

现代通信新技术系列教材



现代移动通信 中的先进技术

■ 杨大成 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



现代通信新技术系列教材

现代移动通信中的先进技术

杨大成 等编著



机械工业出版社

本书在介绍无线传播理论的基础上对 cdma2000, WCDMA 为代表的第三代及第四代移动通信系统中先进的关键技术进行了详细的介绍, 其中包括日趋成熟的信道编码、调制技术, 接收、分集、均衡技术, 智能天线、空时编码、MIMO 技术以及正在发展中的 OFDM 技术等。

本书内容详实, 在技术上有较高的参考价值, 适合于从事电信工作的工程技术人员及研究人员使用, 并可作为高等院校通信专业的教学用书或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代移动通信中的先进技术 / 杨大成等编著. —北京:
机械工业出版社, 2005.7
ISBN 7-111-16860-7

I. 现… II. 杨… III. 移动通信—通信技术
IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 074399 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 吉 玲 (E-mail: jiling@mail.machineinfo.gov.cn)
责任印制: 杨 曦
高等教育出版社印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
2005 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
787mm × 1092mm 1/16 · 22.25 印张 · 548 千字
0001—4000 册
定价: 36.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
Http://www.machineinfo.gov.cn/book/
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着通信技术的迅猛发展，世界已经步入信息时代。移动通信作为当今通信技术发展最为活跃和迅速的领域之一，必将对 21 世纪人类生活和社会发展产生重要的影响。

近些年，移动通信领域涌现出许多新的概念和技术，它们有的集中了一些传统技术的优点，有的技术甚至突破了传统的理论极限。无论技术如何发展，其追求的最终目标就是提高通信的有效性和可靠性。为了使读者能够学习了解移动通信的前沿技术和最新动态，本书作者在多年从事移动通信技术领域研究开发的基础上，结合丰富的实践经验以及对技术的深刻理解，撰写了本书。在内容选取和编排上，全书结合一些实际系统涵盖了整个通信系统的发射、信道传输、接收所涉及的先进技术，力求给读者一个清晰的思路，便于读者理解各种概念和原理，理解各种技术之间的联系与区别。

本书绪论引出了全书的内容：第 1 章简要介绍了移动通信技术常用的概率论、随机过程及矩阵等数学基础理论；第 2 章简单介绍了无线传播的理论知识；第 3 章着眼于发射端包含的最新编码调制技术以及重传机制；第 4 章则详细讨论了接收所涉及的信道估计、扩频接收技术、均衡以及多用户检测技术；第 5 章主要介绍扩展到多维的空时处理技术，包括分集、智能天线、MIMO 等技术；第 6 章介绍了 OFDM、WLAN、蓝牙等热点通信技术与 Ad hoc 网络结构。

本书内容丰富全面，论述系统深入，它将有助于从事无线移动通信工作的工程技术人员和研究人员，以及高等院校的师生学习掌握当今移动通信先进技术的原理，跟踪其最新发展。

参加本书编写的还有王伟、马敏、石谊娜、刘真、段然、曹一脚、陈泽强、张蕾、何琳琳、宋扬、杨世敬、秦贤菊、田志刚、胡艳芬、段勇、晋云根、付景兴、郭金京。最后，向长期支持我们研究工作的国内外同行和朋友表示衷心的感谢！

鉴于时间仓促、作者水平有限，也鉴于目前移动通信技术发展过程中尚有许多技术问题有待研究和解决，因此书中难免有疏漏甚至不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
0.1 移动通信的发展史	1
0.2 移动通信的特点	2
0.2.1 移动性	2
0.2.2 恶劣的无线传播环境	2
0.2.3 多址接入	4
0.2.4 干扰受限	4
0.2.5 无线资源瓶颈	4
0.2.6 移动终端体积受限	4
0.2.7 个人化	4
0.3 移动通信系统的分类	5
0.3.1 网络功能	5
0.3.2 多址方式	6
0.3.3 双工技术	9
0.3.4 覆盖方式	9
0.4 数字移动通信系统中的关键技术	10
0.4.1 信道编译码	10
0.4.2 数字调制	11
0.4.3 多址接收机	11
0.4.4 多天线技术	12
0.4.5 OFDM	12
0.4.6 WLAN 和 Ad hoc 网络	12
参考文献	13
第1章 数学知识	14
1.1 概率论	14
1.1.1 样本空间与随机事件	14
1.1.2 概率的定义	14
1.1.3 概率的性质	14
1.1.4 古典概型(等可能概型)	15
1.1.5 条件概率	15
1.1.6 独立性	16
1.1.7 随机变量及其分布	16
1.1.8 多维随机变量	17

1.1.9 随机变量的数字特征	18
1.1.10 常用的概率分布	19
1.1.11 特征函数	22
1.1.12 中心极限定理与契比雪夫不等式	23
1.2 随机过程	24
1.2.1 随机过程的定义	24
1.2.2 随机过程的数字特征	25
1.2.3 平稳随机过程	26
1.2.4 平稳随机过程的相关函数与功率谱密度	26
1.2.5 常用的随机过程	27
1.3 矩阵分析	30
1.3.1 基本概念	30
1.3.2 矩阵的特征值	32
1.3.3 广义逆矩阵	34
1.3.4 矩阵的几种分解	35
1.3.5 Toeplitz 矩阵	37
1.3.6 矩阵的 Kronecker 积	37
参考文献	38
第 2 章 移动无线信道	39
2.1 引言	39
2.1.1 大尺度衰落	39
2.1.2 小尺度衰落	40
2.2 移动多径信道参数	45
2.2.1 时间色散参数 (频率选择性)	47
2.2.2 频率色散参数 (时间选择性)	48
2.2.3 角度色散参数 (空间选择性)	49
2.2.4 衰落信道的统计特性	51
2.3 移动衰落信道分类	53
2.3.1 平坦衰落信道和频率选择性衰落信道	53
2.3.2 快衰落信道和慢衰落信道	55
2.3.3 标量信道和矢量信道	55
2.4 标量信道仿真	57
2.4.1 Jakes 仿真器 (JM)	58
2.4.2 成形滤波器法	66
2.5 矢量信道建模	67
2.5.1 建立矢量信道模型的意义	67
2.5.2 矢量信道的统计特性	70
2.5.3 多输入多输出 (MIMO) 信道	76
参考文献	84

第3章 编码与调制技术	86
3.1 卷积码	86
3.1.1 卷积码的编码	86
3.1.2 卷积码的译码	90
3.2 Turbo 码	94
3.2.1 Turbo 码的编码	94
3.2.2 Turbo 码的译码	97
3.2.3 Turbo 码的交织器	104
3.2.4 Turbo 码的性能界分析	107
3.3 编码调制	110
3.3.1 网格编码调制	110
3.3.2 Turbo 码编码调制	117
3.4 LDPC (Low Density Parity Check) 码	119
3.4.1 线性分组码简介	119
3.4.2 LDPC 码简介	122
3.4.3 LDPC 的编码	124
3.4.4 解码	127
3.4.5 性能测度	131
3.5 混和相移键控 (Hybrid Phase Shift Keying) 及高阶调制技术	132
3.5.1 混和相移键控 (HPSK)	132
3.5.2 常用多进制调制技术	137
3.5.3 多进制调制的软判决和软信息抽取	141
3.5.4 自适应编码调制技术	143
3.6 混合自动请求重传 (HARQ)	144
3.6.1 差错控制技术简介及传统 ARQ	144
3.6.2 混合 ARQ (HARQ——Hybrid ARQ)	147
3.6.3 HARQ 的应用	151
参考文献	154
第4章 接收机技术	158
4.1 信道估计	158
4.2 扩频接收技术	158
4.2.1 扩频基本原理	158
4.2.2 RAKE 接收机	163
4.3 均衡	172
4.3.1 最大似然接收机 (MLSE Receiver)	172
4.3.2 线性均衡器	174
4.3.3 自适应均衡和盲均衡	179
4.4 多用户检测技术	180
4.4.1 联合检测	182

4.4.2 干扰消除.....	199
4.4.3 混合方式多用户检测.....	201
4.4.4 多用户检测与均衡.....	203
4.4.5 GSM 中的多用户检测——单天线干扰消除 (SAIC, Single Antenna Interference Cancellation)	204
参考文献.....	209
第 5 章 空时处理技术	214
5.1 分集.....	214
5.1.1 开环发射分集.....	215
5.1.2 闭环发射分集.....	219
5.2 智能天线.....	221
5.2.1 智能天线系统对容量的影响.....	221
5.2.2 智能天线基本概念介绍.....	222
5.2.3 自适应天线阵列的波束成形.....	228
5.2.4 波到达角估计算法.....	239
5.3 2D-RAKE 接收技术.....	244
5.4 空时编码 (Space-Time Coding)	246
5.4.1 空时编码系统模型与设计准则.....	246
5.4.2 空时分组码.....	253
5.4.3 空时格码.....	259
5.5 多输入多输出 (MIMO) 技术.....	266
5.5.1 MIMO 系统简介.....	266
5.5.2 MIMO 系统容量分析.....	267
5.5.3 MIMO 系统算法.....	275
5.5.4 相关信道条件下 V-BLAST 系统性能分析.....	279
5.5.5 MIMO 系统的信道估计.....	282
5.5.6 MIMO 系统速率控制的研究.....	286
参考文献.....	288
第 6 章 现代移动通信热点技术与系统	293
6.1 OFDM 技术.....	293
6.1.1 OFDM 系统简介.....	293
6.1.2 OFDM 系统模型.....	294
6.1.3 OFDM 系统的关键问题.....	299
6.2 WLAN & Bluetooth.....	307
6.2.1 无线局域网 (WLAN)	307
6.2.2 蓝牙 (Bluetooth) 技术.....	322
6.3 Ad hoc 网络.....	329
6.3.1 Ad hoc 网络的体系结构及其特点.....	330
6.3.2 Ad hoc 网络的研究难点.....	332

6.3.3 Ad hoc 网络在未来移动通信系统中的应用	334
参考文献	337
附录 缩略语词汇	340

绪 论

0.1 移动通信的发展史

任何人在任何时间、任何地点与任何人进行任何种类的信息交换，是全人类的一个共同梦想。移动通信正是实现这一梦想的重要手段。在 20 世纪，移动通信技术以其超乎寻常的发展速度不断改善着人们的生活质量。简要地回顾一下移动通信的过去和现状，有助于我们更好地把握它在 21 世纪的走向。

移动电话的使用可以追溯到 1921 年美国底特律警察局的无线电话，此后，发展到 1947 年纽约至波士顿的首次商业应用。1962 年贝尔实验室申请了蜂窝通信概念的专利，但到 20 世纪 70 年代末才研制出蜂窝移动通信系统，大规模商用的是 NMC-L1（1979 年于东京）、NMT450（1981 年于北欧）、AMPS（1983 年于美国）、TACS（1985 年于英国）和 NMT900（1986 年于北欧）等系统。也就是从 20 世纪 80 年代起才被认为是第一代移动通信的开始。第一代移动通信的特点是模拟信号频率调制 FM、频分双工（FDD）和频分多址 FDMA（频分多址），基于电路交换技术。由于各国在开发第一代移动通信系统时只考虑了本国当时可用的频率资源，彼此的频率并不协调，标准不统一。

在第一代移动通信投入商用后的几年，逐步展开了以提高频谱利用率为目标的第二代移动通信的研究。1982 年北欧的 Nordic 电信和荷兰邮电向欧洲邮电会议（CEPT）提议开发新的数字蜂窝移动通信标准以满足欧洲移动网的需要，CEPT 成立了移动通信特别研究组（GSM）开发泛欧公共陆地移动通信系统。1987 年，GSM 选定基于时分多址（TDMA）的无线传输技术（RTT）。随后几年欧洲电信标准组织（ETSI）以国际标准为目标完成了 GSM 900MHz 和 1800MHz（DCS）的规范，1992 年世界上第一个 GSM 网在芬兰投入运营。与此同时，1989 年日本开发出 PDC 系统，1991 年被确定为日本标准，该系统使用 TDMA 技术，工作在 800MHz 和 1.5GHz 之间，1994 年实现商用；美国 1991 年开发出 IS-54、IS-136（DAMPS）系统，也使用 TDMA 技术，它们被统称为第二代移动通信系统，其出现相距第一代移动通信系统整整 10 年。第二代移动通信系统多址方式为 TDMA，是多时隙共用一个载波的结果，使得它较 FDMA 频谱利用率提高数倍。

因特网的应用及业务的飞速拓展不可避免地影响着无线通信领域。诸如实时流媒体、在线互动游戏等业务正在大规模推广中。人们对这类业务的需求推动了无线数据传输技术的发展。第二代移动通信系统的目标是提供电路交换型语音和低速数据业务，为了满足人们对图像、话音、数据相结合的多媒体业务和高速率数据业务的需求，第三代移动通信系统的研发和建设自 20 世纪 80 年代起就成为通信领域的一大亮点。目前全球有代表性的第三代移动通信主流无线接口标准有 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA，它们都被国际电联（ITU）写入了第三代移动通信技术指导性文件。2004 年，全球第三代移动通信进入快速发展时期。在网络方面，截止到 2004 年 9 月底，全球共有 118 个 3G 网络（cdma2000 1x 和 cdma2000 1x EV-DO

分别计算)正式商用,包括 38 个 WCDMA 网络、67 个 cdma2000 1x 网络以及 13 个 cdma2000 1x EV-DO 网络。第三代移动通信系统无一例外地采用了 CDMA 技术,依托该项技术的优势(多种形式的分集、软切换、语音激活、频率再用、扇区化等),第三代移动通信系统能够提供高质量的多媒体业务,并具有足够的系统容量。

在 3G 系统还没有大规模投入商用的情况下,国内外移动通信领域的专家已经在进行第四代移动通信系统的研究和开发工作。20 世纪 90 年代早期,欧洲就开始第四代移动通信系统的研究,其目标速率是 100Mbit/s,预期在 2010 年左右投入商用。日本在 2000 年成立了一个特别委员会,领导日本的有关政府部门、大学研究机构和工业部门,从事第四代移动通信系统的研究工作和制定第四代移动通信的有关标准。ITU-R 的 WP8F 工作组也估计下一代移动通信系统将在 2010 年左右投入商业运营。第四代移动通信系统采用了很多先进技术(宽带接收机、智能天线、空时编码、高性能的功率放大器、先进的调制解调技术等),同 3G 等已有的数字移动通信系统相比,它将具有更高的数据率、更好的业务质量、更高的频谱利用率、更高的安全性、更高的智能性、更高的传输质量、更高的灵活性。

0.2 移动通信的特点

移动通信有别于固定网通信。其特点主要表现在以下几方面:移动性、恶劣的无线传播环境、干扰受限、多址接入、无线资源瓶颈、移动终端体积受限、个人化等方面,下面分别进行介绍。正是这些特点使得移动通信系统采用了大量的先进关键技术。

0.2.1 移动性

在移动通信系统中移动终端要求在移动的环境中得到服务,这样移动通信系统的信号要求尽可能地覆盖最大的区域。但是在空气中传输,不可避免地要损失一些无线信号能量,也就是说,一个发射机的覆盖面积是有限的。为了在尽可能大的面积实现移动通信,就必须在不同地点放置多个发射机和接收机。这种在固定位置与移动终端保持通信的发射机和接收机统称为基站。

另外,当移动终端在移动过程中,可能从一个基站的覆盖范围进入另一个基站的覆盖范围。为了不中断通信,移动终端需要与新的基站建立联系,这就是切换的概念。

0.2.2 恶劣的无线传播环境

移动通信的无线传播环境是影响蜂窝无线通信系统性能的一个基本因素。发射机与接收机之间的无线传播路径非常复杂,从简单的视距传播到各种复杂的具有各种各样障碍物的反射、绕射和散射路径,无线信道的传播特性具有极度的随机性;况且,移动台相对于发射台移动的方向和速度甚至收发双方附近的移动物体也对接收的信号有很大的影响。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。

蜂窝移动通信系统中,电磁波传播的机理是多种多样的,但总体上可归结为视距传播、反射传播、绕射传播和散射传播,图 0-2-1 表示了基本的视距传播和反射传播两种情况。

为了从部署蜂窝移动通信系统中获得效益,蜂窝移动通信系统主要的用户分布在人口稠密的城市和市郊区。由于建筑物的阻挡,蜂窝移动通信应用环境下的发射机和接收机之间一

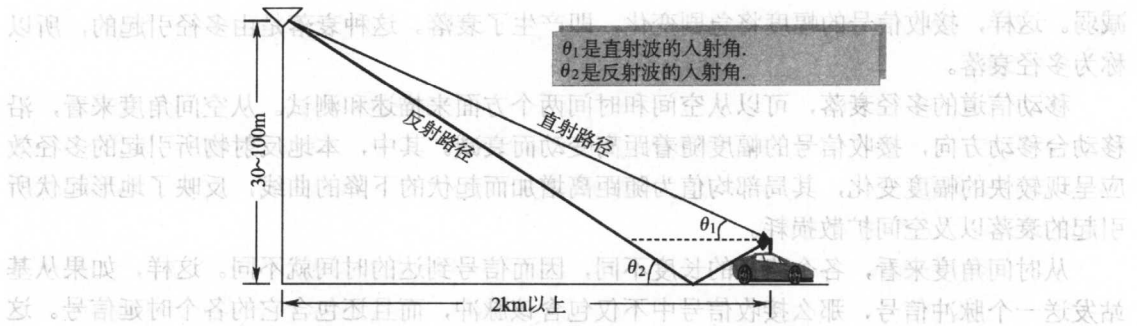


图 0-2-1 电磁波的直射和反射传播

般不存在直射路径，而高层建筑会产生强烈的绕射损耗。此外，由于不同物体的多路径反射，经过不同长度路径的电磁波相互作用引起多径损耗；同时，随着发射机和接收机之间距离的不断增加会引起电磁波强度的衰减。通常，无线信道的传播模型可分为大尺度（Large-Scale）传播模型和小尺度（Small-Scale）传播模型两种。大尺度模型主要用于描述发射机与接收机（T-R）之间长距离（几百或几千米）上的信号强度变化。小尺度模型用于描述短距离（几个波长）或短时间（毫秒级）内接收信号强度的快速变化。但两种模型并不是相互独立的，在同一个无线信道中，既存在大尺度衰减，也存在小尺度衰落。一般而言，大尺度表征了接收信号在一定时间内的均值随传播距离和环境的变化而呈现的缓慢变化，小尺度表征了接收信号短时间内的快速波动。实际的无线信道衰落因子可表示为

$$\eta(t) = \xi(t) \cdot \zeta(t)$$

式中， $\eta(t)$ 表示信道的衰落因子； $\xi(t)$ 表示小尺度衰落； $\zeta(t)$ 表示大尺度衰落，如图 0-2-2 所示。

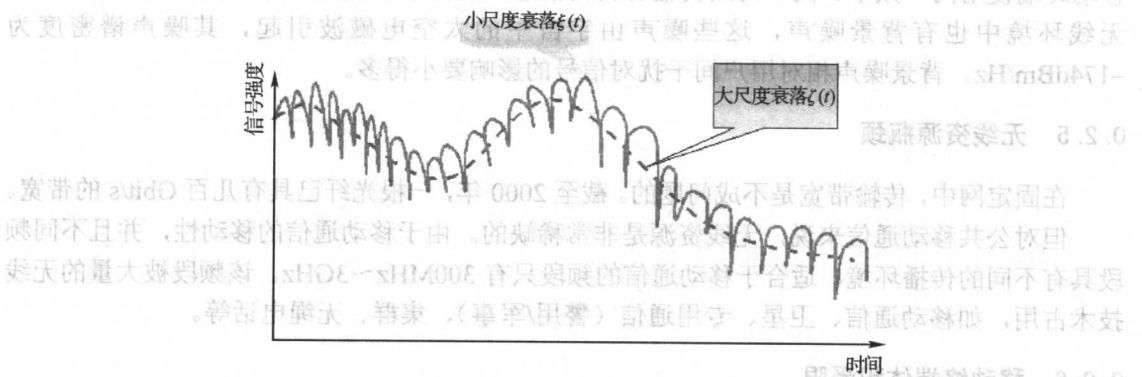


图 0-2-2 无线信道衰落举例

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。

在移动传播环境中，到达移动台天线的信号不是来自单一路径，而是许多路径的众多入射波的合成。由于电波通过各个路径的距离不同，因而来自各路径的入射波到达时间不同，相位也就不同。不同相位的多个信号在接收端叠加，有时同相迭加而加强，有时反相迭加而

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。

移动信道的多径衰落，可以从空间和时间两个方面来描述和测试。从空间角度来看，沿移动台移动方向，接收信号的幅度随着距离变动而衰减。其中，本地反射物所引起的多径效应呈现较快的幅度变化，其局部均值为随距离增加而起伏的下降的曲线，反映了地形起伏所引起的衰落以及空间扩散损耗。

从时间角度来看，各个路径的长度不同，因而信号到达的时间就不同。这样，如果从基站发送一个脉冲信号，那么接收信号中不仅包含该脉冲，而且还包含它的各个时延信号。这种由于多径效应引起的接收信号中脉冲的宽度扩展的现象，称为时延扩展。

0.2.3 多址接入

蜂窝系统向用户提供服务的资源包括空间、时间、频率和编码方式等。一般而言，不同的系统可以使用不同的通信资源（可以看成抽象的信道）来区分通信对象，一个这样的抽象信道只容纳一个用户进行通信；而许多同时通信的用户，互相以不同的抽象信道的形式来区分，这就是多址的概念。蜂窝移动通信系统是一个有多个抽象信道同时工作的系统，同时在下行方向具有广播的特点和大面积覆盖的特点。在利用无线通信环境的电波覆盖区内，如何建立用户之间的无线信道的连接，是多址接入方式要解决的问题。解决多址接入问题的方法叫多址接入技术。

0.2.4 干扰受限

在移动通信中多个用户使用同一频段，用户间干扰非常严重。特别在 CDMA 系统中，各移动终端使用同一频率、同一时间传输各自的信息，这样带来的用户间干扰尤其严重。当然无线环境中也有背景噪声，这些噪声由宇宙中的太空电磁波引起，其噪声谱密度为 -174dBm/Hz 。背景噪声相对用户间干扰对信号的影响要小得多。

0.2.5 无线资源瓶颈

在固定网中，传输带宽是不成问题的。截至 2000 年，一根光纤已具有几百 Gbit/s 的带宽。

但对公共移动通信来说，无线资源是非常稀缺的。由于移动通信的移动性，并且不同频段具有不同的传播环境，适合于移动通信的频段只有 $300\text{MHz}\sim 3\text{GHz}$ 。该频段被大量的无线技术占用，如移动通信、卫星、专用通信（警用/军事）、集群、无绳电话等。

0.2.6 移动终端体积受限

移动终端体积受限使移动终端的电池容量受限，这样要求移动通信系统在设计时要尽可能地降低移动终端的发射功率。另外，移动终端体积限制了放大器体积，这样限制了移动终端的最大发射功率，因此一个基站的覆盖范围也是有限的。

0.2.7 个人化

个人化有两层含义。第一层意思是，一个人或移动终端可以通过一个惟一的识别码在网络上得到电信业务。第二层是，每个惟一的识别码对应一个使用者的业务档案。业务档案包

含该使用者定制的电信业务和业务质量 (QoS)。

本书后续的几章将围绕上述移动通信的特点来具体介绍其主要的关键技术。

0.3 移动通信系统的分类

移动通信系统有各种各样的分类,大概可以从以下几个角度来分。

0.3.1 网络功能

依据网络所承载的功能,移动通信系统可以分为无线寻呼系统、蜂窝移动通信系统、无绳电话系统、集群移动通信系统、移动卫星通信系统等。

1. 无线寻呼系统

无线寻呼系统是移动通信的一个分支,是一种单向、大区制的通信系统。主呼用户(固定电话或移动电话)通过公用电话网连接寻呼中心,再由寻呼中心将信息传送给被叫用户。无线寻呼系统由于采用广播方式,基站采取大区制,因此设备简单、投资少、见效快、使用方便,发展极为迅速。20 世纪 90 年代,中国在短短的几年中就发展成为全球最大的无线寻呼网络。目前,无线寻呼系统市场趋于萎缩,逐渐被其他系统所代替。

2. 无绳电话系统

初期的无绳电话十分简单,只是把一个电话单机分成一个座机和一个手机,二者之间用无线电(一般用调频)连接,传输模拟话音。现在,这样的无绳电话还很常见。但实际上,无绳电话已经逐步向网络化和数字化方向发展,从市内向室外发展,从专用系统向公用系统发展,形成了多种依托于公共交换电话网(PSTN)的网络结构,成为独立的移动通信系统。在公用无绳电话系统中最有名的有 CT-2 系统和 DECT(数字欧洲无绳通信)系统。

3. 集群通信系统

集群移动通信系统一般作为调度系统的专用通信网。最初的集群系统由若干个使用同一频率的移动台组成,其中一个充当调度台,用广播方式向其他移动台发送消息,完成指挥或调度。这种系统通常是单向通信的、模拟的。随着技术的发展,现在的集群移动通信系统已经解决了早期简单调度系统存在的频率资源混乱、选址方式单一和功能有限的缺陷,采用频率共用技术,把各个部门分散建立的专用通信网集中起来,统一建网和管理,动态利用有限的频道,以容纳更多的用户;同时,通过改进频道共用方式,使用户在通信过程中不固定占用某个频道,而是仅在按下“对讲开关”时才占用一个频道,松开开关时将频道释放,允许其他用户使用此频道。

4. 移动卫星通信系统

卫星通信是利用通信卫星作中继站的通信。卫星通信的特点是:通信距离远,费用和通信距离无关;覆盖面积大、不受地理限制;通信频带宽、传输容量大,适于多种传输业务;可进行多址通信;通信线路稳定可靠;通信质量高;可为固定终端提供通信,又可为车载、船载、机载移动终端以及个人终端提供通信。利用卫星进行移动通信始于 1976 年美国 COMSAT 公司开发的海事卫星(MARSAT)通信系统,目的是为船舶与陆地用户间提供区域性移动通信服务;后由国际海事组织(IMO)倡导成立国际海事卫星组织(INMARSAT)于 1982 年开始提供全球海上移动通信业务,经过十几年的发展,INMARSAT 已发展成为提供海上、

陆地和空中全方位移动卫星通信服务的全球性通信组织。在 20 世纪 90 年代初,以美国 Motorola 公司为代表,提出了全球移动卫星通信系统,即卫星“大哥大”。到目前已有二十多个系统,其中主要有 Inmarsat 推出的 ICO(中圆轨道)系统、美国 Loral/QUALCOMM 公司推出的 Globestar(全球星)系统和美国 Motorola 公司的 Iridium(铱)系统。

5. 蜂窝移动通信系统

蜂窝移动通信系统的通信网络结构呈蜂窝状,这种系统主要由移动台、基站和移动交换中心组成。整个覆盖区被划分为许多六边形的小区,每个小区有一个基站和若干移动台。这些基站连接至移动交换中心,然后通过有线与市话局或长途局相连。基站能与小区内所有移动台通信,并负责小区内移动台之间的频率分配和管理以及处理移动台进出相邻小区的越区切换,还负责小区内移动台与其他小区用户以及市话用户、长话用户通信的转接。这种蜂窝状网络结构有以下优点:应用灵活,可根据需要向外扩展覆盖区,发射功率小,频率可重复使用,系统容量大。

0.3.2 多址方式

从移动通信网的构成可以看出,移动通信系统都有若干个基站和大量的移动台。基站要和许多移动台同时通信,因而基站通常是多路的,有多个信道;而每个移动台只供一个用户使用,是单路的。许多用户同时通话,需要以不同的通信资源相互分隔,防止相互干扰。同时,各用户信号通过在射频波道上的复用,从而建立各自的通信信道,以实现双工通信的连接,称多址接入。多址接入方式是移动通信网体制范畴,关系到系统容量、小区构成、频谱和信道利用效率以及系统复杂性。

当以传输信号的载波频率不同来区分信道建立多址接入时,称为频分多址方式(FDMA);当以传输信号存在的时间不同来区分信道建立多址接入时,称为时分多址方式(TDMA);当以传输信号的码型不同来区分信道建立多址接入时,称为码分多址方式(CDMA);当以传输信号存在的空间不同来区分信道建立多址接入时,称为空分多址方式(SDMA)。在实际应用中,上述几种多址方式可以结合使用,比如 GSM 系统就结合了 FDMA 和 TDMA 技术,同时它也利用了空分复用(SDM)技术,也就是说,空间上相隔足够远的小区,即使工作频率相同,同一时刻的发射信号同样可以避免互相干扰,这也是移动系统的一个基本的出发点。此外,天线的扇区化,也是空分复用的一个很好的体现,广泛应用于移动通信系统中。CDMA 技术和频分复用(FDM)、时分复用(TDM)技术共同使用,可以达到更好的技术效果。以下详细介绍这四种多址方式。

1. 频分多址(FDMA)系统

(1) FDMA 系统原理

频分多址为每一个用户指定了特定频率信道,这些信道按照要求分配给请求服务的用户。在呼叫的整个过程中,其他用户不能共享这一信道。

(2) FDMA 系统特点

- 每信道占用一个载频,相邻载频之间的间隔应满足传输信号带宽的要求。为了在有限的频谱中增加信道数量,系统均希望间隔越窄越好。每个信道的每一载波仅支持一个电路连接,也就是说 FDMA 通常在窄带系统中实现。

- 符号时间与平均时延扩展相比较是很大的。在 FDMA 方式中,每信道只传送一路数

字信号, 信号速率低, 一般在 25 kbit/s 以下, 远低于多径时延扩展所限定的 100 kbit/s , 所以在数字信号传输中, 由码间干扰引起的误码极小, 在窄带 FDMA 系统中无需自适应均衡。

- 基站复杂庞大, 重复设置收发信设备。基站有多少信道, 就需要多少部收发信机, 同时需用天线共用器。功率损耗大、易产生信道间的互调干扰。

- 越区切换较为复杂和困难。因为在 FDMA 系统中, 分配语音信道后, 基站和移动台都是连续传输的, 所以在越区切换时, 必须瞬时中断传输数十至数百毫秒, 以把通信从一频率切换到另一频率。对于话音, 瞬时中断问题不大, 对于数据传输则将带来数据的丢失。

2. 时分多址 (TDMA) 系统

(1) TDMA 系统原理

时分多址是在一个宽带的无线载波上, 把时间分成周期性的帧, 每一帧再分割成若干个时隙 (无论帧或者时隙都是不重叠的), 各帧的相应时隙就是一个通信信道, 分配给一个用户。

(2) TDMA 系统特点

- 突发传输的速率高, 远大于语音编码速率, 每路编码速率设为 $R\text{ bit/s}$, 共 N 个时隙, 则在这个载波上传输的速率将大于 $NR\text{ bit/s}$ 。这是因为 TDMA 系统中需要较高的同步开销。同步技术是 TDMA 系统正常工作的重要保证。

- 发射信号速率随 N 的增大而提高, 如果达到 100 kbit/s 以上, 码间串扰就将加大, 必须采用自适应均衡, 用以补偿传输失真。

- TDMA 用不同的时隙来发射和接收, 因此不需双工器。即使使用 FDD 技术, 在用户单元内部的切换器, 就能满足 TDMA 在接收机和发射机间的切换, 而不必使用双工器。

- 基站复杂性减小。 N 个时分信道共用一个载波, 占据相同带宽, 只需一部收发信机。互调干扰小。

- 抗干扰能力强, 频率利用率高, 系统容量大。

- 越区切换简单。由于在 TDMA 中移动台是不连续地突发式传输, 所以切换处理对一个用户单元来说是很简单的, 因为它可以利用空闲时隙监测其他基站, 这样越区切换可在无信息传输时进行。因而没有必要中断信息的传输, 即使传输数据也不会因越区切换而丢失。

3. 码分多址 (CDMA) 系统

(1) CDMA 系统原理

码分多址系统是为每个用户分配各自特定的地址码, 利用公共信道来传输信息。CDMA 的地址码具有准正交性, 以区别地址, 而在频率、时间和空间上都可能重叠。

(2) CDMA 系统特点

- CDMA 系统的许多用户共享同一频率。不管下行 (从基站到移动台) 与上行 (从移动台到基站) 之间使用的是时分双工 (TDD, Time Division Duplex) 还是频分双工 (FDD, Frequency Division Duplex) 技术。

- 通信容量大。理论上讲, 信道容量完全由信道特性决定, 但实际的系统很难达到理想的情况, 因而不同的多址方式可能有不同的通信容量。CDMA 是干扰限制性系统, 任何干扰的减少都直接转化为系统容量的提高。因此一些能降低干扰功率的技术, 如话音激活 (Voice Activity) 技术等, 可以自然地用于提高系统容量。

- 容量的软特性。TDMA 系统中同时可接入的用户数是固定的, 无法再多接入任何一个用户, 而直接序列扩频的码分多址 (DS-CDMA) 系统中, 多增加一个用户只会使通信质量

略有下降,不会出现硬阻塞现象。

- 由于信号被扩展在一个较宽的频谱上从而可以减小多径衰落。如果频谱带宽比信道的相关带宽大,那么固有的频率分集将减少小尺度衰落的作用。

- 在 CDMA 系统中,信道数据速率很高,因此码片(chip)时长很短,通常比信道的时延扩展小得多。因为 PN 序列有很低的自相关性,所以大于一个码片宽度的时延扩展部分,可受到接收机的自然抑制。另一方面,如采用分集接收最大比合并技术,可获得最佳的抗多径衰落效果。而在 TDMA 系统中,为克服多径造成的码间干扰,需要用复杂的自适应均衡技术,均衡器的使用增加了接收机的复杂度,同时影响到越区切换的平滑性。

- 平滑的软切换和有效的宏分集。DS-CDMA 系统中所有小区使用相同的频率,这不仅简化了频率规划,也使越区切换得以完成。每当移动台处于小区边缘时,同时有两个或两个以上的基站向该移动台发送相同的信号,移动台的分集接收机能同时接收合并这些信号,此时处于宏分集状态。当某一基站的信号强于当前基站信号且稳定后,移动台才切换到该基站的控制上去。这种切换可以在通信的过程中平滑完成,称为软切换。

- 低信号功率谱密度。在 DS-CDMA 系统中,信号功率被扩展到比自身频带宽度宽百倍以上频带范围内,因而其功率谱密度大大降低。由此可得到两方面的好处,1) 具有较强的抗窄带干扰能力;2) 对窄带系统的干扰很小,有可能与其他系统共用频段,使有限的频谱资源得到更充分的使用。

4. 空分多址(SDMA)系统

(1) SDMA 系统原理

空分多址(SDMA)在相同时隙、相同频率或相同地址码的情况下,仍然可以根据信号不同的中间传播路径而区分。SDMA 是一种信道增容方式,与其他多址方式完全兼容,从而实现组合的多址方式,例如空分一码分多址(SD-CDMA)。

(2) SDMA 系统特点

- 减少时延扩展和多径衰落。时延扩展是由多径传播引起的,使用 SDMA 后,通过在期望信号方向上形成定向波束,其他方向置零来消除其他时延到达的信号。实验结果表明,在 TDMA 系统中使用 6 元阵,在多达 30 余条多径的环境中取得了令人满意的性能。

- 降低共道干扰。SDMA 技术具有空间滤波器的作用,在基站的发射模式中,对期望的用户形成定向波束发射信号,在其他方向上造成的干扰就比较小,使用多波束覆盖小区的分析表明,共道干扰随着波束的增加而下降。

- 提高频谱利用率。提高频谱利用率是指给定系统用给定频谱可以处理的业务量,提高信道容量就可以增加信道内的用户。研究表明,使用 SDMA 技术可以提高系统容量。首先,由于降低共道干扰和多径衰落,提高了服务质量。因此可以在保持系统服务质量不变的情况下提高信道容量。其次,可以在不增加频谱资源的情况下形成多个波束以提供额外的信道,同样提高了系统容量。

- 降低中断概率。中断概率是指在接收数据时,由于误码率的增高而导致信道不能正常工作的概率。在基站上使用自适应天线后,增加了可使用的波束数目,降低了中断概率。对蜂窝系统中中断概率的研究分析表明,在包含 1 个共道小区和 6 个共道小区的不同情况下,使用自适应天线后,存在 6 个共道小区时对中断概率的改善仅比只存在 1 个共道小区时略差一点。