后的信号幅度急剧变化,从而产生多径衰落。针对多径衰落,人们曾提出了一系列的抗衰落的技术以减小多径衰落的影响,如抗衰落性能好的调制解调技术、扩频技术、功率技术、与交织结合的差错控制编码技术以及分集接收技术等。其中分集接收技术是一种有效的抗衰落技术。

1.5.1 分集概念

分集技术是指在发送端通过多个相互独立的衰落信道传送同一信号的多个副本,降低信号分量同时陷入深度衰落的概率;在接收端对接收到的多个衰落独立的信号进行处理,合理地应用这些信号的能量来改善接收信号的质量。

由于多个信道的传输特性不同,信号多个副本的衰落就不会相同,接收机使用多个副本包含的信息能比较正确地恢复出原发送信号。分集包括两个方面的内容:一是如何把接收的多径信号分离出来使其互不相关,二是将分离出来的多径信号恰当合并,以获得最大信噪比。

1.5.2 分集方式

分集分为宏观分集和微观分集两大类。

宏观分集也称为多基站分集,其主要作用是抗慢衰落。例如,在移动通信系统中,把多个基站设置在不同的物理位置上(如蜂窝小区的对角线上),同时发射相同的信号,小区内的 UE 选择其中最好的基站与之通信,以减小地形、地物及大气等对信号造成的慢衰落。

微观分集主要分为空间分集、频率分集、时间分集和极化分集。理论与实验都证明,当信号在空间、频率、时间和极化等方面分离时,都会呈现出互相独立的衰落特性。微观分集的主要作用是抗快衰落。

1. 空间分集

空间分集也称天线分集,是通信中使用较多的分集形式,简单地说,空间分集就是采用多副接收天线来接收信号,然后进行合并。

空间分集是利用电场强度随空间随机变化来实现的,空间距离越大,多径传播的差异就越大,所接收电场强度的相关性就越小。这里的相关性是个统计术语,表明信号间相似的程度。为保证接收信号的不相关性,要求天线之间的距离足够大,以保证接收到的多径信号的衰落特性不同。也就是说,当某一副接收天线接收到的信号很低时,其他接收天线接收到的信号不一定在同一时刻也出现幅度低的现象,经相应的合并电路中选出信号幅度较大、信噪比最佳的一路,得到一个总的接收天线输出信号。这样就降低了信道衰落的影响,改善了传输的可靠性。经过测试和统计,原国际无线电咨询委员会建议,为了获得满意的空间分集效果,移动单元两天线间距大于 0.6 个波长,即 $d > 0.6\lambda$,并且最好选在 $\lambda/4$ 的奇数倍附近。若天线间距 d 减小到小于 0.6λ ,则建议将天线间距调整为 $\lambda/4$,这也能起到一定的分集效果。

空间分集分为空间分集发送和空间分集接收两个系统。空间分集接收的优点是分集增益高,缺点是还需另外单独的接收天线。

2. 频率分集

频率分集是采用两个或两个以上具有一定频率间隔的无线电波同时发送和接收同一信息,然后进行合成或选择,利用位于不同频段的信号经衰落信道后在统计上的不相关特性,即不同频段衰落统计特性上的差异,来实现抗频率选择性衰落的功能。在移动通信系统中,

可以将待发送的信息分别调制在频率不相关的载波上发射,所谓频率不相关的载波是指当不同的载波频率间隔大于频率相干区间时,与空间分集系统一样,在频率分集系统中,各个分集接收信号相关性较小。只有不同的载波频率间隔大于频率相干区间,才不会使各个无线电波在给定的路由上同时发生深衰落(即信号衰落比较大),并获得较好的频率分集效果。在一定的范围内,两个无线电波的载波频率 f_1 与 f_2 相差越大,即频率间隔越大,两个不同载波信号之间衰落的相关性就越小。

频率分集与空间分集相比较,其优点是在接收端可以减少接收天线及相应设备的数量,缺点是要占用更多的频带资源,所以,一般又称其为带内(频带内)分集,并且在发送端需采用多个发射机。

3. 时间分集

时间分集是将同一信号在不同时间区间多次重发,只要各次发送时间间隔足够大,则各次发送间隔出现的衰落将是相互独立统计的。时间分集正是利用这些衰落统计上互不相关的特点,即时间上衰落统计特性上的差异来实现抗时间选择性衰落的功能。

若 UE 是静止的,即移动速度 $v=0$,此时要求重复发送的时间间隔为无穷大。这表明时间分集对于静止状态的 UE 是无效果的。时间分集与空间分集相比较,优点是减少了接收天线及相应设备的数目,缺点是占用时隙资源,增大了开销,降低了传输效率。

4. 极化分集

在移动环境下,两副在同一地点且极化方向相互正交的天线发出的信号呈现出不相关的衰落特性。利用这一特点,在收发端分别装上垂直极化天线和水平极化天线,就可以得到两路衰落特性不相关的信号。双极化天线是把垂直极化和水平极化两副接收天线集成到一个物理实体中,通过极化分集接收来达到空间分集接收的效果,因此,极化分集实际上是空间分集的特殊情况,其分集支路只有两路。

极化分集的优点是它只需一副天线,结构紧凑,节省空间,其缺点是它的分集接收效果低于空间分集接收效果,并且由于发射功率要分配到两副天线上,将会造成 3dB 的信号功率损失。为了在双极化天线的两个分集接收端口获得较好的信号不相关特性,两个端口之间的隔离度通常要求达到 30dB 以上。

1.5.3 发射分集

发射分集就是利用线性系统的互易性,将在体积和复杂度严重受限的 UE 上难以实现的分集接收技术,搬至基站发射端来实现。

在 3G 系统中,多天线的发射分集是一个非常重要的关键技术。信号通过多个空间上分开足够远的天线发射出去,实现空间分集。天线之间的间隔足够远,可以保证每副天线发射出去的信号经过信道后所遭受的衰落是不相关的。WCDMA 系统使用了开环发射分集技术和闭环发射分集技术。

1. 开环发射分集

在 WCDMA 系统中使用了两种开环发射分集方案,分别是空分发送分集(STTD)和时间切换发射分集(TSTD)。

空分发送分集(STTD)是将在非分集模式下进行信道编码、速率匹配和交织的数据流在 4 个连续的信道比特块中使用 STTD 编码。STTD 除了同步信道(SCH)以外均可使用。

时间切换发射分集(TSTD)是根据时隙号的奇、偶,在两副天线上交替发送基本同步

码和辅助同步码。例如奇时隙时用第一副天线发送,偶时隙则用第二副天线发送。采用TSTD,在UE中可以很简单地获得与最大比值合并相当的效果,大大提高了用户端正确同步的概率,并缩短了同步搜索时间。TSTD专用于同步信道。

2. 闭环发射分集

在WCDMA系统中,专用物理控制信道(DPCCH)和专用物理数据信道(DPDCH)共同组成的专用物理信道,经扩频/扰码后被天线的特定复数加权因子 W_1 和 W_2 加权处理(加权因子由UE决定),然后,用户设备根据接收到的下行(下行也叫前向,是指基站发射信号到UE;上行也叫反向,是指UE发射信号到基站)公共导频信道(P-CPICH)的某个时隙的数值估计各发送天线的信道响应值,这就是闭环发射分集。闭环发射分集关键是加权因子的计算,按加权因子计算方法不同可分为两种模式:一种模式采用相位调整量,两副天线发射DPCCH的专用导频符号不同(正交);另一种模式采用相位/幅度调整量,两副天线发射DPCCH的专用导频符号相同。

1.5.4 信号的合并

1. 最大比合并

最大比合并是指在接收端对各个不相关的分集支路经过相位校正,并按适当的可变增益加权相加后送入检测器进行相干检测。可以设定第 i 个支路的可变增益加权系数为该分集支路的信号幅度与噪声功率之比。

最大比合并只需在接收端对接收信号做线性处理,然后利用最大似然检测即可还原出发送端的原始信息,其译码过程简单、易实现,合并增益与分集支路数 N 成正比。

2. 等增益合并

等增益合并也称为相位均衡合并,这种合并方式是对信号的相位进行校正然后再相加,只不过加权时各路信号的权重相等。等增益合并不是任何意义上的最佳合并方式,只有在假设每一路信号的信噪比相同的情况下,同时在信噪比最大化的意义上,它才是最佳的。对WCDMA系统而言,等增益合并维持了接收信号中各用户信号间的正交性状态,既认可衰落在各个通道间造成的差异,也不影响系统的信噪比。当在某些系统对接收信号的幅度测量不便时可选用等增益合并。

当分集支路数 N 较大时,等增益合并与最大比合并相差不多,仅差1dB左右。等增益合并实现起来比较简单,其设备也简单。

3. 选择式合并

选择式合并是指先检测所有分集支路的信号,然后再从所有分集支路接收信号中选择具有最高基带信噪比的基带信号作为输出。每增加一条分集支路,对选择式合并输出信噪比的贡献仅为总分集支路数的倒数倍。

选择式合并方法简单,实现容易,但由于未被选择的支路信号没有被使用,因此抗衰落性能不如最大比合并和等增益合并方式。

4. 性能比较

在这三种合并方式中,最大比合并的性能最好,选择式合并的性能最差。当 N 较大时,等增益合并的合并增益接近于最大比合并的合并增益。