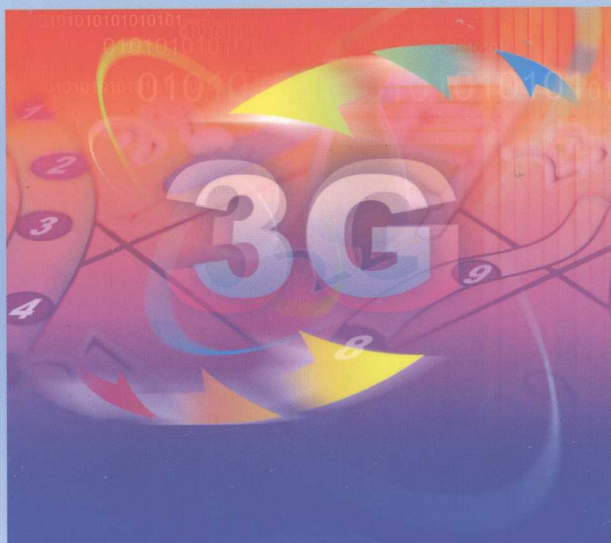


现代移动通信技术丛书

Advanced Mobile Communications

第三代移动通信技术 及其演进

张传福 彭 灿 刘丑中 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

- 【110】 蔡利, HSDPA 技术中的四大关键, 移动通信, 2005.1.10
- 【111】 张传福, 彭灿, 刘丑中, 现代移动通信技术丛书, 2005.1.10
- 【112】 李俊伟, HSDPA 的发展现状与商用前景分析, 通信世界, 2005.1.10
- 【113】 方晓一, 移动通信, 现代移动通信技术丛书, 2005.1.10
- 【114】 现代移动通信技术丛书, 2005.1.10
- 【115】 李柱祥, 移动通信, 现代移动通信技术丛书, 2005.1.10
- 【116】 林辉, 3GPP LTE 长期演进计划应对未来需求, www.pstn.net.cn

第三代移动通信技术及其演进

张传福 彭 灿 刘丑中 编 著

- 【121】 移动通信, 2005.1.10
- 【124】 赵旭, 雷家, 4G 移动通信系统关键技术及演进, http://www.cnti.cn
- 【125】 李海东, 4G 移动通信系统关键技术及演进, http://www.cnti.cn
- 【126】 詹平, 熊占勇, 纪效钢, 关于第四代移动通信系统的浅析, http://www.cnti.cn
- 【127】 陈明, 尤肖虎, B3G 移动通信系统的研究框架, http://www.cnti.cn
- 【128】 郭靖, 郭俊峰, B3G 移动网络的演进, http://www.cnti.cn
- 【129】 胡峰, 张平, 未来移动通信业务模型及架构, http://www.cnti.cn
- 【130】 沈嘉, 移动通信系统关键技术及演进, http://www.cnti.cn
- 【131】 移动通信, 2005.1.10
- 【132】 付晓, 移动通信, 现代移动通信技术丛书, 2005.1.10
- 【133】 闫志刚, UMTS 无线接入网长期演进计划(RAN-LTE), http://www.cnti.cn
- 【134】 移动通信, 2005.1.10
- 【135】 3GPP2 系统关键技术及演进, http://www.cnti.cn
- 【136】 朱禹涛, 3GPP2 系统关键技术及演进, http://www.cnti.cn
- 【137】 华为公司, 移动通信, 2005.1.10
- 【138】 移动通信, 2005.1.10
- 【139】 移动通信, 2005.1.10
- 【140】 移动通信, 2005.1.10
- 【141】 移动通信, 2005.1.10
- 【142】 移动通信, 2005.1.10

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

第三代移动通信技术及其演进 / 张传福, 彭灿, 刘丑中
编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.8
(现代移动通信技术丛书)
ISBN 978-7-115-18104-6

I. 第… II. ①张…②彭…③刘… III. 移动通信—通信
技术 IV. TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 066417 号

内 容 提 要

本书全面介绍了第三代移动通信技术及其演进, 内容包括无线移动通信环境, WCDMA 移动通信系统的网络结构、接口协议、物理层技术及物理层过程, cdma2000 移动通信系统, TD-SCDMA 移动通信系统, HSDPA, IMS, 3G 技术的演进等。

本书内容丰富, 结构清晰, 图文并茂, 适合通信网络维护人员、移动通信工程技术人员, 以及相关应用开发人员和管理人员阅读, 也可作为高等院校相关专业或从事相关课题研究的本本科生、研究生的参考书。

现代移动通信技术丛书

第三代移动通信技术及其演进

- ◆ 编 著 张传福 彭 灿 刘丑中
责任编辑 陈万寿
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 23.5
字数: 450 千字
印数: 1—3 000 册
- 2008 年 8 月第 1 版
2008 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18104-6/TN

定价: 48.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前言

第三代移动通信系统具有提供更大的系统容量和更灵活的高速率、多速率数据传输的能力,除了语音和数据传输外,还能传送高达 2Mbit/s 的高质量的活动图像,真正实现“任何人,在任何地点、任何时间与任何人”都能便利通信这个目标。

3GPP 在 R5 规范中引入了高速下行分组接入(HSDPA, High Speed Downlink Packet Access)技术,其理论峰值速率可达 14.4Mbit/s,可以更好地支持一些流媒体业务。在 R6 规范中引入了高速上行分组接入(HSUPA, High Speed Uplink Packet Access)技术,其理论峰值速率可达 5.76Mbit/s。

CDMA 通信系统使用扩频通信技术,扩频通信技术在军用通信中已有半个多世纪的历史,主要用于两个目的:对抗外来强干扰和保密。因此,CDMA 通信技术具有许多技术上的优点:抗多径衰减,具有软容量、软切换,其系统容量比 GSM 系统大,采用话音激活、分集接收和智能天线技术可以进一步提高系统容量。

由于 CDMA 通信技术有上述技术优势,第三代移动通信系统主要采用宽带 CDMA 技术。现在第三代移动通信系统的无线传输技术主要有三种:欧洲和日本提出的 WCDMA 技术、北美提出的基于 IS-95 CDMA 系统的 cdma2000 技术以及我国提出的具有自主知识产权的 TD-SCDMA 系统。另外,北美提出的 WiMAX 技术也被确定为第三代移动通信的无线传输技术。

本书对第三代移动通信技术及其演进进行了全面、深入、细致的阐述,全书共分 8 章。

第 1 章对无线移动通信环境进行了介绍。包括无线移动通信的特点、无线信道、小尺度衰落信道以及大尺度衰落信道。

第 2 章重点介绍了 WCDMA 的网络结构及接口协议,包括 UMTS 的网络结构、UTRAN 的网络结构、接口及协议,以及无线接口协议。

第 3 章主要介绍了 WCDMA 的物理层技术及物理层过程,包括信道、物理层处理、扩频与调制、同步、随机接入、寻呼与功率控制等物理层过程。

第 4 章介绍了 cdma2000 移动通信系统,包括 IS-95、cdma2000 的物理层、网络结构及接口协议。

第 5 章介绍了 TD-SCDMA 移动通信系统,包括 TD-SCDMA 标准、物理层、关键技术及演进组网方式。

第6章介绍了高速下行分组接入(HSDPA),包括HSDPA的概念、物理层、协议结构、性能、关键技术以及引入HSDPA对WCDMA网络的影响。

第7章讨论了IP多媒体子系统(IMS),包括IMS的网络结构、基本功能和基本流程、业务能力、与其他网络的互通以及IMS的引入策略。

第8章介绍了3G技术的演进,包括HSUPA、HSPA、LTE、超IMT-2000/E3G/B3G/4G以及AIE等。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

作者

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

本书由张传福、彭灿、刘丑中编著。由于我们水平有限,编写时间仓促,加之通信技术发展迅猛,书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评和指正。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

目 录

第 1 章 无线移动通信环境	1
1.1 无线移动通信的特点	1
1.1.1 无线移动通信环境的特点	1
1.1.2 移动通信基本传播机制	2
1.1.3 信号传播中的损耗和效应	5
1.1.4 相关概念	8
1.2 无线信道	11
1.2.1 无线信道概述	11
1.2.2 无线信道的主要性能指标	14
1.2.3 信道中的噪声	15
1.2.4 建立信道模型的意义	16
1.3 小尺度衰落信道	16
1.3.1 多径衰落信道概述	16
1.3.2 移动多径信道的主要参数	17
1.3.3 多径信道的统计特性和模型	20
1.3.4 多径衰落信道的分类	24
1.3.5 移动通信系统中使用的信道模型	27
1.4 大尺度衰落信道	29
1.4.1 自由空间的传播模型	30
1.4.2 平坦球面上的传播模型	30
1.4.3 刃形绕射模型	31
1.4.4 对数正态阴影的路径损耗模型	32
1.4.5 传播模型	33
第 2 章 WCDMA 系统的网络结构及接口协议	37
2.1 WCDMA 网络结构	37
2.1.1 网络结构的演化	37
2.1.2 UMTS 网络结构	41
2.1.3 UTRAN 的结构	48
2.1.4 WCDMA 核心网络结构	54
2.2 UTRAN 接口及协议	64

2.2.1	UTRAN 概述	64
2.2.2	Iu 接口及协议	66
2.2.3	Iub 接口及协议	78
2.2.4	Iur 接口及协议	82
2.2.5	UTRAN 接口的改进和演化	86
2.3	WCDMA 无线接口及协议	91
2.3.1	WCDMA 无线接口概述	91
2.3.2	媒体接入控制协议 MAC	101
2.3.3	无线链路控制协议 RLC	108
2.3.4	分组数据会聚协议 PDCP	111
2.3.5	广播/多播控制协议 BMC	113
2.3.6	无线资源控制协议 RRC	113
第 3 章	WCDMA 物理层技术及过程	119
3.1	WCDMA 的信道	119
3.1.1	逻辑信道	119
3.1.2	传输信道	119
3.1.3	物理信道	121
3.1.4	信道之间的映射	136
3.2	WCDMA 物理层处理	138
3.2.1	WCDMA 物理层处理模型	138
3.2.2	信源编码	138
3.2.3	编码、交织与复用	141
3.3	扩频与调制	144
3.3.1	信道化码序列	144
3.3.2	扰码	145
3.3.3	同步码	146
3.3.4	上行链路的扩频与调制	146
3.3.5	下行链路的扩频与调制	148
3.4	同步过程	150
3.4.1	小区搜索进程	150
3.4.2	公共物理信道同步	151
3.4.3	专用物理信道同步	151
3.5	随机接入过程	154
3.5.1	概述	154
3.5.2	RACH 过程	154
3.5.3	CPCH 过程	155

3.6	寻呼过程	157
3.7	功率控制过程	158
3.7.1	概述	158
3.7.2	快速闭环功率控制过程	158
3.7.3	开环功率控制	159
3.7.4	外环功率控制	160
3.8	发射分集过程	161
3.8.1	开环发射分集	161
3.8.2	闭环发射分集	161
3.9	测量过程	163
3.9.1	概述	163
3.9.2	切换测量过程	165
3.9.3	压缩模式的测量过程	167
3.9.4	其他测量	171
第4章	cdma2000 移动通信系统	172
4.1	CDMA 技术标准的发展历史	172
4.1.1	IS-95 技术标准	172
4.1.2	cdma2000 技术标准	173
4.2	IS-95 通信网络	174
4.2.1	IS-95 的网络结构	174
4.2.2	IS-95 系统接口和信令协议	175
4.2.3	IS-95 的物理层	175
4.3	cdma2000 通信网络	177
4.3.1	cdma2000 的网络结构	177
4.3.2	cdma2000 的网络单元	178
4.4	cdma2000 的物理层	180
4.4.1	前向物理信道	180
4.4.2	反向物理信道	182
4.5	无线接口协议结构	183
4.5.1	无线接口协议简介	183
4.5.2	LAC 层	186
4.5.3	MAC 层	187
4.6	cdma2000 1x EV-DO/DV	188
4.6.1	cdma2000 1x EV-DO 概述	188
4.6.2	cdma2000 1x EV-DO 的物理层和协议结构	189

4.6.3	cdma2000 1x EV-DV 简述	191
第 5 章	TD-SCDMA 移动通信系统	193
5.1	TD-SCDMA 标准	193
5.1.1	TD-SCDMA 标准的形成	193
5.1.2	TD-SCDMA 特点	196
5.2	TD-SCDMA 的物理层	199
5.2.1	概述	199
5.2.2	传输信道和物理信道	200
5.3	TD-SCDMA 的关键技术	203
5.3.1	功率控制技术	203
5.3.2	切换技术	203
5.3.3	智能天线技术	205
5.3.4	无线资源管理 (RRM)	208
5.4	TD-SCDMA 的组网方式	212
5.4.1	TD-SCDMA 的核心网	212
5.4.2	TD-SCDMA 的灵活组网方式	213
第 6 章	高速下行链路分组数据接入 (HSDPA)	216
6.1	高速下行链路分组接入 (HSDPA) 简介	216
6.1.1	HSDPA 的概念	216
6.1.2	HSDPA 技术演进	218
6.2	HSDPA 的物理层	220
6.2.1	高速下行链路共享信道 (HS-DSCH)	220
6.2.2	高速共享控制信道 (HS-SCCH)	224
6.2.3	上行链路高速专用物理控制信道 (HS-DPCCH)	226
6.2.4	HSDPA 物理层的工作过程	226
6.3	HSDPA 的协议结构	228
6.3.1	HS-DSCH 协议体系	228
6.3.2	HSDPA 的 MAC 层	229
6.4	HSDPA 的性能	234
6.4.1	HSDPA 终端性能	234
6.4.2	HSDPA 网络性能参数	235
6.4.3	影响 HSDPA 性能的因素	235
6.5	HSDPA 的关键技术	236
6.5.1	自适应编码调制 (AMC)	236

6.5.2	混合自动重传请求 (HARQ)	238
6.5.3	快速分组调度算法	243
6.5.4	快速链路调整技术	245
6.5.5	快速蜂窝选择	245
6.5.6	MIMO 技术	246
6.6	引入 HSDPA 对 WCDMA 网络的影响	247
6.6.1	HSDPA 与 WCDMA 的差异	247
6.6.2	HSDPA 的引入对网络结构的影响	248
6.6.3	HSDPA 的引入对网络性能的影响	250
6.6.4	HSDPA 的组网策略	254
6.6.5	HSDPA 网络的演进	257
第 7 章	IP 多媒体子系统 (IMS)	258
7.1	IMS 概述	258
7.1.1	IMS 产生的背景	258
7.1.2	IMS 的特点	259
7.1.3	制定 IMS 标准的组织	261
7.2	IMS 网络结构	265
7.2.1	IMS 系统的网络架构	265
7.2.2	IMS 网络的接口和协议	267
7.2.3	IMS 网络实体	274
7.3	IMS 的基本功能和基本流程	284
7.3.1	注册	284
7.3.2	鉴权和授权	287
7.3.3	接入 IMS	288
7.3.4	为用户指配 S-CSCF	288
7.3.5	支持漫游	289
7.3.6	信令路由	291
7.3.7	标识	292
7.3.8	会话和会话过程	296
7.4	IMS 业务能力	298
7.4.1	IMS 提供业务的类别	298
7.4.2	IMS 业务网络架构	303
7.4.3	IMS 业务提供架构	305
7.4.4	业务触发原理	308
7.5	IMS 与其他网络的互通	310
7.5.1	互通的概念	310

7.5.2	IMS 与 CS 网络的互通	311
7.5.3	IMS 的网间互通	316
7.5.4	与其他 SIP 网络的互通	317
7.5.5	WLAN 接入 IMS	318
7.5.6	与不同 IP 版本的 IMS 系统间的互通	325
7.5.7	WiMAX 与 IMS 的互通	326
7.6	IMS 引入策略	327
7.6.1	IMS 引入时机	327
7.6.2	IMS 引入方式	328
7.6.3	IMS 组网方案	329
7.6.4	IMS 网元建设方案	332
7.6.5	IMS 发展阶段	332
第 8 章	3G 技术的演进	334
8.1	HSUPA	334
8.1.1	引言	334
8.1.2	HSUPA 的系统结构	335
8.1.3	HSUPA MAC 层结构	336
8.1.4	HSUPA 的关键技术	339
8.2	HSPA/HSPA+/HSOPA	340
8.2.1	HSPA/HSPA+	340
8.2.2	HSOPA	341
8.3	LTE	344
8.3.1	LTE 的提出	344
8.3.2	LTE 的需求指标	345
8.3.3	LTE 无线接入多址方式	347
8.3.4	LTE 的网络架构	348
8.4	超 IMT-2000/E3G/B3G/4G	349
8.4.1	超 IMT-2000/B3G 的研究进展	349
8.4.2	4G	354
8.5	cdma2000 技术的演进	356
8.5.1	演进方式——分阶段演进	356
8.5.2	各阶段的演进	357
8.5.3	空中接口演进 AIE	359
参考文献		361

第1章 无线移动通信环境

1.1 无线移动通信的特点

1.1.1 无线移动通信环境的特点

与固定（有线）通信相比，无线通信环境要复杂得多。固定（有线）通信具有以下特点：

- 终端（电话机）是固定在某一地点（房间）不动的；
- 信道为传输线路是固定不动、全封闭式传输线，比如双绞线、电缆、光缆等；它是人造的优质信道，容量大，质量高；
- 网络是适应固定式终端与固定式传输线的有线交换网络；
- 总之，固定通信的最大特点是静态的；它不能随人的移动而改变。

固定通信的容量（数量）与质量的瓶颈不在于传输信道而在于网络，它主要决定于交换方式与网络结构。

一般无线通信具有以下一些主要特点：从全静态拓展到可移动的准动态；由全封闭式、固定传输线路到开放式、无线传播信道；满足异地漫游特性。

移动通信是无线通信的一种通信形式，移动通信具有以下一些主要特点：终端随机移动；信道是动态无线链路；网络是适应动态用户、动态信道的动态性交换网络，瓶颈是传输信道，即容量。

移动通信中由于用户需要进行自由移动，其位置不受束缚，因此必须利用无线电波进行传输。与有线传播媒介相比，无线电波的传播特性一般都很差，而且不同用户的传播信号在传播过程中还会互相干扰，因此建立无线传输系统远比建立有线传输系统复杂。首先，移动通信的工作环境十分复杂，电波不仅会随着传播距离的增加而发生弥散损耗，并且会受到地形、建筑物的遮挡而发生“阴影效应”，而且信号经过多点反射，会从多条路径到达接收地点，这种多径信号的幅度、相位和到达时间都不一样，它们相互叠加会产生电平快衰落和时延扩展；其次，移动通信常常在快速移动中进行，这不仅引起多普勒频移，产生随机调频，而且会使得电波传播特性发生快速的随机起伏。因此可以认为，无线传播环境是一种随时间、环境和其他外部因素而变化的传播环境。

移动通信环境中的干扰除一些常见的外部干扰，如天电干扰、工业干扰和信

道噪声外,系统本身和不同系统之间,还会产生这样或那样的干扰。因为在移动通信系统中,常常有多部用户终端在同一地区工作,基站还会有多部收发信机在同一地点工作,这些终端之间会产生干扰。随着移动通信网所采用的制式不同,所产生的干扰也会不同。归纳起来说,这些干扰有邻道干扰、互调干扰、共道干扰、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。因此在移动通信系统中,如何对抗和减少这些有害干扰的影响是至关重要的。

由于无线频谱资源非常有限,而使用无线频谱的用户越来越多,因此如何提高移动通信系统的通信容量,始终是移动通信发展中的焦点。为了解决这一矛盾,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,以压缩信号所占用的频带宽度和提高频谱的利用率。

移动通信中所利用的传输信道称为移动信道,它具有如下特点。

- 传播的开放性。一切无线信道都是基于电磁波在空间传播来实现信息传输的。
- 接收点地理环境的复杂性与多样性。一般可将地理环境划分为三类典型区域:高楼林立的城市中心繁华区;以一般性建筑物为主的近郊小城镇区;以山丘、湖泊、平原为主的农村及远郊区。
- 通信用户的随机移动性,包括慢速步行时的通信和高速车载时的不间断通信。

总之,传播的开放性、接收环境的复杂性与通信用户的随机移动性共同构成了移动通信信道的主要特色。

移动通信系统的性能主要受到无线信道的制约,而无线信道主要受限于无线传播环境,信号的传播距离受限于传播路径的损耗。

对于蜂窝移动通信系统,发射机和接收机之间的传播路径非常复杂,有简单的视距传播,也有地形地物影响下的传播,比如建筑物、地形起伏、树林等的影响。加上用户分布的不确定性和移动性,无线信道无法像固定信道一样可以准确预测,而是具有极大的随机性,因此对移动环境下的电波传播特性一般用统计的方法来描述,如无线传播模型。

1.1.2 移动通信基本传播机制

通常无线电波通过多种方式从发射天线传播到接收天线,这些传播方式主要有以下几种。

- 自由空间波:自由空间波又称直达波,沿直线传播,用于卫星和外部空间通信以及陆上视距的传播(如两个微波塔之间)。
- 对流层反射波:对流层在地球上十几公里处,是异类介质,反射指数随着高度的增加而减小。对流层具有随机快速的连续波动特性。

• 电离层波：大气中 60~600km 高度是电离层，电离层可产生电波散射，电离层和对流层一样具有随机快速的连续波动特性。

• 地波：地波传播可以看成是直达波、反射波和表面波的综合。

在陆地移动通信中，无线电波主要是以地波形式传播。但是由于表面波随着频率的升高衰减增大，传播距离很有限，所以在分析移动通信信道时，在距离较远时主要考虑直达波和反射波的影响。而在距离较近时，如室内，就要考虑表面波。在陆地无线通信中，无线电波的传播机制多种多样，包括直射、反射、绕射、散射和透射等方式，其中起主导作用的是前四种。

1. 直射波

直射波是指在视距覆盖区内无遮挡的传播，近似为自由空间传播，其路径损耗近似为自由空间的路径损耗，直射波传播的信号最强。

2. 反射波

电波在不同性质的介质交界处，会有一部分发生反射，一部分穿过界面。如果平面波入射到理想电介质的表面，则一部分能量进入第二个介质中，一部分能量反射回第一介质，没有能量损耗。如果第二介质为理想反射体，则所有能量被反射回第一介质，无能量损耗。反射波和传输波的电场强度取决于菲涅尔(Fresnel)反射系数 G 。反射系数是反射面材料的函数，同时还与入射信号的极性、入射角和频率有关。

无线电波在传播过程中遇到比波长长得多的物体时，会发生反射，比如建筑物墙面的反射、地面的反射等。直射波和反射波的示意图如图 1-1 所示。对于发射机和接收机距离比较远的情况，如距离为几十千米的海洋超远覆盖，反射需要考虑地球表面曲率的影响；对于覆盖范围为几千米的普通蜂窝系统，可以忽略地球表面曲率的影响，当作平坦表面来分析。反射波的信号强度次之。

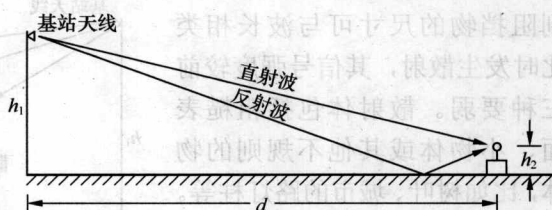


图 1-1 直射波和反射波

3. 绕射波

当发射机和接收机间存在不规则的尖角或薄边的阻碍时发生绕射。在障碍物表面产生的二次波在空间传播，即使是在发射机和接收机间无视距路径的情况下也能传播到障碍物的背面，其效果仿佛电磁波绕过了障碍物。频率较高的无线电波，是否发生反射或绕射取决于障碍物的几何尺寸以及在入射点处电磁波的幅度、相位、极性。通常当障碍物大小与波长为同一数量级时发生绕射。它的强度与反射波相当。

绕射使无线电信号可以绕过阻挡物，传播到阻挡物后面。接收机移动到阻挡物的阴影区时，接收场强虽然衰减非常迅速，但一般仍具有足够的强度，此时接收到的主要是绕射信号。

绕射现象可用惠更斯原理解释。惠更斯原理认为：波在传播过程中，行进中的波前（波面）上的每一点，都是一个进行二次辐射的球面波波源，而下一个波前就是前一个波前上无数个二次辐射波的波面的包络面。后来，菲涅尔对惠更斯原理进行了进一步的研究，认为波在传播过程中，空间任一点的辐射场，是由包围波源的任一封闭面上各点的二次波源发出的波在该点互相干涉叠加的结果。这就是惠更斯—菲涅尔（Huygens-Fresnel）原理，二次波源也称为惠更斯源。

设传输信号波长为 λ ，则菲涅尔区是表示从发射机到接收机次级波路径长度比总的视距路径长度大 $n\lambda/2$ 的连续区域，是一个围绕从发射点到接收点连线的旋转椭圆体，以发射点和接收点作为椭圆焦点，如图 1-2 所示。

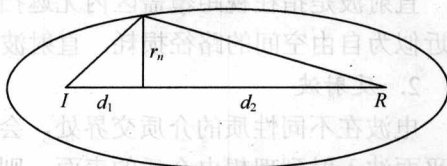


图 1-2 菲涅尔区

对于位于菲涅尔区外面的地面或建筑物等物体，可以对接收点的总电场产生额外反射和散射贡献，但只引起原始波的一个小畸变。而位于菲涅尔区内的物体，特别是第一个菲涅尔区（ $n=1$ ）内的物体，将对直射波产生明显扰动。绕射效应不仅对频率敏感，而且对遮挡物的位置敏感。

4. 散射波

在无线电波传播过程中，遇到阻挡物的尺寸可与波长相类比如时发生散射，其信号强度较前三种要弱。散射体包括粗糙表面、小物体或其他不规则的物体，比如树叶、城市的路灯柱等。信号的反射、绕射、散射如图 1-3 所示。

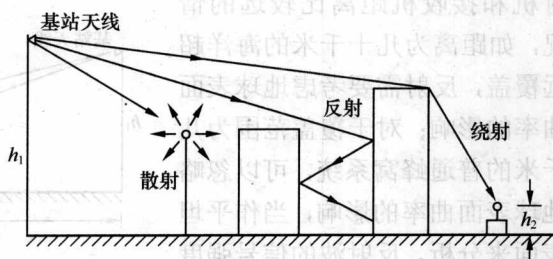


图 1-3 信号的反射、绕射和散射

5. 透射波

透射波是指穿越障碍物后的无线电波，如从室外穿越墙体后进入室内的电波。由于障碍物的穿透损耗通常较大，透射波的信号强度很弱，在考虑无线信号传播时，一般忽略其影响。

移动通信系统的接收信号是直射波、反射波、绕射波、散射波和透射波的合成。在基站较高、地形开阔且没有阻挡的区域，接收机接收到的信号主要是直射波和反射波的叠加；而在高楼林立、阻挡比较严重的密集城区，很少有直射波能

直接到达接收机，大部分情况下，接收的信号主要是反射波、绕射波和散射波的叠加。

1.1.3 信号传播中的损耗和效应

无线信道的衰落如图 1-4 所示。无线移动信道的主要特点及其带来的传播上的特点，对接收点的信号将会产生三类不同的损耗和三种效应：即路径传播损耗、慢衰落损耗和快衰落损耗；阴影效应、远近效应和多普勒效应。

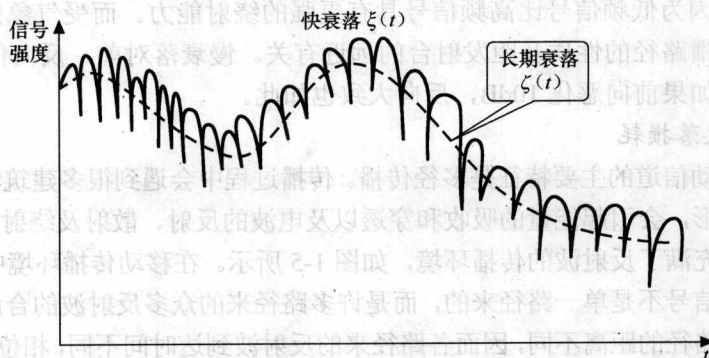


图 1-4 无线信道衰落示意图

1. 路径传播损耗

路径传播损耗又称为衰耗，它是指电波在空间传播所产生的损耗，它反映了传播在宏观大范围（即公里量级）的空间距离上的接收信号电平平均值的变化趋势。移动台离开基站时，其接收到的信号平均功率逐渐减弱。这是由于距离变化带来的慢效应，它是距离和障碍物的函数。

2. 慢衰落损耗

接收信号的场强中值在长时间的缓慢变化称为慢衰落，一种典型的慢衰落就是阴影衰落。它是由于在电波传播路径上受到建筑物及山丘等的阻挡所产生的阴影效应而产生的损耗。产生阴影衰落的原因之一是建筑物的位置不同以及屋顶边缘的绕射特性不同，这就导致了基站与移动台之间衍射损耗的随机变化。阴影衰落产生的另一个原因是用户附近的屋顶接收到的场强在不断变化，这是由于产生上一次反射的建筑物高度不同而导致的，这些因素也同样会导致相同地区的不同街道之间接收信号均值的变化。这两种因素对信号的影响是各自独立的。它反映了中等范围内数百波长量级接收电平的均值变化而产生的损耗，一般遵从对数正态分布。阴影衰落是随位置的较大变化（数十个或数百个波长以上的变化，而非数个波长以内的位置变化）而造成的缓慢衰落，亦称地形衰落或位置衰落。除了阴影衰落外，由于大气参数变化引起折射率的缓慢变化还形成另一种慢衰落，

经测定，它也服从对数正态分布。所不同的是，这种慢衰落在移动台静止时也存在，它是随时间的慢变化。

所以，实际上的慢衰落是随地点变化和时间变化的两种衰落综合而成的。这两种变化相互独立，它们的联合概率分布的标准方差为 $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_t^2}$ ，其中 σ_1 和 σ_t 分别是随位置分布和时间分布的标准方差。

σ_1 体现了地形地貌对电波传播的影响大小。阴影衰落的速度与地形地貌、用户移动的速度有关，而与载波频率无关。但是阴影衰落的深度却是与载波频率相关的，这是因为低频信号比高频信号具有更强的绕射能力。而受气象影响的 σ_t ，它主要和传播路径的性质及距发射台的远近有关。慢衰落对前、反向信道的影响是一致的。如果前向恶化 10dB，反向大致也如此。

3. 快衰落损耗

陆地移动信道的主要特征是多径传播。传播过程中会遇到很多建筑物、树木以及起伏的地形，会引起能量的吸收和穿透以及电波的反射、散射及绕射等，这样，移动信道是充满了反射波的传播环境，如图 1-5 所示。在移动传播环境中，到达移动台天线的信号不是单一路径来的，而是许多路径来的众多反射波的合成。由于电波通过各个路径的距离不同，因而各路径来的反射波到达时间不同，相位也就不同。不同相位的多个信号在接收端叠加，有时同相叠加而加强，有时反向叠加而减弱。这样，接收信号的幅度将急剧变化，即产生了衰落。这种衰落是由多径引起的，所以称为多径衰落。它主要是由于多径传播而产生的衰落，它反映微观小范围内数十波长量级接收电平的均值变化而产生的损耗，一般遵从 Rayleigh（瑞利）分布或 Rician（莱斯）分布，其变化率比慢衰落快，故称它为快衰落。

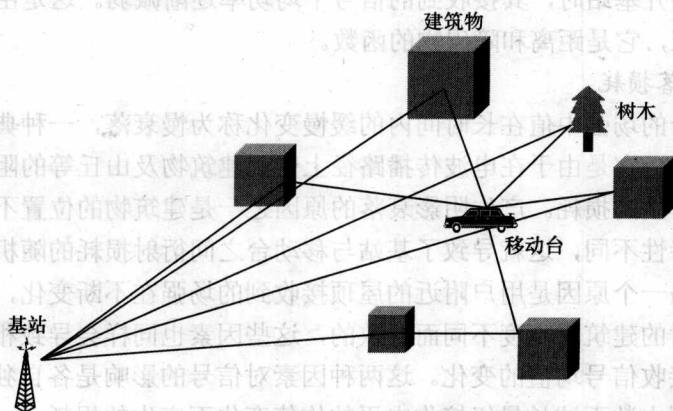


图 1-5 移动台与基站天线之间环境示意图

在移动通信中，信号会被反射、散射。障碍物可能是建筑物、山峦、树木、车辆。一般情况下，在研究地面对电波反射时，都是按平面波处理，即电波在反