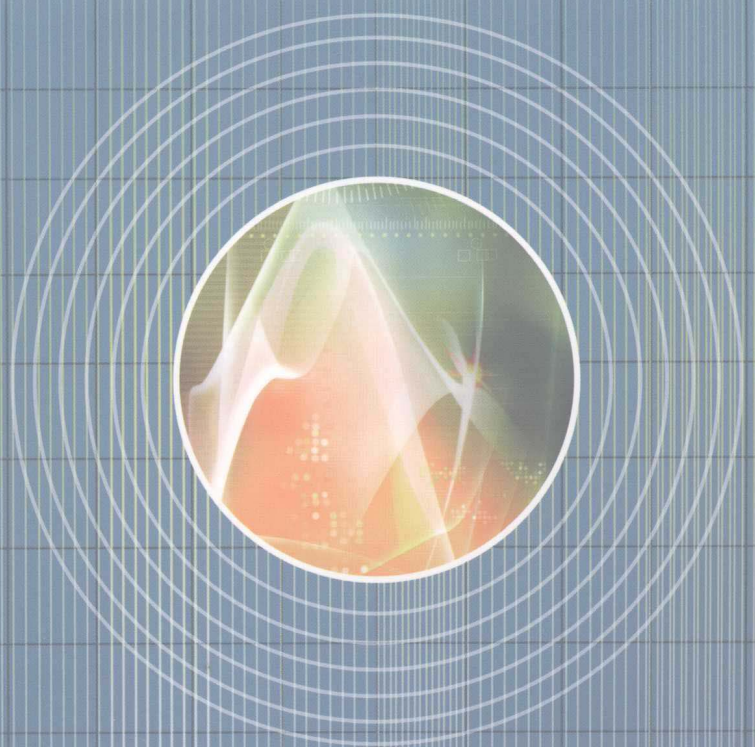
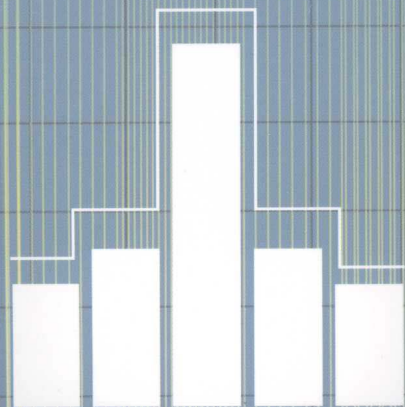


无线通信测试工程师
实用技术丛书

无线射频 基础

尹纪新 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线通信测试工程师实用技术丛书

无线射频基础

尹纪新 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

无线射频基础 / 尹纪新编著. —北京: 人民邮电出版社,
2008.10
(无线通信测试工程师实用技术丛书)
ISBN 978-7-115-18683-6

I. 无… II. 尹… III. 无线电信号—射频—信号识别
IV. TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 125599 号

内 容 提 要

本书是“无线通信测试工程师实用技术丛书”中的一本基础书籍,介绍了与无线通信测试相关的射频基础知识。全书共分 8 章:第 1 章介绍了无线通信系统与多址技术中的相关知识,第 2 章介绍了一些与射频相关的基本电参数,第 3 章与第 4 章分别介绍了无线射频通信电路中常用的无源与有源元器件,第 5 章介绍了射频通信电路中的放大器与混频器,第 6 章介绍了射频通信电路中的 VCO 电路与频率合成系统,第 7 章介绍了射频通信电路中的调制与解调单元,第 8 章介绍了无线通信设备的收发系统。

本书语言通俗,内容深入浅出,有较强的知识性和应用性,可供从事无线通信测量、设备维修等技术人员学习与参考,也可作为通信、电子类各专业的教学参考书,以及无线通信初学者了解射频知识的参考书。

无线通信测试工程师实用技术丛书

无线射频基础

-
- ◆ 编 著 尹纪新
责任编辑 梁 凝
 - ◆ 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>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 10.25
字数: 243 千字 2008 年 10 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2008 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18683-6/TN

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67120142 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

对于任何电子设备来说，测试是研发、生产、维护等工作结果验证的重要手段，也是保证产品质量的重要手段，因此，任何电子产品设备都离不开测试，测试工作总是先于产品的生产。无线通信设备作为专用的电子产品设备，也依然要遵循这一规律。

无线通信测试所涉及的范围很广，如 GSM 测试、CDMA 测试、WCDMA 测试、TD-SCDMA 测试、蓝牙测试，等等。无线通信测试不仅要解决相关的理论验证问题，还要解决如测试规范的制定、测试设备的研发与生产，产品的研发、生产测试，产品的各种认证测试等一系列的问题。

随着对质量的进一步要求，在产品研发阶段对测试工作的投入比例也进一步加大。在许多知名的国际企业中，硬件测试人员的数量要远大于开发人员。但目前市场上关于无线通信测试的相关资料还很少，而且无线通信测试用的一些测试设备都非常昂贵，不论是走出学校的学生，还是已经迈入社会的各类技术人员，要想全面系统地学习无线通信测试技术是有很大的难度的。鉴于以上原因，我们通过长时间的准备，收集整理了大量的相关资料，决定组织编写一套与无线通信测试技术相关的技术丛书。

该丛书的一个重要特点就是面向实际应用，从测试实践出发对知识点予以描述。在该丛书的编写过程中，力求从“技术”与“技巧”层面来描述无线通信测试技术各方面的相关知识点，该丛书中对有关理论的讨论大部分不依赖于繁杂的数学推导，尽量做到内容深入浅出，语言简明扼要，通俗易懂。

该丛书适用于手机生产企业和手机代工厂的生产测试技术人员，适用于社会上的相关从业人员（包括手机维修人员）与电子爱好者，以及从事电子和通信领域测试工作的人员，同时也可作为电子、通信、电气等相关专业的高职（或中职）教材或教学参考书。

《无线射频基础》是“无线通信测试工程师实用技术”丛书中的一本基础书，以介绍射频基础、射频硬件与无线射频系统为主。本书主要适合于那些对射频知识没有什么基础，但又需要或者很想了解的初学者（包括射频领域的一些非技术人员）阅读学习。对于射频及无线测试相关专业的学生来说，本书也是一本难得的参考书。

在撰写本书前言之时，“无线通信测试工程师实用技术”丛书中的另几本——《移动终端射频电路》、《GSM 测试技术基础》、《频谱分析仪与测量技术基础》也已经完成了编写工作，并将陆续出版。

我们衷心希望本书能满足读者的需求。但由于各方面条件和作者水平所限，书中难免会出现一些不妥，甚至错误之处，敬请读者予以批评指正。有任何建议或意见，请用电子邮件联系我们，E-mail: telesky@tom.com。

目 录

第 1 章 无线通信概述	1	3.1.2 电容	28
1.1 无线通信系统简介	1	3.1.3 电感	30
1.2 电磁频谱	3	3.2 滤波器	33
1.3 无线通信的分类	5	3.2.1 滤波器的功能	33
1.3.1 无线通信的工作方式	5	3.2.2 滤波器的种类	34
1.3.2 移动通信的制式	6	3.2.3 特殊滤波器	38
1.3.3 模拟通信与数字通信	8	3.3 功分器与耦合器	41
1.4 多址技术	9	3.3.1 功分器	41
1.4.1 频分多址 (FDMA)	9	3.3.2 耦合器	41
1.4.2 时分多址 (TDMA)	10	3.4 隔离器与环形器	43
1.4.3 码分多址 (CDMA)	11	3.5 衰减器	44
1.5 频率复用	12	3.6 连接器与开关	45
1.6 第三代移动通信简介	12	3.6.1 连接器与适配器	45
1.6.1 WCDMA 简介	13	3.6.2 射频开关	46
1.6.2 TD-SCDMA	14	3.7 天线	48
第 2 章 RF 基本电参数	15	3.8 微带线与传输线	49
2.1 射频信号的基本参数	15	3.8.1 微带线	49
2.1.1 信号的频率	15	3.8.2 带状线	50
2.1.2 信号的幅度	16	3.8.3 传输线	51
2.1.3 信号的相位	17	第 4 章 RF 有源器件	52
2.2 连续波射频与脉冲射频	17	4.1 二极管	52
2.3 信号的频谱	18	4.1.1 半导体与 PN 结	52
2.4 信号的功率及强度	20	4.1.2 二极管及其单向导电性	53
2.4.1 分贝	20	4.2 射频二极管	54
2.4.2 绝对分贝值	21	4.2.1 肖特基二极管	54
2.5 损耗及增益	22	4.2.2 变容二极管	56
2.5.1 有源元件与无源元件	22	4.2.3 PIN 二极管	58
2.5.2 损耗与增益	22	4.2.4 其他射频二极管	60
2.6 带宽	24	4.2.5 手机中的二极管	60
2.7 阻抗与阻抗匹配	25	4.3 三极管	61
2.7.1 阻抗	25	4.3.1 三极管的一般知识	61
2.7.2 阻抗匹配	26	4.3.2 手机中的三极管电路	62
第 3 章 RF 无源器件	27	4.3.3 手机中的三极管器件	63
3.1 无源元件	27	4.3.4 复合的三极管器件	64
3.1.1 电阻	27	4.4 射频场效应管	65

4.4.1 场效应管的类型	65	6.1.3 晶体振荡器	91
4.4.2 结型场效应管	66	6.1.4 其他振荡器	92
4.4.3 绝缘栅型场效应管	66	6.2 压控振荡器	93
4.4.4 高速电子迁移率晶体管	67	6.2.1 概述	93
第5章 放大器与混频器	68	6.2.2 VCO的工作条件	94
5.1 放大器简介	68	6.2.3 VCO的端口	94
5.1.1 放大电路的实质	68	6.3 频率合成系统	94
5.1.2 放大器的基本特性	68	6.3.1 参考振荡	95
5.1.3 放大器的工作条件	70	6.3.2 锁相环	97
5.1.4 放大电路中的信号	71	6.3.3 频率合成综述	99
5.2 低噪声放大器	71	6.4 射频VCO	100
5.2.1 基本电路	71	6.4.1 电路作用	100
5.2.2 电路作用	72	6.4.2 VCO组件	100
5.2.3 电路信号	72	6.4.3 射频VCO信号	101
5.3 中频放大器	73	6.5 中频VCO与发射VCO	102
5.3.1 电路组成	74	6.5.1 中频VCO	102
5.3.2 中频放大电路的信号	74	6.5.2 发射VCO	103
5.4 缓冲放大器与驱动放大器	75	第7章 调制与解调	106
5.4.1 缓冲放大器	75	7.1 幅度调制与解调	106
5.4.2 驱动放大器	76	7.1.1 幅度调制	106
5.5 功率放大器	77	7.1.2 幅度调制电路	109
5.5.1 功率放大器	77	7.1.3 幅度解调	110
5.5.2 功率放大器模组	78	7.2 频率调制与解调	111
5.5.3 PA的几个重要指标	79	7.2.1 频率调制	111
5.5.4 功率控制	81	7.2.2 频率调制电路	113
5.6 混频器简介	83	7.2.3 频率解调	115
5.6.1 混频的实质	83	7.3 数字调制与解调	116
5.6.2 混频器电路	83	7.3.1 移幅键控	117
5.7 接收混频	84	7.3.2 移频键控	118
5.7.1 混频电路	84	7.3.3 移相键控	119
5.7.2 正交混频	87	7.4 数字手机中的调制	120
5.7.3 中频滤波器	87	7.4.1 数字手机中的调制	120
5.7.4 混频电路中的信号	88	7.4.2 GMSK调制	121
5.8 发射混频	88	7.4.3 数字手机的TXI/Q调制	122
5.8.1 发射混频的概念	88	7.4.4 RXI/Q解调电路	125
5.8.2 电路组成	88	第8章 收发系统结构	129
第6章 压控振荡器与频率合成系统	90	8.1 无线接收机电路结构	129
6.1 正弦波振荡器	90	8.1.1 超外差一次变频接收机	130
6.1.1 概述	90	8.1.2 超外差二次变频接收机	131
6.1.2 LC、RC振荡器	91	8.1.3 直接变换的线性接收机	132

8.1.4 低中频接收机	133	8.3.6 直接变换与偏移锁相环 的收发信机	142
8.2 发射机电路结构	134	8.4 CDMA 手机射频系统	145
8.2.1 带偏移锁相环的发射机	134	8.4.1 一次变频与上变频的收 发信机	145
8.2.2 带发射上变频器的发射机	136	8.4.2 直接变换与直接调制的 收发信机	146
8.2.3 直接变换的发射机	136	8.4.3 双模手机的射频系统	148
8.3 GSM 手机射频系统	137	8.5 WCDMA 手机射频系统	148
8.3.1 一次变频与偏移锁相环 的收发信机	137	8.5.1 一次变频与上变频收发 信机	151
8.3.2 二次变频与偏移锁相环 的收发信机	139	8.5.2 直接变换与直接调制的 收发信机	153
8.3.3 低中频与偏移锁相环的 收发信机	140	8.5.3 直接变换与上变频的收 发信机	154
8.3.4 二次变频与上变频的收 发信机	142	8.6 TD-SCDMA 手机射频系统	154
8.3.5 直接变换与直接调制的 收发信机	142		

第 1 章 无线通信概述

1887 年，德国物理学家赫兹通过实验，证明了电磁波现象，为无线电的发明奠定了一定的基础，科学界把电磁波叫作“赫兹电波”。

“赫兹电波”的研究也吸引了马可尼。1901 年 12 月，马可尼的无线电通信试验取得了决定性的成功——他成功地实现了从英国的康沃尔到加拿大的纽芬兰长达 3 540km 的无线电跨洋通信。可以认为从那时起无线电技术进入实用阶段。

无线电技术在人类传递信息和接收信息方面起着越来越重要的作用。无线电技术是现代信息产业的重要基础，它以通信原理、电路与系统、信号与信息处理、电磁场与微波等理论为基础，研究各种信息如语音、文字、图像、雷达信号等的采集、存储、处理、交换，以及无线电传输方面的基本原理和方法。

本章简单地描述与无线通信相关的一些知识，这将有助于读者进一步学习。本章将不涉及任何数学公式的推导。

1.1 无线通信系统简介

利用某种信号传送文字、图像等信息称为通信，其作用在于将信息从发送方传送至接收方。一般来说通信系统主要包含三个部分：发射机、接收机、连接部分。

这种连接可以有有线连接，如使用同轴电缆、光纤等，也可以是无线连接，如使用无线电传输。

现代通信系统利用很宽的频率范围和各式各样的无线通信终端设备来满足用户的需求：对讲机之间可以进行点对点的连接，无绳电话可以实现小范围移动通信，手机与卫星电话则使人们能在全球任何地方实现（无线）通信。以上所述的设备如图 1-1~图 1-4 所示，它们都是现代生活中典型的无线通信终端设备。



图 1-1 对讲机



图 1-2 无绳电话



图 1-3 移动电话



图 1-4 卫星电话

任何通信系统至少包含两个端点。

一个端点是信息发送端。在信息发送端，将源信号（例如声音从键盘输入的字符等）转换为与系统其余部分兼容的形式，然后由发射机将信号转换为适合传输的信号，经通信路径或链路（电线、大气或光纤等）发送出去。

另一个端点是信息接收端。在接收端，发送端输出的信号被还原为源信号最初的形式。

在无线通信系统中，信息的发送是通过发射机（TX）完成的，信息的接收是通过接收机（RX）完成的。比如我们熟知的电视信号传输系统中电视机是电视信号接收机，电视台使用电视信号发射机发射电视信号。电视信号发射机与电视信号接收机即为电视信号传输系统的两个端点，如图 1-5 所示。



图 1-5 电视信号传输示意图一

电视信号传输系统如图 1-6 所示。图中所示系统是一个单向的信号传输系统。在这个系统中，信息发送端只有发射机，信息接收端只有接收机。



图 1-6 电视信号传输示意图二

移动通信系统（比如我们所熟悉的移动电话通信系统）比图 1-6 所示的系统复杂，可用图 1-7 简单描绘。在这一类通信系统中，单个的通信设备中既包含接收机，又包含发射机——也可以说它既是信息发送者，又是信息接收者。它的接收机总是接收处理对方发射机发送出的信号。

通常，将既包含接收机又包含发射机的设备称为收发信机（transceiver）。其中的发射机和接收机都是射频系统。图 1-7 中虚线框中的接收机与发射机的组合就可用图 1-8 所示的方框图进行表示，图中包含了典型的发射与接收射频系统。

在图 1-8 中，“BB”表示基带信号。在移动通信系统中，不论是使用数字技术还是模拟技术的射频系统，基带信号都是模拟信号。但是，在使用模拟技术的收发信机中，它通常是话音信号，在使用数字技术的收发信机中，它是包含数字信息的低频模拟信号（基带信号也

称 I/Q 信号)。

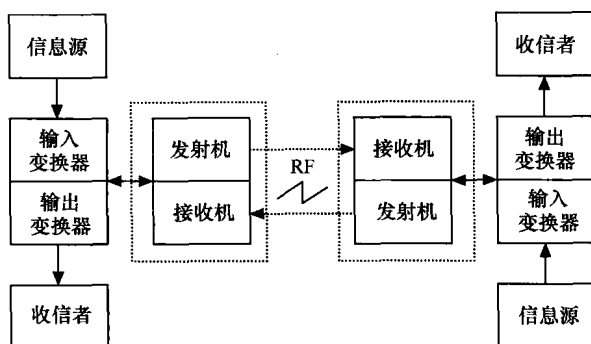


图 1-7 包含收发信机的通信系统示意图

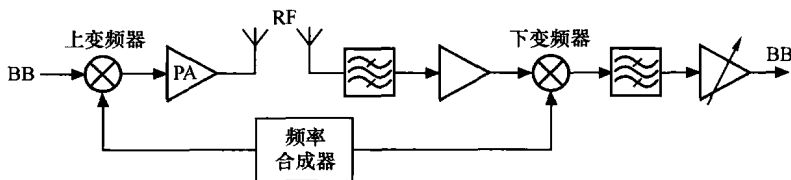


图 1-8 收发信机示意图

在图 1-8 中的上变频器属于发射机射频系统，用以产生最终发射信号（已调制的射频信号）。图中的“PA”则是发射机中的功率放大电路，用来放大已调制的发射射频信号，以使信号有足够的功率经天线辐射出去。

在图 1-8 中的下变频器属于接收机射频系统，用来提取对方发射机输出的射频信号中的信息。图中的频率合成器用于产生接收、发射系统的本机振荡信号。

1.2 电磁频谱

无线通信是利用电磁波来传输信息的。电磁场产生的波在空间以不同的频率传播，这些频率的集合统称为电磁频谱。能够传递信息的电磁波的频率和波长的范围极其宽，占据了电磁频谱的很大一部分。

最低的频率用在一些比较特殊的通信系统中（如和潜水艇进行通信）。因为这些频率低、波长长的电磁波可以穿透海水。随着频率的增加，不同频率的无线电信号用于调幅广播、导航、双向无线电通信、调频广播、电视、移动电话、无线网络、卫星通信与其他许多方面。

电磁波频谱分为几个部分，或者叫做波段。

我们将 30~300kHz 频率范围的信号称为长波。长波可以通过天波和地波的方式传播，以地波传播方式为主。因地波传播频率愈高，大地的吸收愈大，故在无线电的早期是向低频率的方向发展。天波是靠电磁波在地面和电离层之间来回反射而传播的。长波段的信号传播距离长、稳定，适用于远距离、水下与地下通信。在海水上应用数千瓦的功率可以实现 3 000km 的通信，所以目前还有很多海岸电台使用长波通信。根据国际规定，30~300kHz 主要用于无线电导航（航空和航海）、定点通信、海上移动通信。

我们将 300~3 000kHz 频段的信号称为中波。在中波频段的电磁波主要以地波的方式传播。这一频段的低端信号比高端信号传播得更好。中波频段主要用于广播、无线电导航、海

上移动通信、地对空通信。由于中波传播的特点，特别适宜于地区性的广播业务。535~1 606kHz 是国际规定的广播段。该频段的海上移动通信，是在无线电发展的早期就安排好的，即 415~526.5kHz，其中 495~505kHz 固定为海上遇难呼救频率，其他任何业务不得使用。为了可使用较小的天线设备，海上小艇用此频段的高端频率信号，即 1 800~2 000kHz。最早的航空移动通信，即地对空通信，就是使用 2 850~3 025kHz。现在许多国家都已将它移到甚高频（米波）频段中去了。

我们将 3~30MHz 频段的信号称为短波。短波通信简单，易于实现，成本低，可用小功率和尺寸较小的天线实现远距离通信。但是短波通信有不稳定的缺点，它受大气等自然干扰影响也比较明显。短波主要用于定点通信、航海和航空移动通信、广播、热带广播及业余无线电等。

30~300MHz 频率范围的信号被称为甚高频（VHF）。在该频段主要的传播方式是视距内的空间波传播，以及对流层散射和电离层散射。该频段的优点是对于低容量系统可以使用小尺寸天线，这种特点特别适宜于移动通信。该频段频率信号主要用于广播、陆上移动通信、航空移动通信、海上移动通信、定点通信、空间通信、雷达等。比如，调频广播分配在 88~108MHz 频段，而电视广播则分配在 41~100MHz 频段、170~216MHz 频段、470~960MHz 频段（各个国家有所不同）。

1~10GHz 频率范围内的信号属于分米波到厘米波的波段（30~3cm）。该频段的传播特点是视距传播（该频段也用散射方式传播）。此波段分配给定点及移动通信、导航、雷达、气象、无线电天文学、空间通信、业余无线电和工、科、医使用。

10GHz 以上的信号基本上是毫米波波段。10~30GHz 的传播情况基本上是光的传播特性，但它的传播损耗在高频段的高端比低端的损耗要大，并受雨的影响较大。不过高的天线增益可以补偿这部分损耗。目前这部分的低端比较适合无线电中继（接力）通信、空间通信、雷达、导航、无线电天文学等应用。

需注意的是，在众多的无线电技术书籍中描述电路与信号时，对无线电信号通常冠以低频、高频、射频、微波等称谓，而不是短波、中波等。表 1-1 是我国无线电频率分配的一些说明。读者不一定要记住这些内容，但是，既然学习无线射频技术，还是需要对这部分内容有一定的了解。

表 1-1 中国无线电频率分配表

带 号	频 带 名 称	频 率 范 围	波 段 名 称	波 长 范 围
-1	至低频 (TLF)	0.03~0.3Hz	至长波或吉米波	10 000~1 000 兆米 (Mm)
0	至低频 (TLF)	0.3~3Hz	至长波	1 000~100 兆米 (Mm)
1	极低频 (ELF)	3~30Hz	极长波	100~10 兆米 (Mm)
2	超低频 (SLF)	30~300Hz	超长波	10~1 兆米 (Mm)
3	特低频 (ULF)	300~3 000Hz	特长波	1 000~100 千米 (km)
4	甚低频 (VLF)	3~30kHz	甚长波	100~10 千米 (km)
5	低频 (LF)	30~300kHz	长波	10~1 千米 (km)
6	中频 (MF)	300~3 000kHz	中波	1 000~100 米 (m)
7	高频 (HF)	3~30MHz	短波	100~10 米 (m)
8	甚高频 (VHF)	30~300MHz	米波	10~1 米 (m)
9	特高频 (UHF)	300~3 000MHz	分米波	10~1 分米 (dm)

续表

带号	频带名称	频率范围	波段名称	波长范围
10	超高频 (SHF)	3~30GHz	厘米波	10~1 厘米 (cm)
11	极高频 (EHF)	30~300GHz	毫米波	10~1 毫米 (mm)
12	至高频 (THF)	300~3 000GHz	丝米波或亚毫米波	10~1 丝米 (dmm)

注：频率范围（波长范围亦类似）均含上限、不含下限；相应名词非正式标准，仅作简化称呼参考之用。

1.3 无线通信的分类

按照无线通信系统中关键部分的不同特性，有以下一些类型。

按照工作频率或传输手段分类，有中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。所谓工作频率，主要指发射与接收的射频（RF）频率。射频指无线电波的频率，频率范围是 3 000Hz~3 000GHz。这个频率范围内的电波可以用天线辐射出去。

按照通信信号分类，有模拟和数字通信；按照通信方式来分类，主要有（全）双工、半双工和单工方式；按照调制方式的不同来划分，有调幅、调频、调相以及混合调制等；按照传送的消息的类型分类，有语音通信、图像通信、数据通信和多媒体通信等；按多址接入技术分，有频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）。

1.3.1 无线通信的工作方式

按移动通信的工作方式可分为单工制、半双工制和双工制三种。

单工通信是指在同一时刻，信息只能单方向进行传输，这种通信设备中的发射机和接收机只能交替工作（不能同时工作），如图 1-9 所示。单工通信设备采用“按键”控制方式（push to talk）：当按下发射控制键时，发射单元处于工作状态，接收单元不工作；反之，松开发射按键时，发射单元不工作，而接收单元处于工作状态。此工作方式设备简单，功耗小，但操作不便，通话时易产生断断续续的现象。

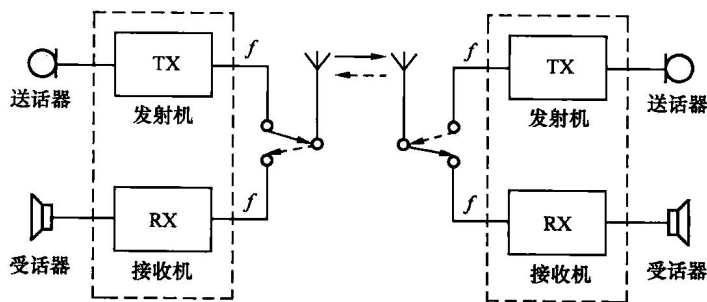


图 1-9 同频单工通信方式

单工制又分同频单工与异频单工。

同频单工是指无线通信设备的发射和接收都工作在同一频率上。其优点是：仅使用一个频率工作，能最有效地利用频率资源。

异频单工是指无线通信设备的接收、发射使用不同的频率，其操作仍然是通过按键控制。异频单工由于接收、发射使用不同的频率，同一通信设备中的接收发射可以交替工作，可以是接收单元一直处于工作状态，仅仅控制发射单元。异频单工通常只用于有中转台的无线电

通信系统。

无线通信中的半双工制是指基站双工工作，移动台单工工作，信息双向传输，使用两个频率，如图 1-10 所示。在半双工系统中，信息可以在任意一个方向上传送，但在同一时刻只能在一个方向上传送信息。这种方式设备简单，功耗小，克服了通话断断续续的现象，但操作仍不太方便。半双工制主要用于专用移动通信系统。

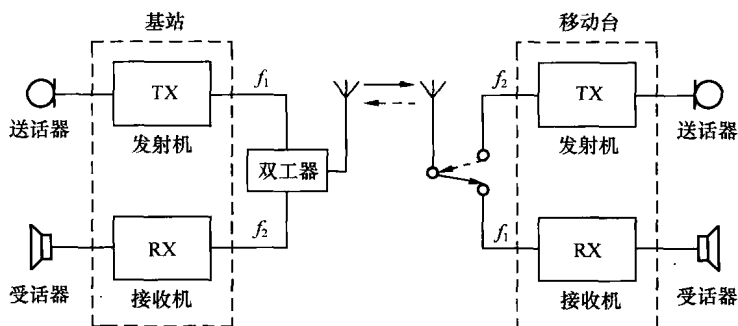


图 1-10 半双工通信方式

双工通信是指在同一时刻信息可以进行双向传输，和拨打普通市话一样，讲话的同时也能听。这种无线通信设备的发射机和接收机分别在两个不同的频率上，能同时进行工作，也称为异频双工机，如图 1-11 所示。这种方式操作方便，但电能消耗大。模拟或数字式的蜂窝电话系统都采用双工制。

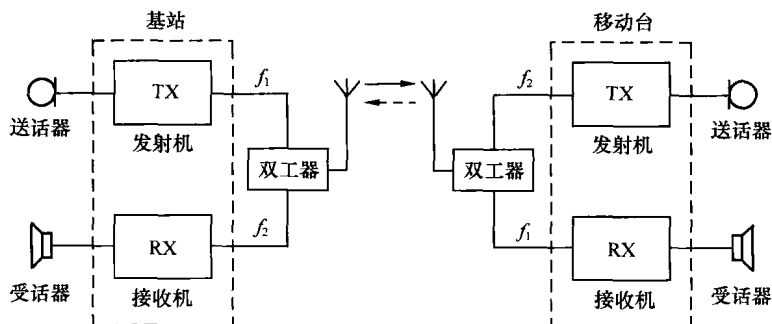


图 1-11 双工通信方式

双工机还有一个特点是，作为双工基站台可以通过接口设备实现无线网络和有线网络的连接。这个接口设备就是无线接驳器（或又叫转接器）。通过它，有线电话用户可以和移动台用户通话，反之移动台用户通过拨号可以打有线电话。常用的无绳电话通信即属于这一种。

需注意的是，在双工通信中，无线通信设备接收机与发射机的工作频率是配对使用的。而且，其接收、发射信号频率需要有一定的双工间隔。比如，早期的模拟移动电话的双工间隔是 45MHz，ETACS 手机的 1988 信道的接收频率是 933.487 5MHz，1988 信道的发射频率是 888.487 5MHz。而 GSM900 系统中 60 信道的接收频率是 947MHz，60 信道的发射频率是 902MHz。

1.3.2 移动通信的制式

按无线通信的制式分，可分为大区制、小区制。

传统的移动电话系统用单一的发射站覆盖一个服务区（大区制），如图 1-12 所示。其通常为单一的基站发射机，发射功率很大，且其发射天线架设得很高。由于发射信号相当强，使得附近的服务区无法复用该服务区的信道，严重地限制了信道数目。当其系统处于全负荷情况下，增长容量是不可能的。

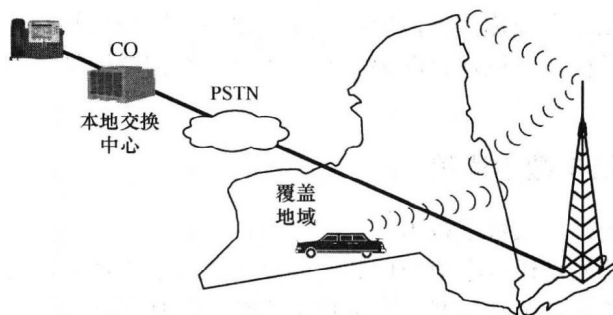


图 1-12 传统移动通信示意图

蜂窝移动电话系统则相反，把一个大的服务区划分为若干小区，称作蜂窝小区（小区制）。蜂窝系统由一系列六边形的蜂窝小区组成（理论上如此，在实际中为随地理环境变化而设计的形状不规则的小区）。蜂窝系统并未试图提高移动台或基站的发射功率，而是基于频率复用的概念——同一个频率可以被相距足够远的几个基站重复使用，从而加大了系统的容量。在一个蜂窝中使用的频率，为了避免产生干扰，只有在一地理上相隔一定距离的蜂窝中才可以再用。移动的用户可能在通话过程中使用一个或多个小区，如图 1-13 所示。移动用户在一个蜂窝小区的边缘可切换到另一个小区。

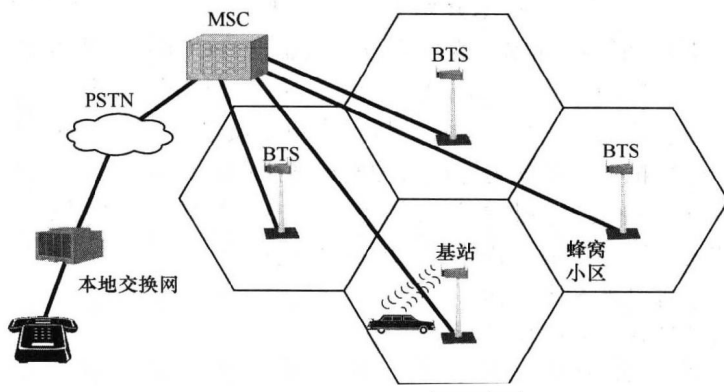


图 1-13 基本蜂窝结构

每个小区都有一个中央控制基站，包括与分配给此小区信道有关的各种控制设备。系统中所有蜂窝小区都由专用陆地微波系统相互连接，或者同中央控制器即交换系统连接。交换系统负责整个系统的控制，同时也是蜂窝电话用户与陆地网的接口。

运营商在一定的地理区域内提供蜂窝系统。这可以减小对收发射机的功率要求，并容纳更多的用户。

蜂窝系统的主要构成是公用电话交换网 PSTN、移动电话交换中心 MTSO、基站 BTS。

图 1-13 所示的就是一个蜂窝系统的结构示意图。

一个基站包含一个发射机和一个接收机（或一个收发信机）。它们连接移动台与蜂窝系统。基站也被称为 Base Station、the Base Station Transceiver Subsystem (BTS)。

移动电话交换中心提供控制和信令到移动台。它也提供与 PSTN 之间的连接。

PSTN 提供家庭有线电话和商用有线电话之间的连接。

移动电话被限定在一个被称为本地网的特殊网络覆盖区域内执行一般的操作。若一部电话在非本地网中进行操作，就被称为漫游。漫游用户通常需要缴纳一些附加费用，才能在本本地网中操作。

1.3.3 模拟通信与数字通信

现代无线通信使用模拟或数字技术。

模拟无线通信的信号是通过幅值域内和时间域内连续的无线电波进行传输的。采用模拟技术的无线通信设备通常是用对语音信号进行话音频带选择、滤波、放大后，直接调制到发射机的工作频率信号上。

在采用数字技术的无线通信设备中，语音信号经话音频带选择、滤波、放大后，被转化成数字式的语音信号，数字语音信号经一定形式的编码后，再调制到发射机的工作频率信号上。

早期使用的模拟手机，如诺基亚的 232、摩托罗拉的 168 等都是采用模拟技术的移动电话，属于第一代移动电话。如今的 GSM 手机、CDMA 手机都是采用数字技术的移动电路，属于第二代移动电话。第三代数字移动电话（3G 电话）的三大主流标准分别是 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA（时分同步码分多址）。其中，TD-SCDMA 是我国具有自主知识产权的标准。

在个人通信系统中使用数字技术开始于一些关键技术。最重要的两个是强处理能力的 DSP（数字信号处理器，编码、纠错、话音编码/解码器——CODEC）和价格合理的 ASIC（专用集成电路）。ASIC 可以使数字信号处理在快速、小型和低价格的条件下完成。

数字信号可以被快速处理。数字通信可以提供更高质量和可靠性的话音、视频及数据传输。数字技术利用计算机技术，使用计算机控制设备来处理信号。

数字调制提供了多种模拟调制不具备的优点。一个主要的优点是提高了话音信道的容量，另外数字通信还能提供比模拟通信更好的保密性能。

数字无线通信包含以下 5 个步骤。

第 1 步，模拟的话音信号转换成数字信号。

第 2 步，数字信号转换成射频信号。

第 3 步，射频信号通过电磁波进行传输。

第 4 步，在接收端将射频信号转换成数字信号。

第 5 步，数字信号被还原出模拟的话音信号。

图 1-14 所示的是数字通信流程的示意图。第 4、5 步实际上就是接收机对第 1、2 步的逆向处理。

对于 CDMA 手机、GSM 手机、GPRS 手机与 WCDMA 手机来说，其基本流程都是如此，所不同的主要在于数字信号处理器与多址接入技术。

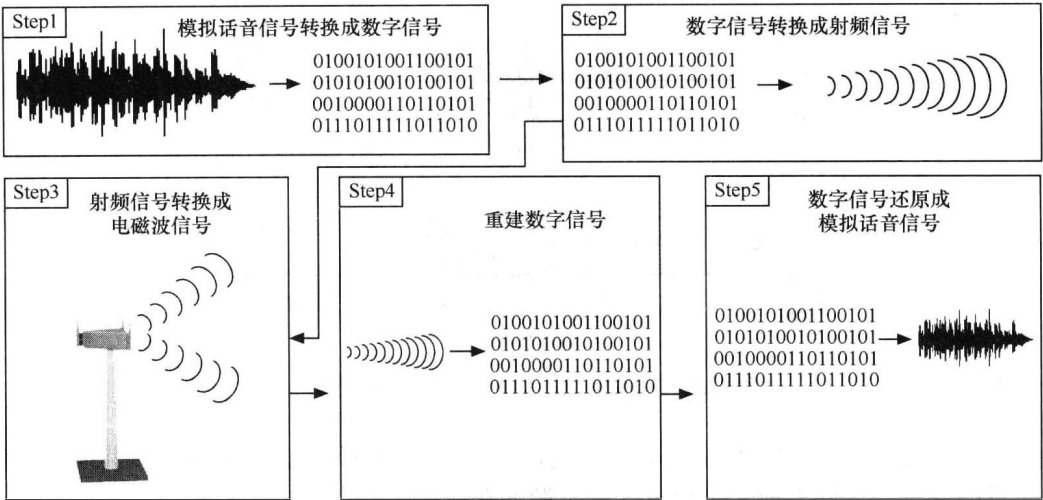


图 1-14 数字通信流程示意图

1.4 多址技术

无线通信的飞跃发展在于多个用户共享同一频率的技术，称之为多址接入。介绍 3 种多址接入方式：频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）。

在无线通信系统中，需要使得用户在接收基站信息的同时能够向基站发送信息。例如，传统的电话系统可以同时听、说，这种方式就被称为双工。

双工的实现可以通过频分（FDD, Frequency Division Duplexing）与时分（TDD, Time Division Duplexing）实现。分别被称为频分双工与时分双工。

频分双工为每个用户提供两个不同频段的频率信号。前向信道提供基站到移动用户的通信，反向信道提供移动用户到基站的通信。在频分双工中，任何一个双工信道都包含两个单一信道，用户设备中装有双工器，使得双工信道能同时进行无线信号的接收与发射。现在的 GSM 手机、CDMA 手机及早期的 ETACS 模拟移动电话都是采用频分双工的。

时分双工用时间替代频率来提供前向与反向链路。如果在前向、反向之间进行时间分离的时隙（time slot）小，则发射、接收可以同时进行。

TDMA、FDMA、CDMA 三种主要接入技术被用来共享无线通信的可用频段。这些技术的组合可以用于窄带或宽带通信系统。

1.4.1 频分多址（FDMA）

FDMA 是将传输媒质的频带划分为若干互不重叠的子频带，每个子频带用一个载波传一路或多路数字式模拟信号所构成的子信道，固定式按需分配给各地用户使用的过程。

在 FDD 中，一个双工频率对被分配给一个用户，一个频率用于发射，另一个用于接收。它通过不同的信号频率来区分用户，如图 1-15 所示。

FDMA 有如下特点。

- (1) 任一时刻一个 FDMA 信道只允许一个用户使用。

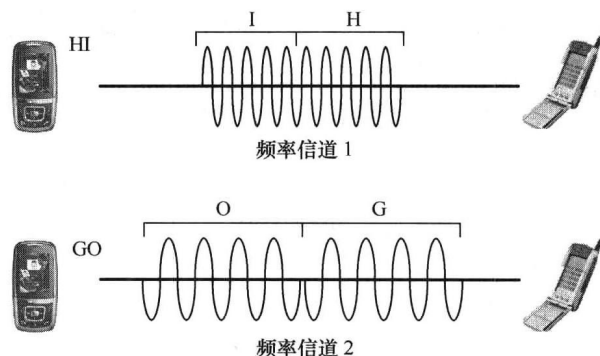


图 1-15 FDMA 以不同的信号频率区分用户

(2) 如果某一个 FDMA 信道没有被使用，那么它处于空闲状态，但不能被其他用户使用以提高系统容量，这样造成一定程度上的资源浪费。

(3) 一个语音信道建立后，基站与移动台同时连续工作。

(4) FDMA 信道带宽较窄，通常 FDMA 被用于窄带系统。

1.4.2 时分多址 (TDMA)

TDMA 是将时间划分为若干互不重叠的时隙，由不同的时隙建立不同的子信道，固定式按需分配给用户使用的过程。这样，一个子信道可以看作是多个连续帧内的一个特定时隙，一帧内可能有 N 个时隙。TDMA 使用 buffer-and-burst 方法传输数据，因此，每个用户的传输是不连续的。不同于 FDMA 采用模拟的 FM (调频)，TDMA 使用数字信号及数字调制。来自不同用户的发射信号交互出现在一个帧结构中，如图 1-16 所示。

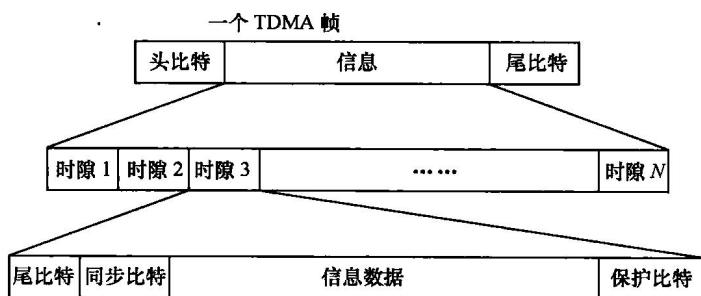


图 1-16 TDMA 帧结构

一个帧包含多个时隙，每个帧有头比特 (preamble)、尾比特 (trail bit) 与信息。在 TDMA/TDD 中，帧信息的一半时隙用于前向链路，另一半用于反向链路。在 TDMA/TDD 系统中，相同或相似的帧结构单独地用于前向或反向传输，但载波频率则视前向或反向而不同。一般来说，TDMA/FDD 在前向、反向时隙之间故意引几个时隙的延迟，所以双工器可以不用于用户设备中。

TDMA 的特点如下。

在 TDMA 中，几个用户共用一个单频率，且每个用户的时隙不重复，如图 1-17 所示。每个帧内的时隙数取决于调制技术、可用频带等因素。