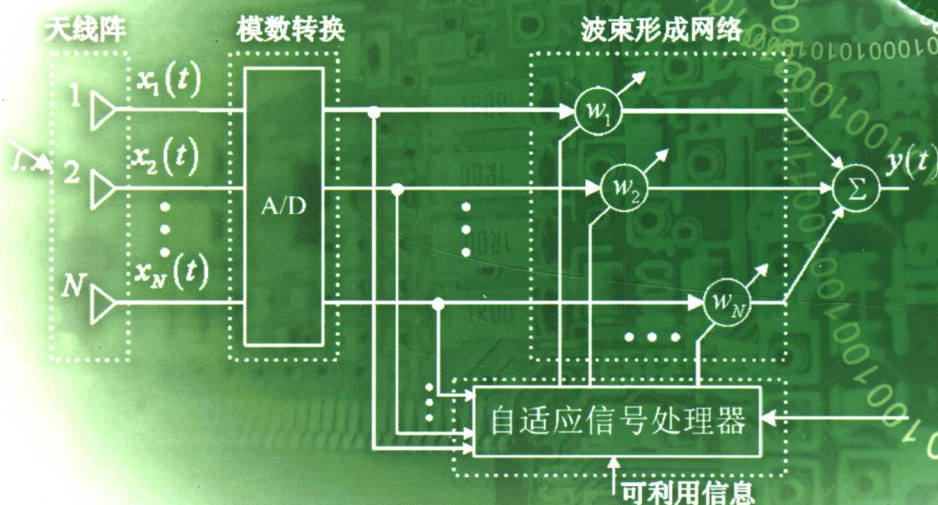


高等学校电子信息类系列教材

移动通信中的阵列天线技术

杨 维 陈俊仕 编 著
李世明 江连山



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



高等学校电子信息类系列教材

移动通信中的阵列天线技术

杨 维 陈俊仕 编著
李世明 江连山

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍了阵列天线在移动通信系统中应用的有关技术：概述了移动通信系统中采用阵列天线技术的概念、作用和新的发展趋势；介绍了阵列天线在移动通信系统中应用的重要基础知识；重点讨论了在 CDMA 及多载波 CDMA 移动通信系统中采用阵列天线的空时信号处理技术；最后，介绍了多输入多输出 (MIMO) 移动通信系统和 RF 定位技术。

全书内容新颖、系统性强，既包含了移动通信中阵列天线技术的基础知识，也在一定程度上反映了移动通信中阵列天线技术的新发展。本书适用于高等学校通信工程与电子信息类专业，作为研究生教材或供大专院校教师及工程技术人员参考。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信中的阵列天线技术/杨维等编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2005. 10

(高等学校电子信息类系列教材)

ISBN 7-81082-245-4

I. 移… II. 杨… III. 移动通信-天线阵-高等学校-教材 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 093852 号

责任编辑：韩 乐 特邀编辑：齐立心

出版者：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414

印刷者：北京东光印刷厂

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印张：19.5 字数：487 千字

版 次：2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-81082-245-4/TN·41

印 数：1~4000 册 定价：28.00 元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043, 51686008; 传真：010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前 言

近十几年来特别是最近几年，移动通信技术得到了迅猛的发展，同时全球也正在向着移动信息时代迈进。如何用有限的无线频率资源提供满足人们物质文化需求的宽带移动多媒体业务，对移动通信技术的发展提出了巨大的挑战。

第一代、第二代和第三代移动通信技术对频域、时域和码域等资源的挖掘已较为充分，为克服有限带宽对移动通信系统性能、容量的限制，满足不断增长的用户需求，在移动通信系统中必将采用阵列天线技术，对空域资源进行充分利用才能实现革命性的进展，从而使系统性能达到数十倍乃至上百倍的提高。对移动通信系统中阵列天线技术的研究也成为近十几年来持续不断的研究热点。

编写此书的目的就是希望能够由浅入深、较为系统地无线通信专业研究生提供一本移动通信系统中阵列天线技术的教学或参考用书，同时也可供本行业工程技术人员、大专院校师生参考。在内容的组织上我们也遵循了这一思路。

第1章对移动通信系统和阵列天线做了概述，包括移动通信系统、阵列天线术语、移动通信系统中阵列天线技术和采用阵列天线对系统性能的改善。这一部分内容可以方便读者建立起在移动通信系统中采用阵列天线技术的目的、思路与概念。而介绍的阵列天线技术的一些新发展趋势，则可使读者更快地进入该领域前沿的研究方向。

第2章具体介绍了阵列天线的表达方法、数学模型，引出了相关矩阵、方向图等重要概念，阐述了波束形成和零点技术的原理，讨论和比较了常用的最优权向量准则和自适应波束形成算法。

第3章主要介绍了在阵列天线移动通信技术中具有重要作用的波达方向(DOA)估计方法，包括一些经典的和近年来出现的一些新方法。

第4章主要介绍了二维空间谱估计，包括空时联合估计和方位、俯仰角的估计。这些既是前两章内容的延伸，也是阵列天线技术的重要内容，并且在未来移动通信技术中可能具有重要的应用价值。

第5章对移动通信中的空时信道特征、模型和参数等进行了表征，既包括了典型无线信道的空时模型，也述及了MIMO信道的有关内容。

第6章，主要对CDMA系统中的空时信号处理进行了讨论，而第7章则重点讨论了CDMA系统中的空时多用户检测问题。在第8章中，讨论了阵列天线多载波CDMA移动通信系统信号处理技术的一些内容。

第9章则介绍了多输入多输出(MIMO)移动通信系统的基本原理和典型应用。

最后的第10章，对移动通信系统RF定位技术的基本原理及其在CDMA系统中的应用做了介绍。

总之，本书既包括了阵列天线的基础知识，又对在移动通信系统中采用阵列天线技术所涉及的有关内容、信号处理技术、典型应用等做了介绍和讨论，以方便感兴趣的读者由浅入深地了解 and 掌握本领域的相关知识。

全书由杨维博士负责编写，参与编写的还有陈俊仕、李世明、江连山和刘俊英，分别参

与编写了第 6、7、8 章，第 2、3、4 章，第 5、9 章和第 10 章。

移动通信中的阵列天线技术正在日新月异飞速发展，其深度和广度已达到了前所未有的水平，我们也只能是根据自己的理解和思路加以总结，特别是限于作者的水平，难免其中的一些观点不够确切或者存在一些问题，因此本书如能起到抛砖引玉的作用则是作者所希望的。对书中的错误之处欢迎专家和读者给予批评指正。

作者感谢国家自然科学基金，特别是东南大学移动通信国家重点实验室开放课题研究基金对我们的连续支持，使我们的研究工作得以持续进行，本书也正是在对这些工作总结的基础上形成的。

作者感谢北京交通大学教材出版基金的资助，使本书得以出版。

作者

于 2005 年 7 月

符号说明

$Q(x)$	标准 Q 函数定义为: $Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$
$E\{\}$	表示括号里随机变量的均值
$\text{Var}\{\}$	表示括号里随机变量的方差
$\text{diag}\{\}$	表示根据括号内指定的元素生成一对角阵
$\text{arg}()$	表示括号内复数的相位
$\text{rank}(\mathbf{A})$	表示矩阵 \mathbf{A} 的秩
$\text{det}(\mathbf{A})$	表示矩阵 \mathbf{A} 的行列式
$\text{trace}[\mathbf{A}]$ 或 $\text{tr}[\mathbf{A}]$	表示矩阵 \mathbf{A} 的迹
$\text{cov}()$	表示协方差矩阵
$\ \cdot\ _F^2$	表示 Frobenius 范数的平方
$\text{cum}()$	表示括号内向量的累积量
$\text{mom}()$	表示括号内向量的矩
$\text{span}()$	表示由括号内向量张成的子空间
sgn	表示符号函数
$\text{vec}()$	表示将通过括号内的 $m \times n$ 维矩阵映射成 $mn \times 1$ 维矩阵
$J_p(x)$	表示第一类 p 阶贝塞尔函数, 定义为 $J_p(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k! \Gamma(p+k+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{p+2k}$ ($ \text{arg} p < \pi$)
$\lfloor \rfloor$	表示向下取整
$\lceil \rceil$	表示向上取整
$i \bmod k$	表示 i 被 k 除的余数
$\text{dim}\{\}$	表示括号内空间的维数
$\text{erfc}[x]$	表示误差余函数, $\text{erfc}(x) = 1 - \text{erf}(x)$
\mathcal{E}	表示 $\{-1, +1\}$ 符号集
\mathbb{C}^n	表示 n 维复向量集合
$\mathbb{C}^{m \times n}$	表示 $m \times n$ 阶复矩阵集合
\mathbb{R}^n	表示 n 维实向量集合
$\mathbb{R}^{m \times n}$	表示 $m \times n$ 阶实矩阵集合
$(\cdot)^H$	表示 Hermitian 转置
$(\cdot)^\dagger$	表示伪逆运算
\otimes	表示 Kronecker 积
$\arg \max_{\theta} f(\theta)$	表示返回一个使函数 $f(\theta)$ 值最大的参数 θ
$\arg \min_{\theta} f(\theta)$	表示返回一个使函数 $f(\theta)$ 值最小的参数 θ
T_c	表示码片周期

T_b 表示比特周期

T_s 表示符号周期

$O()$ 表示复杂度

$\tanh(x)$ 表示双曲正切函数, 定义为: $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

$f_\tau(\tau)$ 表示参数为 τ 的概率密度函数

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 移动通信系统	2
1.2.1 基站与移动台	2
1.2.2 多址接入方案	2
1.2.3 无线信道的传播特性	3
1.2.4 移动通信的发展与趋势	7
1.3 阵列天线术语	8
1.3.1 波束导引与切换	8
1.3.2 传统的波束形成	9
1.3.3 导向矢量	9
1.3.4 零陷波束形成	10
1.3.5 分集合并	10
1.3.6 阵列信号处理	10
1.4 移动通信中的阵列天线	10
1.4.1 基站采用阵列天线	11
1.4.2 实际的考虑	12
1.4.3 同道信号的盲估计	13
1.4.4 在发射模式下采用阵列天线	13
1.5 采用阵列天线对系统性能的改善	14
1.5.1 减小延迟扩展与多径衰落	14
1.5.2 减小同道干扰	15
1.5.3 阵列天线与其他技术结合	15
1.5.4 频谱效率与容量的改善	15
1.5.5 BER 的改善	16
1.5.6 减小中断概率	16
1.5.7 增加发射效率	17
1.5.8 动态信道分配	17
1.5.9 减小切换率	17
1.5.10 价格、复杂度与网络	17
1.6 新的发展趋势	18
1.6.1 空时信号处理	18
1.6.2 MIMO 与空时编码技术	18
1.6.3 联合的 MIMO、多载波与自适应调制技术	19
参考文献	19
第 2 章 波束形成与零点技术	25

2.1	阵列天线的基本概念	25
2.1.1	阵列天线的表达	25
2.1.2	阵列天线接收信号向量及相关矩阵	27
2.2	阵列天线波束形成与零点技术	31
2.2.1	方向图函数	31
2.2.2	相位控制阵列	33
2.2.3	最佳权向量	34
2.3	最优权准则	35
2.3.1	最小均方误差 (MMSE) 准则	36
2.3.2	最大信噪比 (Max SNR) 准则	36
2.3.3	最大似然 (ML) 准则	38
2.3.4	最小噪声方差 (MV) 准则	38
2.4	自适应波束形成的算法	39
2.4.1	最小均方 (LMS) 算法	39
2.4.2	采样矩阵求逆 (SMI) 算法	40
2.4.3	递推最小二乘 (RLS) 算法	41
2.4.4	恒模 (CMA) 算法	42
2.5	宽带信号的波束形成	42
	小结	45
	参考文献	46
第3章	DOA 估计算法	47
3.1	DOA 估计的传统法	47
3.1.1	延迟-相加法	47
3.1.2	Capon 最小方差法	48
3.2	DOA 估计的子空间法	49
3.2.1	MUSIC 算法	49
3.2.2	MUSIC 算法的改进	52
3.2.3	ESPRIT 算法	54
3.2.4	GEESE 算法	56
3.3	DOA 估计的最大似然算法	58
3.4	相干信源的 DOA 估计	60
3.4.1	空间平滑技术	60
3.4.2	频域平滑技术	62
3.5	基于迭代最小二乘投影的 CMA	66
3.6	DOA 估计的综合法	67
3.7	信源个数估计	69
3.7.1	SH、AIC 和 MDL 准则	69
3.7.2	盖氏圆半径法	70
3.8	使用累积量进行阵列信号处理	72
3.8.1	累积量的定义和性质	72

3.8.2 基于累积量的盲波束形成	73
3.8.3 基于累积量的 DOA 估计	77
小结	82
参考文献	82
第 4 章 二维空间谱估计	85
4.1 时空二维谱估计	85
4.2 空间二维谱估计	89
4.3 CDMA 系统中的二维角度估计	95
小结	99
参考文献	99
第 5 章 空时无线信道的特征	100
5.1 无线信道的基础知识	100
5.1.1 无线多径信道模型	100
5.1.2 考虑到 DOA 和阵列天线后的多径信道模型	102
5.1.3 角度扩展	102
5.2 用于智能天线系统的空-时信道模型	105
5.2.1 简介	105
5.2.2 LEE 模型	106
5.2.3 离散均匀分布模型	107
5.2.4 基于散射体几何分布的单反射统计信道模型	108
5.2.5 高斯广义平稳非相关散射模型	113
5.2.6 Rayleigh 模型	115
5.2.7 TU 和 BU 模型	116
5.2.8 均匀扇区分布模型	116
5.2.9 改进的 Saleh-Valenzuela 模型	117
5.2.10 推广的抽头延迟线模型	117
5.2.11 椭圆子域模型	118
5.2.12 基于测量的信道模型	118
5.2.13 射线追踪模型	119
5.3 用于空时编码系统的 MIMO 信道模型	119
5.3.1 MIMO 信道的物理散射模型	120
5.3.2 MIMO 信道模型的扩展	122
5.3.3 MIMO 信道的测试模型	122
小结	124
参考文献	124
第 6 章 CDMA 系统中的空时信号处理	126
6.1 空时处理信号模型	126
6.2 固定波束形成	128
6.3 单次波束形成	128

6.4	自适应波束形成算法	129
6.4.1	非盲波束形成	129
6.4.2	盲波束形成及恒模算法	130
6.5	基于特性恢复的算法	131
6.6	CDMA 信号的综合算法	134
6.6.1	多目标最小二乘恒模算法	134
6.6.2	多目标判决导向	137
6.6.3	最小二乘解扩重扩多目标阵列	138
6.6.4	最小二乘解扩重扩多目标	141
6.7	基于 DOA 估计的算法	144
6.7.1	异步多径 CDMA 系统基于匹配滤波器组的 DOA 估计算法	144
6.7.2	改进的异步多径 CDMA 系统 DOA 估计算法	149
6.7.3	DOA 和信道的联合估计	156
6.8	2D-RAKE 接收机	159
6.8.1	2D-RAKE 接收机波束形成结构	160
6.8.2	一种 2D-RAKE 接收性能分析	161
	小结	167
	参考文献	168
第 7 章	CDMA 系统中的空时多用户检测	171
7.1	多用户检测简介	171
7.2	检测的系统模型	172
7.3	传统检测	174
7.4	最优检测	177
7.4.1	传统最优检测	177
7.4.2	最优检测近似	178
7.5	线性检测	183
7.5.1	解相关检测器	183
7.5.2	MMSE 检测	184
7.5.3	自适应 MMSE 检测	185
7.5.4	解相关判决反馈检测器	186
7.6	空间交替归一化估计-最大化算法	188
7.7	盲空时多用户检测	191
7.8	干扰抵消技术	194
7.8.1	线性干扰抵消	196
7.8.2	非线性干扰抵消	198
7.8.3	干扰抵消的数值实例	198
	小结	202
	参考文献	203
第 8 章	阵列天线多载波 CDMA 空时信号处理	208

8.1	多载波 CDMA 传输技术简介	208
8.2	阵列天线多载波 CDMA 空时信号处理	212
8.3	阵列天线 MC-CDMA 方案系统性能分析	213
8.3.1	合并策略 1	213
8.3.2	接收策略 2	217
8.4	阵列天线 MT-CDMA 系统性能分析	225
8.5	阵列天线 MC-DS-CDMA 系统性能分析	235
8.5.1	没有多径的阵列天线 MC-DS-CDMA 系统	235
8.5.2	具有多径的阵列天线 MC-DS-CDMA 系统	239
8.6	阵列天线 MC-CDMA 系统多用户检测和信道估计	247
	小结	251
	参考文献	251
第 9 章	多输入多输出移动通信系统	254
9.1	MIMO 系统的容量	254
9.1.1	无线信道的特性和重要参数	254
9.1.2	MIMO 信道模型	255
9.1.3	MIMO 系统容量	256
9.1.4	理想 MISO 和 SIMO 系统的信道容量	259
9.2	空间分集和空时编码	260
9.2.1	空间分集	260
9.2.2	空时编码	263
9.3	空时接收机	267
9.3.1	SISO 系统的检测	268
9.3.2	MIMO 系统的检测	270
9.4	MIMO 系统在 CDMA 2000 中的应用	271
9.4.1	概述	271
9.4.2	波束形成系统	272
9.4.3	发射分集系统	273
9.4.4	复合波束形成/发射分集系统	274
	小结	274
	参考文献	274
第 10 章	移动通信系统的 RF 定位技术	276
10.1	基于方向估计 (DOA) 的定位技术	276
10.2	基于时间估计的定位技术	277
10.2.1	波达时间法	277
10.2.2	波达时间和法	278
10.2.3	波达时间差法	279
10.3	定位精度的量度与性能分析	283
10.3.1	几何精度因子	283

10.3.2	均方差	284
10.3.3	圆周误差概率	285
10.3.4	影响定位精度的因素	285
10.3.5	提高定位精度的方法	286
10.4	TDOA/AOA 混合定位在宽带 CDMA 系统中的应用	286
10.4.1	宽带 CDMA 系统模型	286
10.4.2	TDOA/AOA 定位方案	287
10.4.3	TDOA/AOA 方程的求解	288
	小结	294
	参考文献	294
	英汉名词对照表	296

第 1 章 概 述

1.1 引言

在过去的 20 年里,通信技术得到了迅猛的发展和广泛的应用,极大地推动了社会的发展,并为人们的生活方式带来深刻的影响。通信产业在世界各国的国内生产总值中所占的比重不断提高,已成为各国经济发展的主要支柱产业。尽管传统的移动话音业务仍在世界范围内占有主要地位,但移动数据业务特别是短消息业务呈现爆炸式的增长。移动通信业务从传统话音业务向 Internet 接入和以多媒体业务为主的发展趋势已清晰可见。据通用移动通信系统(UMTS)论坛预期,手持移动终端将逐步成为上网的主要设备之一,欧洲到 2010 年超过 9000 万的移动用户将使用移动多媒体业务,其业务量约占业务总量的 60%。随着新型移动多媒体业务的不断涌现,如何在有限的无线频率资源上提供满足人们物质文化需求的宽带移动多媒体业务,将对移动通信技术的发展提出了巨大的挑战。

在我国,移动通信是最具发展活力的产业之一。1987—2000 年的十余年间,我国移动通信用户总数以年均 100% 增长速率迅猛发展,目前已拥有 2 亿多用户,年产值约为 2000 亿元人民币,其规模已超过美国,成为世界上规模最大的电信市场。据有关部门预测,2005 年我国移动通信用户数将超过 3 亿,普及率将由现在的 9% 增至 20%,移动通信业务中的话音业务与移动多媒体数据业务也将并驾齐驱。

为克服有限带宽对移动通信系统容量的限制,满足不断增长的用户需求,人们较早就开始考虑在移动通信系统中采用阵列天线技术,并进行了许多研究。研究表明在移动通信系统中采用阵列天线技术可增加信道容量、提高频谱效率、扩展覆盖范围,调节波束形状和导引多波束来跟踪移动用户,可以显著改善系统的性能。

在阵列天线的基础上进一步结合相应的自适应算法,形成自适应阵列天线移动通信系统或智能天线移动通信系统,这将进一步提高系统的整体性能。

近年来,采用多输入多输出(MIMO)的数字移动通信已成为重要的突破技术之一。MIMO 移动通信系统可以看做是阵列天线移动通信系统或智能天线移动通信系统的进一步拓展。MIMO 移动通信系统的核心特性就是它具有能将多径传播转化为用户可从中受益的能力,而多径传播是传统无线传输的主要缺陷。MIMO 可有效地利用随机衰落和多径延迟扩展^[1~5],从而实现了无线通信系统的传输速率以多数量级地提高与性能的改善,这将使 MIMO 技术成为移动通信新的研究主题。目前,在 MIMO 信道模型、信息论与编码、信号处理等方面的研究已取得显著的进展。

下面先对移动通信系统、阵列天线术语、移动通信系统中的阵列天线技术、采用阵列天线对移动通信系统性能的改善^[6,7]和新的发展趋势给予简单的介绍,以方便读者建立起这方面的总体概念,在后续章节中尽量不再重复介绍这些内容,而将讨论的重点放在移动通信中的阵

列信号处理技术上。

1.2 移动通信系统

这一部分概述本书所涉及的移动通信系统的工作原理及主要技术术语。

1.2.1 基站与移动台

移动通信系统可划分为不同的服务区,称为小区。每一个小区包含一个连接到交换中心的基站,基站通过无线链路与该小区内的移动台通信,并将这些移动台连接到公共交换电话网络上,如图 1-1 所示。

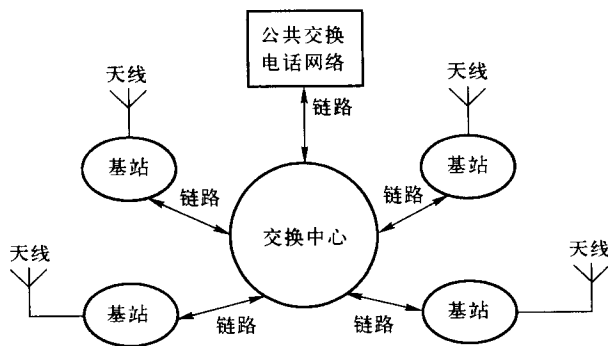


图 1-1 典型的移动通信系统

在移动通信文献中,从基站到移动台的信息传送一般被称为下行或前向传送;而从移动台到基站的信息传送一般被称为上行或反向传送。

1.2.2 多址接入方案

移动通信系统以许多不同的方式利用频率资源,通常称为多址接入方案。三种基本的多址接入方案为频分多址接入(Frequency Division Multiple Access, FDMA)、时分多址接入(Time Division Multiple Access, TDMA)和码分多址接入(Code Division Multiple Access, CDMA)。

标准的模拟 FDMA 方案将不同的载波分配给不同的用户。而 TDMA 是在相同的载波上将不同的时隙分配给不同的用户,对来自不同用户的信号以有序的方式进行交织,因此特别有利于对数字信号的处理。CDMA 方案是一种扩频方法,给每一个用户分配了不同的扩频码。这些扩频码为长伪随机(PN)序列,将信号频谱扩展到一个很宽的频带上,相应地降低了信号的功率谱密度。不同的 CDMA 信号占据相同的带宽,相互间表现为随机噪声。

基站与移动台间的通信链路通过采用不同的载波或时隙进行分离,这两种方式分别称为频分双工(Frequency Division Duplex, FDD)和时分双工(Time Division Duplex, TDD)。FDD 方式由于上下行数据流以不同的频段进行传输,因此不需要上下行数据流的精确同步,而 TDD 方式则需要其同步。除了 FDD 和 TDD 两种基本的双工方式外,码分双工(Code Division Duplex, CDD)技术也得到了研究^[8]。

除了上述三种基本的多址接入方案外还有极分多址接入(Polarization Division Multiple

Access, PDMA)和空分多址接入(Space Division Multiple Access, SDMA)。PDMA并没有在无线地面移动通信系统中得到应用^[9]。SDMA使用定向波束来服务于不同的用户,这样相同的频率或不同的频率就可以在不同的波束覆盖区灵活使用,使频率效率得到很大的提高。通常SDMA要与其他多地址方式联合使用。

在理论上,三种接入方案所提供的系统容量是相同的,并不会因为采用频道、时隙或码而改变,这可用图1-2进行直观解释^[10]。假设一个小区被分配到一组6个信道。对FDMA,可用6个载频信道同时为6个呼叫提供服务。对TDMA,采用三倍于FDMA的载频带宽,即2个TDMA的载频带宽与6个FDMA的载频带宽相同,但每个TDMA载频信道提供3个时隙,共6个时隙同时为6个呼叫提供服务。对CDMA,1个载频具有6个FDMA载频信道的带宽,并通过提供6个码序列同时为6个呼叫提供服务。这就直观地解释了上面的问题。此外,CDMA在相同的无线信道还拥有附加的码序列,这是FDMA和TDMA所不具有的,当然增加附加的码序列将降低服务质量。

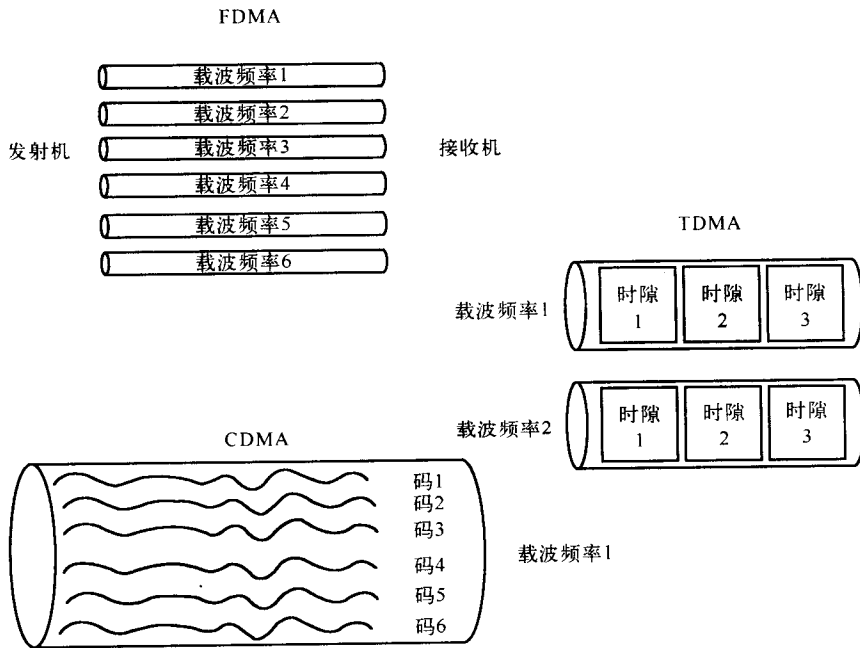


图 1-2 三种多址接入方案系统的描述

但在实际中,每种系统的性能不同,将导致不同的系统容量^[11,12]。同时,每种方案也都有各自的优缺点,例如系统设备的复杂性、对系统参数变化的鲁棒性,等等。TDMA同时处理来自所有用户的信号,对不同用户的数据需要复杂的时间同步。CDMA情况则有所不同,接收机独立处理来自不同用户的数据,但却需要码的同步。虽然没有一种独立的方案对所有情况来讲都是最优的,但CDMA方案所拥有的特点却使得它具有超过其他方案的独特优点。因此,本书有关移动通信中阵列天线技术的讨论主要集中于CDMA系统。

1.2.3 无线信道的传播特性

移动通信系统的各种性能在很大程度上都受到无线信道传播特性的影响,对传播条件与

信道特性的了解及对传输方法的有效使用都是非常重要的。

无线电波在传播过程中会遇到各种建筑物、树木、植被以及地形起伏,这些都将引起能量的吸收和电波的反射、散射和绕射等,因而遭受到不同途径的衰减或损耗,这些损耗可以归纳为以下3类^[13]。

(1) 路径传播损耗:它是指电波在空间传播时所产生的损耗,反映了传播在大范围空间距离上接收信号电平的平均值变化趋势。

(2) 阴影衰落:它是由于电波在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,反映了其在几百倍波长量级的中等范围内接收信号电平的均值变化趋势,一般遵从对数正态分布,其变化率较慢。

(3) 多径衰落:它主要是由于多径传播而产生的损耗,反映在几十倍波长量级的小范围内接收信号电平的均值变化趋势,接收信号场强的瞬时值呈现快速变化的特征,其衰落特性一般遵从瑞利(Rayleigh)分布或莱斯(Rician)分布。

由于路径损失和衰落的影响,接收的信号要比发射的信号弱得多。对快速移动的用户而言,平均路径损失变化很慢,信号的变化主要表现为衰落。阴影衰落又常称为长期衰落,主要来自建筑物和其他障碍物的阻塞效应。多径衰落常称为短期衰落,由移动用户附近的多径散射产生。图 1-3 给出了某一衰落信号的归一化信号功率 P_s 与传播距离的对数 $\log d$ 之间的关系,其中包括路径损失、长期衰落和短期衰落的三种情况^[14]。

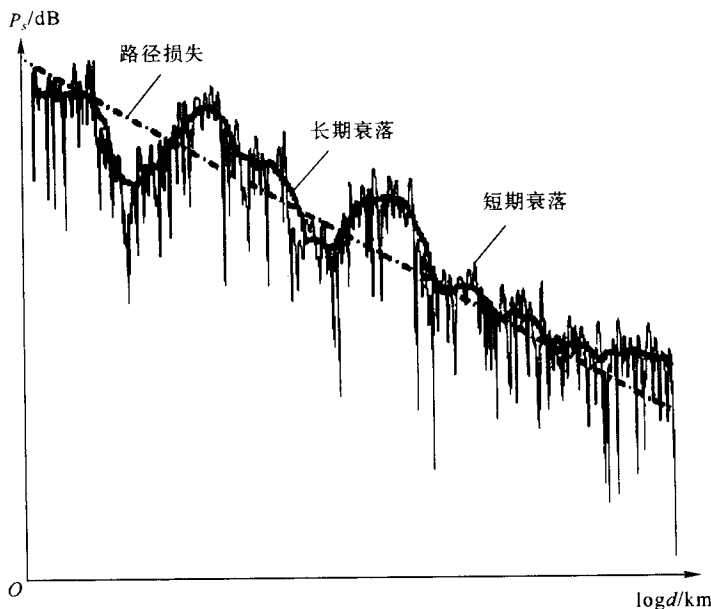


图 1-3 某一衰落信号的路径损失、长期衰落与短期衰落

从移动通信系统工程的角度来看,传播损耗和阴影衰落主要影响到覆盖范围,而多径衰落则严重影响信号传输质量,必须采用抗多径衰落技术来减少其影响。下面对多径衰落信道进行进一步讨论。

移动通信的接收信号,往往不是单一路径的信号,而是来自许多路径的众多反射波的合成。由于不同路径的信号有不同的传播时延,相位也就不同,从而使接收信号幅度因同相叠加