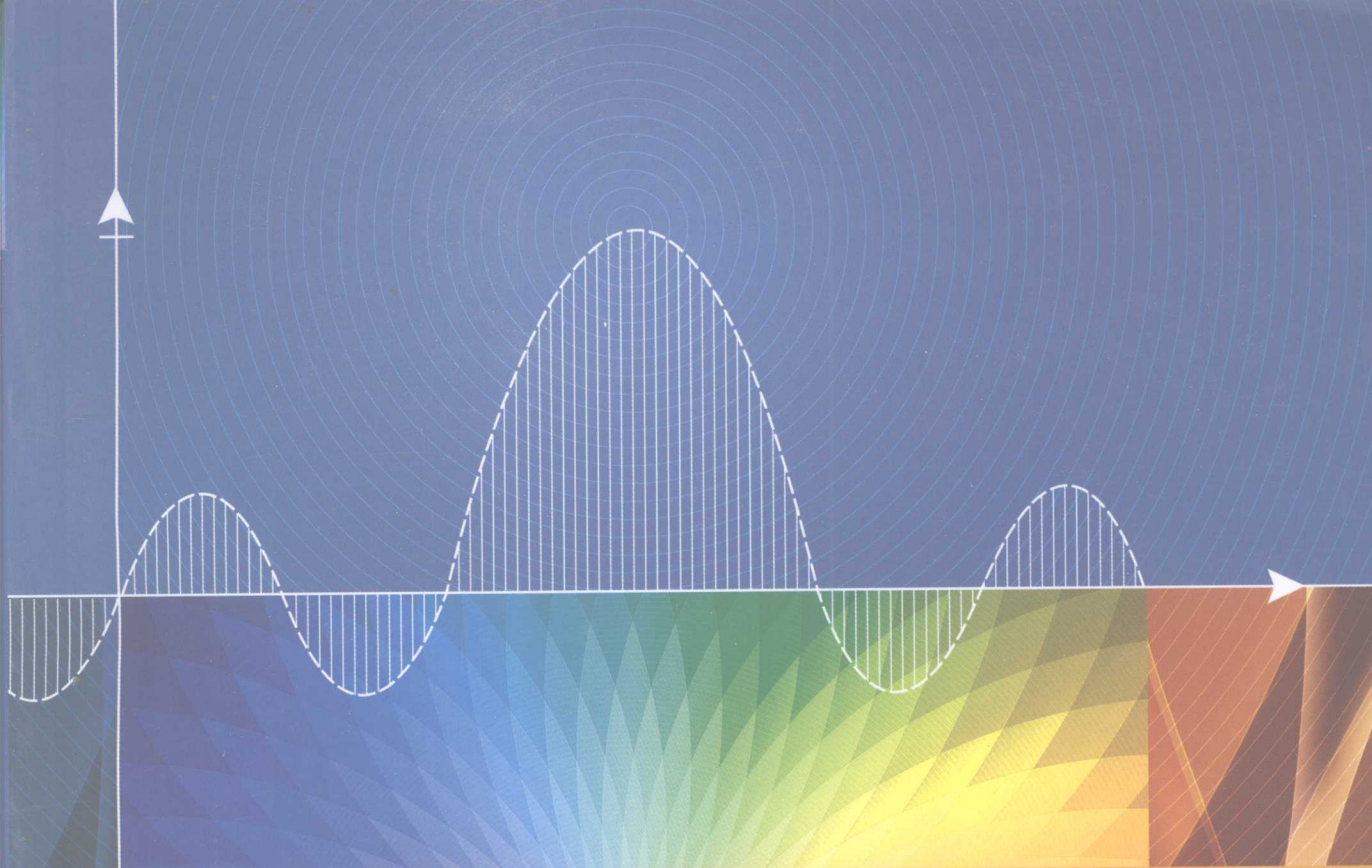




宽带无线通信 收发信机新技术

◎ 曹 鹏 齐 伟 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

北京市属高等学校人才强教计划资助项目

宽带无线通信 收发信机新技术

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以现代无线通信收发信机的两种典型结构——数字中频和直接正交变频为主线,系统地介绍现代无线通信收发信机的相关理论和关键技术,包括无线通信信号传输、微波集成电路及其 CAD、无线收发信机的体系结构与主要性能指标、无线收发信机的单元电路设计、高速信号采集与处理技术、电子战接收机及电子对抗技术。其中,在无线收发信机单元电路部分详细介绍低噪放、混频器、本振电路、功率放大器;在高速信号采集与处理部分详细介绍了高速高精度 ADC 的主要性能指标、采样时钟信号的稳定性,以及采样定理、欠采样、过采样、周期信号的等效采样等。在本书的最后两章,着重介绍数字中频接收机和直接正交上变频发射机的整机结构、系统的优化设计及设计实例等,并对数字中频接收机中 AGC 电路、动态范围、高稳时钟分配电路设计,以及直接正交上变频发射机中的本振泄漏、镜频抑制、幅度和相位平衡校正等关键技术问题进行重点论述。

本书可供从事现代无线通信技术、现代通信电路与系统、高速高精度信号采集与处理技术研究与开发的工程技术人员参考,也可作为信息与通信工程、电子科学与技术专业研究生的教材和参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

宽带无线通信收发信机新技术/曹鹏,齐伟编著. —北京:电子工业出版社,2009.8
ISBN 978-7-121-08835-3

I. 宽… II. ①曹…②齐… III. 宽带通信系统—无线电通信—通信发射机 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 075052 号

责任编辑:裴 杰

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16 字数:480 千字

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

现代无线通信收发信机向着数字化、软件化、小型化、低功耗方向发展。新型的无线通信设备在有些场合要求具有多载波多模式通信功能。在设计收发信机系统时,为了实现不同体制、不同模式无线通信信号的接收和发射设备之间的互通互联,20 世纪 90 年代初提出了理想软件无线电概念,但由于受收发信机关键器件性能指标的制约,只能对中频信号实现数字化,然后在数字部分再实现数字下变频、信道化、解密和解调等功能。同时,为了减小收发信机的体积、重量,降低功耗,基于直接正交变频体系结构的收发信机也随着半导体工艺技术的进步而得到复兴,并被广泛应用到小型化移动通信终端等设备中。

数字中频和直接正交变频体系结构的收发信机都具有实现多载波、多模式无线通信的功能,是目前无线收发信机的两种主要结构,代表着无线收发信机的两大主流方向。这两种收发信机与传统的超外差式相比,在设计方法方面存在很多不同之处,系统的设计要求更高,需要考虑的因素更多,相关资料也不够具体和系统,并且有些技术尚处在研究之中。因此,给设计和实现都带来了较大困难。

本书主要介绍数字中频发射机和直接正交变频发射机的电路与系统设计。首先,从无线收发信机的发展、无线信道的传输特性、收发信机的结构及其性能指标、收发信机的单元电路、高速高精度信号采集技术、电子战接收机及电子干扰技术等方面对无线收发信机进行较为系统和详细的介绍。然后,介绍数字中频接收机的总体设计、各单元模块电路的优化设计、数字信号的解调和多采样率信号处理技术等。也重点介绍采样理论、高速 ADC 的关键技术指标、采样时钟信号的抖动及其对高速带通采样系统信噪比的影响、采样时钟抖动的估算办法等。在最后两章中,分别重点介绍单元电路和整机的优化设计技术。

在本书的撰写过程中,得到了北京理工大学微波电路教研室费元春教授、周建明博士、陈宁博士、李伟强博士等人的很多指导和支持,向他们表示衷心的感谢。同时,田海燕同学为本书的出版做了大量工作,也得到了王明飞、孟凡俊等同学的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。由于著者水平有限,书中难免存在一些疏漏、错误之处,敬请批评指正。

编者

2009 年 7 月

目 录

1 绪论	1	2.3.3 Okumura-Hata 模型	34
1.1 无线通信简史	1	2.3.4 Lee 模型	35
1.2 现代通信系统	5	2.3.5 多径传输信道模型	36
1.2.1 通信系统的分类	6	2.4 衰落信道动态特性	37
1.2.2 现代通信系统的网络结构	7	2.4.1 慢衰落和快衰落	38
1.2.3 现代通信网络的跨层优化设计	9	2.4.2 选择性衰落	39
1.3 无线收发信机新技术	10	2.5 码间干扰和同道干扰	41
1.3.1 软件无线电	10	2.5.1 码间干扰	41
1.3.2 直接正交变频技术	11	2.5.2 同道干扰	41
1.4 其他无线通信新技术	15	2.5.3 邻道干扰	42
1.4.1 无线局域网	15	2.6 信息及其度量	42
1.4.2 WiMAX	17	2.6.1 信息的度量	43
1.4.3 Zigbee	18	2.6.2 连续信源的熵	45
1.4.4 UWB	20	2.6.3 离散序列信源的熵	46
2 无线信号传输基础	23	3 微波集成电路及 CAD	49
2.1 通信信号的表征	23	3.1 半导体工艺与材料	49
2.1.1 平稳过程	23	3.1.1 砷化镓 (GaAs) 工艺	49
2.1.2 解析信号	25	3.1.2 SiGe 工艺	50
2.1.3 基带信号	26	3.1.3 CMOS 工艺	52
2.1.4 带限信号	28	3.1.4 BiCMOS 工艺	52
2.2 无线信道	29	3.1.5 深亚微米 CMOS 工艺	53
2.2.1 路径损耗	30	3.1.6 SOI (半导体隔离) 技术	53
2.2.2 天线	31	3.2 微波电路 CAD	54
2.3 自由空间传播	31	3.2.1 ADS 软件简介	56
2.3.1 双线模型	32	3.2.2 ANSOFT HFSS 简介	61
2.3.2 经验和半经验模型	34	3.3 器件的建模	64
		3.3.1 无源器件	64



3.3.2 电感	64	5.2.2 混频器的主要性能指标	110
3.3.3 电容	67	5.2.3 混频器的设计	112
3.3.4 有源器件	67	5.3 本振源	115
4 收发信机的结构与指标	74	5.3.1 锁相环频率合成器	115
4.1 收发信机的体系结构	74	5.3.2 锁相环的分类	116
4.1.1 接收机	74	5.3.3 单环锁相环频率合成器	117
4.1.2 发射机	82	5.3.4 双模分频器的锁相环频率合成器	118
4.2 接收机中的噪声	84	5.3.5 锁相环频率合成器的相位噪声分析	119
4.2.1 接收机的输入功率	84	5.3.6 相位噪声对误差相量幅度 (EVM) 作用的解析计算	121
4.2.2 自由空间路径损耗	84	5.4 功率放大器	124
4.2.3 电阻热噪声	85	5.4.1 电路匹配	126
4.2.4 其他噪声	86	5.4.2 频率补偿匹配网络	126
4.3 接收机的主要技术指标	87	5.4.3 稳定性分析	126
4.3.1 灵敏度	87	5.4.4 热效应分析	127
4.3.2 噪声系数	89	5.4.5 预失真	127
4.3.3 动态范围	92	5.4.6 直流供电与偏置	127
4.3.4 三阶交调	94	6 高速信号采样与处理	129
4.3.5 级联交调	95	6.1 采样理论	129
4.3.6 无杂散动态范围 (SFDR)	97	6.1.1 带通采样	130
4.3.7 带宽	97	6.1.2 并行和交替采样	133
4.4 发射机的主要技术指标	98	6.1.3 并行和交替采样的误差分析	135
4.4.1 输出功率与效率	98	6.1.4 正交采样	136
4.4.2 邻道功率抑制比	99	6.1.5 周期信号的等效采样	138
4.4.3 频率稳定度	100	6.2 A/D 转换器	140
5 收发信机单元电路设计	101	6.2.1 ADC 的主要性能	141
5.1 低噪声放大器	101	6.2.2 ADC 的几种典型电路结构	144
5.1.1 LNA 主要性能指标	101		
5.1.2 宽带 LNA	103		
5.1.3 LNA 的设计流程	105		
5.1.4 LNA 的设计举例	106		
5.2 混频器的设计	109		
5.2.1 混频器的基本原理	109		

6.2.3 孔径抖动	147	8.3 DIFR 的动态范围	193
6.2.4 Dither 信号及应用	150	8.3.1 瞬时动态范围	194
6.3 采样时钟的稳定性	153	8.3.2 扩展动态范围	195
6.3.1 时域稳定性的表征	153	8.3.3 动态范围的仿真	196
6.3.2 频域稳定性的表征	154	8.4 宽带大动态 DIFR 的总体设计	197
7 电子对抗及电子战接收机	156	8.5 射频模拟前端	199
7.1 电子对抗	156	8.5.1 射频模拟前端的电路结构	199
7.2 雷达信号	158	8.5.2 模拟前端电路结构的优化设计	200
7.2.1 连续波雷达信号	158	8.5.3 抗混叠滤波器的设计	202
7.2.2 脉冲雷达信号	161	8.5.4 快速测频技术	204
7.3 电子战接收机	163	8.6 数字 IF-AGC	204
7.3.1 电子战接收机测量的参数	164	8.7 采样时钟分配电路	207
7.3.2 晶体视频接收机	166	8.8 数字中频信号处理	209
7.3.3 瞬时测频接收机	168	8.8.1 数字下变频	209
7.3.4 信道化接收机	169	8.8.2 数字解调	211
7.3.5 微扫(压缩)接收机	172	8.8.3 DFT 和 FFT	212
7.4 电子干扰	174	8.8.4 多速率信号处理	214
7.4.1 遮盖式干扰	175	8.8.5 接收信号处理器	218
7.4.2 几种遮盖式噪声干扰信号	176	9 直接正交上变频发射机	223
7.4.3 欺骗式干扰	177	9.1 CDMA 通信系统的基本原理	223
7.4.4 距离欺骗式干扰	177	9.1.1 CDMA 信道结构	224
7.4.5 对雷达角度信息的欺骗	179	9.1.2 沃尔什函数正交扩频	226
7.4.6 对雷达速度信息的欺骗	182	9.1.3 长码扩频	227
7.4.7 最佳干扰波形	184	9.1.4 短码正交扩频	228
7.5 雷达信号的检测与截获	184	9.2 直接正交变频收发信机	230
7.6 雷达信号参数的分选	186	9.2.1 关键技术分析	231
7.7 雷达信号参数的测量	187	9.2.2 $1/f$ 噪声	231
8 数字中频接收机	191	9.2.3 本振泄漏和自混频	231
8.1 DIFR 的特点	191	9.3 实现 DCT 的关键技术分析	234
8.2 DIFR 的灵敏度	192		



9.3.1 幅度和相位不平衡误差分析.....	235	9.4.1 系统结构	238
9.3.2 DCT 的镜频抑制和本振泄漏分析.....	236	9.4.2 DCT 的优化设计.....	240
9.3.3 DCT 的性能分析与仿真.....	236	9.4.3 本振泄漏和无用边带频率抑制	241
9.4 基于直接正交上变频的 CDMA 发射机.....	238	9.4.4 邻道功率抑制比	242
		参考文献	243

1 绪 论

无线通信发展到今天,其技术的先进程度,已经成为反映一个国家在此领域内科技实力的一项重要标志,技术应用也成为寻常百姓生活中的重要组成部分。本章将通过影响无线通信理论和技术进步的一系列重要事件回顾无线通信的发展简史。然后从无线通信系统的基本组成及其主要功能,现代无线通信系统的网络分层——物理层、数据链路层和网络层的基本概念和技术,现代无线通信系统的一些关键技术(包括信道编码技术、现代调制解调技术、信道复用技术和通信协议等),以及作为无线通信的主要设备——无线通信收发信机的体系结构及其功能特点,无线通信最新发展的几项技术,包括无线局域网、软件无线电、WiMAX、Zigbee、UWB 技术等几个方面对无线通信及其发展进行简要介绍,以便从总体上对无线通信的发展历史、组成和发展趋势有一个概括性的了解。

1.1 无线通信简史

现代无线通信始于 19 世纪末,从 20 世纪初到 70 年代的漫长岁月里,无线电通信技术得到不断发展和广泛应用,为人类提供了一种崭新的通信手段。无线电通信的出现和发展得益于电磁理论的产生和完善,同时电子技术,如电子管和晶体管的发明奠定了无线通信技术的基础,且随着集成电路技术和微处理器的成熟、蜂窝系统的发明以及无线接入技术的进步,将无线通信带入了移动通信时代。第一代移动通信技术中引入了蜂窝技术,这使得大规模的移动无线通信成为可能;第二代移动通信技术中引入数字通信取代模拟技术,从而大大提高了无线通信的质量;第三代移动通信技术中除了语音通信外,还具有数据通信功能,并出现了同时适用于语音和数据通信的网络。一路走来,无线通信技术已经发展成为人们生活中的一个重要组成部分,其发展历程中闪耀着无数具有里程碑意义的理论和技术的进步,谱写了无线通信发展史。下面通过一些重要事件简单回顾无线通信的发展史。

1864 年,麦克斯韦在英国皇家学会的集会上宣读了题为《电磁场的动力学理论》的重要论文,对以前有关电磁现象和理论进行了系统的概括和总结,提出了联系着电荷、电流和电场、磁场的基本微分方程组。该方程组后来经 H.R.赫兹, O.亥维赛和 H.A.洛伦兹等人的整理和改写,成为经典电动力学重要基础的麦克斯韦方程组。

1887 年,赫兹在实验中发现电火花的能量能够越过空间传到远处,首次证明了无



线电波的存在，轰动了全世界的科学界。赫兹的发现具有划时代的意义，它不仅证明了麦克斯韦所假设的电磁场的确存在，更重要的是开创了无线电电子技术的新纪元。

1894 年，洛奇在公众场合传送无线电波，他将金属粉末检波器、继电器、电铃、打字机等连接起来，组成了一台接收机，接收到 55 米处的莫尔斯电码。

1895 年 5 月 7 日，波波夫在彼德堡的俄国物理化学会的物理分会上，宣读了关于“金属屑与电振荡的关系”的论文，并当众展示了他发明的无线电接收机。为了纪念波波夫在这一天的划时代创举，当时的苏联政府便把 5 月 7 日定为“无线电发明日”。

1896 年 3 月 24 日，波波夫和雷布金在俄国物理化学协会的年会上做了用无线电传送莫尔斯电码的演示，他操纵自己制作的无线电收发信机，拍发了“**Heinoich Hertz**”（海因里希·赫兹）一词，以表示对这位电磁波先驱者的崇敬。虽然当时的通信距离只有 250 米，但这却是世界上最早通过无线电传送的有明确内容的电报。

1896 年，马可尼获得无线电报专利（专利证号码 NO:174655）。

1897 年，马可尼在横跨布里斯托尔海峡的无线电通信中取得成功，通信距离为 14 千米。

1899 年，马可尼在英国南福兰角建立了一个无线电报站，成立了美国第一个无线电通信公司——美国马可尼无线电报公司。

1900 年，马可尼在英国普耳杜建立一座大功率发射台，采用 10 千瓦的音响火花式电报发射机。

1901 年，马可尼在加拿大纽芬兰市的圣约翰斯港通过风筝牵引的天线，成功地接收到普耳杜电台发来的电报。马可尼的成功在世界各地引起巨大的轰动，推动无线电通信走向了全面实用的阶段。

1906 年，弗雷斯特发明了真空三极管，这为无线电话通信奠定了基础。同年，菲森登在美国马萨诸塞州采用外差法、调幅（AM）方式实现了历史上首次无线电广播。

1907 年，李·德·福尔斯特发明了真空三极管。

1920 年，世界上第一个无线电话新闻服务开通。同年，马可尼公司在英国举办了一次“无线电话”音乐会，音乐会的乐声通过无线电波传遍英国本土，以及巴黎、意大利和希腊。

1921 年，美国底特律和密执安警察厅开始使用车载无线电台，这是最早的无线语音通信应用。第二次世界大战以后，电子管技术和频率调制技术使无线电话业务成为现实。

1925 年，英国发明家贝尔德发明了世界上第一台有实用价值的电视机。

1941 年，摩托罗拉生产出了美军参战时唯一的便携式无线电通信工具——5 磅重手持对讲无线电样机，以及此后的 SCR-300 型高频率调频背负式通话机。1956 年，第一个无线电寻呼机也在该公司问世。

1946 年，根据美国联邦通信委员会（FCC）的计划，贝尔系统在圣路易斯城建立



了世界上第一个公用汽车电话网,称为“城市系统”。当时使用三个频道,间隔为 120kHz,通信方式为单工。

1948 年 6 月 30 日,贝尔实验室向公众展示了用以取代真空管的晶体管。

1949 年, Claude Shannon 等人首次给出了 CDMA 框架。

1954 年 7 月,美国海军利用月球表面对无线电波的反射进行了地球上两地的电话传输试验。试验成功后于 1956 年在华盛顿和夏威夷之间建立了通信业务。

1956 年, Price 和 Green 提出 RAKE 接收机的概念。

1957 年 10 月 4 日,前苏联发射了第一颗人造地球卫星,地球上第一次收到了来自人造卫星的电波。它不仅标志着航天时代的开始,也意味着一个利用卫星进行通信的时代即将到来。

1958 年,美国发射了第一颗通信卫星。

1960 年 8 月 12 日,美国国防部把覆有铝膜、直径为 30 米的气球卫星“回声 1 号”发射到距离地面高度约 1600 千米的圆形轨道上,进行通信试验。这是世界上第一个“无源通信卫星”。

1961 年,发明了集成电路。

1962 年 7 月 10 日,美国国家航空宇航局(NASA)发射了世界上第一颗有源通信卫星“电星 1 号”,这颗卫星上装有无线电收发设备和电源,可对信号接收、处理、放大后再发射,从而大大提高了通信质量。

1963 年 7 月 26 日,美国国家航空宇航局发射了“同步 2 号”通信卫星,在非洲、欧洲和美国之间进行电话、电报、传真通信。

1963 年 8 月 23 日,肯尼迪总统引用莫尔斯拍发的第一份公众电报报文“上帝创造了何等奇迹”结束了他与尼日利亚总理会话,这是经“辛康姆(Syncom)”通信卫星的第一次电话会话,声音传播了 72 000 多千米。

1964 年 8 月 19 日,美国发射了“同步 3 号”卫星。这是世界上第一颗地球同步静止轨道通信卫星。

1964 年 8 月 20 日,成立了以美国通信卫星有限公司为首的“国际通信卫星财团”,次年更名为“国际通信卫星组织”,即著名的 INTELSAT。这一组织总部设在华盛顿,其宗旨是建议和发展一个全球通信卫星系统,一视同仁地供世界各国使用,以便改进其电信服务,并确立了卫星通信体制和标准地球站的性能标准,卫星通信业务从此正式成为一种国际商用业务。

1965 年的 4 月 6 日,国际卫星通信组织(INTERSAT)发射了一颗半试验、半实用的静止通信卫星“晨鸟”(Early Bird),又称为国际通信卫星-I,作为世界上第一颗实用型商业通信卫星,它为北美和欧洲之间提供通信服务,开创了卫星商用通信的新时代。“晨鸟”标志着卫星通信从试验阶段转入实用阶段,还标志着同步卫星通信时代的开始。



1978 年, 美国贝尔试验室成功研制了先进移动电话系统 (AMPS), 建成了蜂窝状移动通信网, 大大提高了系统容量。同年, Cooper 等人提出在蜂窝移动通信系统中采用 CDMA 的建议。

1982 年, 欧洲成立了移动通信特别组 (GSM), 任务是制订泛欧移动通信漫游的标准。

1985 年, 英国开发出全地址通信系统 (TACS), 首先在伦敦投入使用, 频段为 900MHz。

1989 年 11 月, 美国高通公司 (Qualcomm) 进行了首次 CDMA 试验, 在美国的现场试验证明 CDMA 用于蜂窝移动通信的容量在理论上是 AMPS 容量的 20 倍。这一振奋人心的结果很快使 CDMA 成为全球的热门课题, 并在以后成功解决了 CDMA 的功率控制和软切换两项关键技术。

1991 年 7 月, 泛欧网 GSM 开始投入商用。

1992 年 5 月, Jeo Mitola 在美国电信系统会议上, 首次提出了软件无线电概念。

1995 年, 第一个 CDMA 商用系统运行之后, CDMA 技术理论上的诸多优势在实践中得到了检验, 从而在北美、南美和亚洲等地得到了迅速推广和应用。

1998 年, 全球 CDMA 用户已达 500 多万。在美国和日本, CDMA 成为国内的主要移动通信技术。

1999 年 2 月 1 日, GMDSS 系统在全世界各航运国家全面启用。与在此之前广泛应用的呼救信号 “SOS” 不同, GMDSS 是 “全球海上遇险和安全系统”, 是建立在先进的卫星通信技术、数字技术和计算机技术基础上的先进系统, 由卫星通信系统和地面无线电通信系统两大部分组成, 其中, 卫星系统又包括国际海事卫星分系统和极低轨道搜救卫星分系统两部分。GDMSS 在船只遇难时, 不仅能向更大的范围、更迅速、更可靠地发出求救信息, 还能以自动、半自动的方式取代以前的人工报警方式。

1999 年 11 月, 英国 BT Cellnet 公司采用摩托罗拉和思科 (Cisco) 公司的方案, 实现了全球首次 GPRS 通话, 2000 年 7 月, 该公司推出了第一个商用 GPRS 方案, 摩托罗拉则同时推出了全球第一款 GPRS 手机。

2000 年 5 月 5 日, 在土耳其召开的 ITU2000 年世界无线大会上, 中国提出的第三代移动通信制式 TD-SCDMA 被批准为 ITU 的正式标准。

2001 年 3 月, 3GPP 正式接纳了由中国提出的 TD-SCDMA 第三代移动通信标准全部技术方案, 并包含在 3GPP 的 R4 版本中。

近几年, 以第三代移动通信技术 (3G) 为核心, 全球范围内的无线通信技术每年都有新的进展, 原来停留于技术层面的部分技术已经开始逐渐商用化, 这些对原有的以 2G 或 2.5G 为核心的无线通信技术与市场产生了重要的影响, 正在推动全球无线通信向着以 3G、4G 为核心的新技术与市场体系演变。

1.2 现代通信系统

通信系统是指传递信息所需的一切技术、设备和信道的总称,即从信源的时空点向信宿的时空点传递信息所需的一切技术、设备、信道的总和,其通信系统的组成框图如图 1.1 所示。常见的典型通信系统有光纤通信系统、卫星通信系统、移动通信系统、扩频通信系统、个人通信系统等。

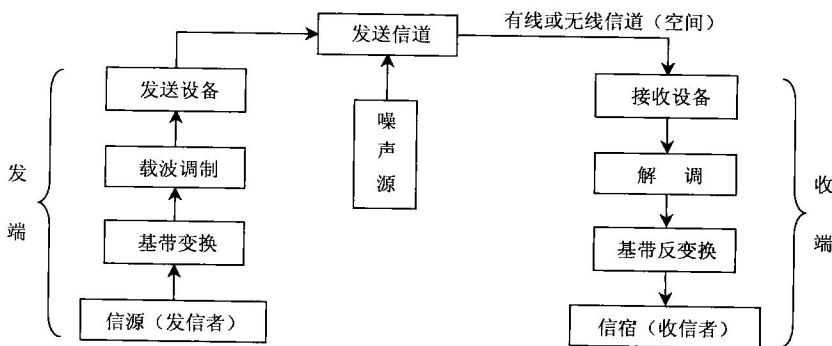


图 1.1 通信系统的组成框图

通信系统中信源的作用是把待传输的消息转换成原始电信号。信源输出基带信号,所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,具有低通形式。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应的,信源也分为数字信源和模拟信源。

信源输出的基带信号经过基带变换和载波调制后,为发射设备提供适合发射的信号。发送设备将信源和信道匹配起来,即将信源产生的基带信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,调制是最常见的变换方式。对于数字通信系统来说,发送设备包括信源编码和信道编码两个部分。信源编码将连续信号变为数字信号,信道编码使数字信号和传输媒介匹配,来提高传输的有效性和可靠性。另外,发送设备还包括为了实现某些特殊要求而进行的各种处理,如信息分组、数据加密、多路复用等。

信道是指从发送设备到接收设备信号传递所经过的物理媒介。信道可以有线的,如同轴电缆、双绞线、光纤等,也可以是无线的,如微波、通信卫星、移动通信等。无论是无线还是无线传输,由于传输介质和电信号的固有物理特性,信号在传递过程中会产生干扰和信号衰减。

噪声源是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端,接收设备的功能与发送设备恰恰相反,即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有噪声的接收信号中恢复出相应的原始电信号。

信宿是将复原的原始电信号转换成相应的消息,如电话机将对方传来的电信号还原



成了声音。接收者将接收设备得到的信息进行利用,从而完成一次信息的传递过程。

对于双向通信系统,信息发送者同时也是信息的接收者,反过来信息的接收者也是信息的发送者。通信双方都有发送和接收设备,如果两个方向都有不同的传输媒介,则双方可以独立的发送和接收信息;如果传送和接收公用传输媒介,则需要采用相应技术,如频分或时分的方法来共享传输介质。

1.2.1 通信系统的分类

通信系统具有很多不同的分类方法,比较典型的分类方法如下。

(1) 按信息的物理特征可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统和图像通信系统。

(2) 按信号的调制方式可分为基带传输通信系统、调制传输通信系统。基带传输通信系统是指不经调制的信号直接在信道上传输的系统,如音频市内电话、数字信号的基带传输的通信系统。调制传输通信系统是指对各种信号变换方式后进行传输的总称。调制的目的的一方面是为了将信号变换成便于在信道上传送的形式。如无线传输时,必须将信号加载在高频上才能在自由空间发射出去。另一方面是为了提高通信的性能,有效地利用频带和提高抗干扰的能力。

(3) 按传输信号的特征可分为连续波模拟通信系统(如 AM、DSB、SSB、VSB、FM、PM)、连续波数字通信系统(如 ASK、OOK、FSK、PSK、DPSK)、脉冲波模拟调制通信系统(如 PDM、PAM、PPM)、脉冲波数字调制通信系统(如 PCM、 ΔM)。

(4) 按信道的复用方式可分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)和空分复用(SDM)。FDMA 是利用频谱搬移的方法,使不同信号占据不同的频率范围共享同一信道。TDMA 是利用脉冲调制的方法,使不同信号占据不同的时间区间共享同一信道。CDMA 是利用正交编码的方法,使不同的信号经过同一组正交脉冲序列的正交编码共享同一信道。SDMA 是利用定向天线的办法,使不同的信号经过定向辐射共享同一信道。

(5) 按信号传输的媒介可分为有线通信系统(明线、电缆、光纤),无线通信系统(空间)。

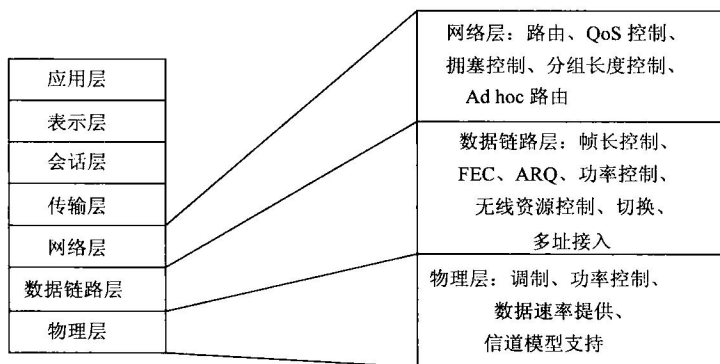
(6) 按信号传输的手段可分为电缆通信系统、微波(中继)通信系统、光纤通信系统、卫星通信系统、移动通信系统、计算机通信系统。

(7) 按信号的传输频段可分为长波通信系统、短波通信系统、中波通信系统、激光通信系统和红外通信系统。



1.2.2 现代通信系统的网络结构

现代无线通信系统发展到今天，与公用电话交换网（PSTN）、因特网（Internet）和其他专用通信网络结合后，已经非常复杂和庞大，它不仅可以服务同一地区人与人之间的相互通信，而且可以为不同地区、国家之间的信息传输提供服务。在这样一个复杂的通信网络中，无线通信主要集中在七层开放系统互联模型（OSI）中的物理层、数据链路层和网络层，如图 1.2 所示。



QoS: 服务质量

FEC: 前向纠错

ARQ: 自动重发请求

图 1.2 现代通信系统在 OSI 中的分层模型

物理层是 OSI 的第一层，它虽然处于最低层，却是整个开放互联系统的基础。物理层为激活、维持和释放系统之间的物理链路定义了电气、机械、过程和功能的标准。这些特征如电压、电流变化的时间、物理数据传输速率、最大传输距离、物理连接器和其他在物理层规范中定义的类似特性。物理层为设备之间的数据通信提供传输媒体及互联设备，为数据传输提供可靠的环境。

物理层的主要功能是为数据端设备提供传送数据的通路，数据通路可以是一个物理媒介，也可以是多个物理媒介连接而成。一次完整的数据传输，包括激活物理连接、传送数据、终止物理连接。所谓激活就是不管有多少媒体参与，都要在通信的两个数据终端设备间连接起来，形成一条通路。

物理层主要用来完成承载信息的信号的调制和解调，为高层信息的传输提供信道，支持在物理媒介上传输信息所要求的全部功能，包括信道的组合、信道定义、分配参数、误码检测、加密、跳频等。物理层要为终端设备间的数据通信提供传输媒体及其连接。媒体是长期的，连接是有生存期的。在连接生存期内，收发两端可以进行一次或多次数据通信。每次通信都要经过建立通信联络和拆除通信联络两个过程。这种建立起来的数据收发关系就叫做数据链路。而在物理媒介上传输的数据难免受到各种不可靠因素的影响而产生差错，为了弥补物理层上的不足，为上层提供无差错的数据传输，就要能对数

据进行检错和纠错。

数据链路层为中间层，它包括各种数据传输结构，接受物理层的服务，向网络层提供服务，包括帧类型识别、序列控制、流量控制、数据格式与错误检测等。数据链路层是为网络层提供数据传送服务的，数据链路可以粗略地理解为数据通道。数据链路的建立、拆除，对数据的检错、纠错是数据链路层的基本任务。

从概念上来说，数据链路层的最高等级就是多址策略。它描述了不同用户间分享物理资源的一般方法。在无线通信系统中，频谱是最主要的资源。通常对任一无线业务，只分配一个固定的频谱。共享频谱的四种多址策略如下。

(1) **FDMA**：早期的无线系统往往是点到点的无线收发系统。一般的方法是为每对用户终端 (UT) 分配一个频道，这就是 **FDMA** (频分多址) 的一种形式。在频域，**FDMA** 通信方式的无线频谱被划分为许多信道，每对用户分配不同的信道。在某些情况下，每个传输方向分配不同的信道，各用户的信号必须被限制在某个特定的信道内，防止对其他用户带来干扰。

(2) **TDMA**：后来的无线通信系统被设计成点到多点的运行方式，许多用户共享一个中心基站 (BS)。多个 UT 按时间分享一个或多个无线信道，即 **TDMA** (时分多址)。早期的 **TDMA** 使用带按键讲话协议的模拟调制，用户等到信道不被占用时，就按其话筒按钮开始讲话。此类的一个典型实例就是出租车分派系统。随着数字技术的进步，**TDMA** 采用更加复杂和有效的共享策略实现数据通信，典型方法是把时间分成帧，每一帧再分成时隙。对于每个帧，每一个激活的 UT 分配一个和多个时隙。**TDMA** 可以使多个用户共享同一个信道，从而提高了信道的传输效率。

(3) **CDMA**：是抗干扰能力非常好的一种扩频调制方式，通过为特定用户分配某一特定码 (扩频码)，以便与其他用户相区分并在时域和频域共享同一个信道。扩频技术在一个大的带宽范围内扩展了承载信息的数据，从而获得了所期望的平均效果。因此，**CDMA** 技术用于蜂窝移动通信，可在适当的环境下允许相同频谱为相邻小区的多个用户终端同时使用。

(4) **SDMA**：是空分多址复用方式，不同于以上三种多址方式。**SDMA** 一般情况下不采用全向天线，而是采用灵巧方向天线或智能天线，通过各个用户终端的空间角度分割共享信道。

网络层是 OSI 参考模型中的第三层，是通信子网的最高层。网络层的产生是网络发展的结果。当数据终端增多时，它们之间有中继设备相连，此时会出现一台终端要求不只是与唯一的一台而是能和多台终端通信的情况，这就产生了把任意两台数据终端设备的数据链接起来的问题，也就是路由或者叫做寻径。另外，当一条物理信道建立之后，被一对用户使用，往往有许多空闲时间被浪费掉。人们自然会希望让多对用户共用一条链路，为解决这一问题，就出现了逻辑信道技术和虚拟电路技术。



网络层关系到通信子网的运行控制,体现了网络应用环境中资源子网访问通信子网的方式。网络层的主要任务是设法将源结点处的数据包传送到目的结点,从而向传输层提供最基本的端到端的数据传送服务。网络层应该具备为传输层提供服务、组包和拆包、路由选择、流量控制功能。

1.2.3 现代通信网络的跨层优化设计

在优化网络吞吐量时,要满足随应用而变的 QoS 要求,需要将网络层设计渗透到物理层设计。不同的应用应由不同的优化方法来服务,这就要求网络设计在模糊层次分隔和跨层优化功能上进行改进。在两个层次分别采取两种不同技术,如物理层的 4×1 空时分组码和 MAC (媒体访问控制) 层类似 CDMA2000 1X EV/DO 的贪婪调度算法,改进系统性能。STBC (空时块码) 有能力在物理层提供分集增益,而对基于来自移动终端的反馈信息,在信干噪比最大时,通过分组传输至移动终端的贪婪调度算法可获得多用户分集。然而,在贪婪调度算法上叠加 4×1 空时分组码,将以 4 倍的 RF 占用成本换取系统的增益;另外,随着用户数的增加,STBC 还将降低 SINR,这说明物理层和 MAC 层最好一起优化系统的性能。贪婪调度算法不适用对时延有严格要求的语音业务,却可采用有分集增益的 STBC;对时延不敏感的网络流量可采用贪婪调度算法。利用物理层、数据链路层和网络层间传输控制信息进行联合优化,可最大限度地利用无线网络资源,提高系统的整体性能。

在新一代多媒体网络优化设计时,不仅要考虑静态跨层优化,还应考虑动态跨层自适应优化。传统的网络设计也包含一些自适应能力,如利用自适应信号处理调整信道参数、更新路由表、改变流量负载等,但这些调整更新与网络层次是不相关的。跨层自适应优化允许网络功能同时在功能和自适应之间通过信息交换,满足网络负载、信道环境和 QoS 可变的要求。

跨层优化设计中实时动态优化网络是难以实现的,但可以进行一些限制性设计。跨层优化设计中应采用测度,在传统网络层次设计中有优先权准则,如物理层准则是比特差错率,MAC 准则是结点吞吐量或信道现存性,网络准则是时延和路由效率。这就提出什么测度代表未来系统的主要性能,如何综合优化这些测度,如何对这些测度进行优先权排序等问题。

在跨层动态优化中,需要复杂的建模或仿真过程。若把网络功能加到传统物理层仿真器上,将产生无法实用的问题。另外,由于物理层仿真器采用时间驱动法,而网络仿真器采用事件驱动法,存在方法不同问题。解决上述问题的方法是采用双层仿真法,即用物理层仿真器的输出去激发网络仿真器。但是,这种方法不允许层次间有相互作用,不利于跨层优化设计。可采取混合高层次的功能性能仿真和低层次的功能性能半分析仿真解决这一问题。