



国防特色教材·信息与通信技术

软件无线电技术与应用

RUANJIAN WUXIANDIAN JISHU YU YINGYONG

杨小牛 楼才义 徐建良 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·信息与通信技术

软件无线电技术与应用

杨小牛 楼才义 徐建良 编著

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

软件无线电作为无线电工程的现代方法,不仅在无线通信领域获得了广泛应用,在其他无线电工程领域也已显示出广阔的应用前景。本书全面系统地介绍了软件无线电的基本概念、基本理论、实现技术、软件算法及其在无线电工程领域中的典型应用。全书深入浅出、通俗易懂,理论与实际相结合,实用性强。

本书不仅可以作为电子信息、通信专业本科生、研究生教材或学习参考书,也可供通信、电子战、雷达、航空航天电子、消费电子等领域的工程技术人员用作技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

软件无线电技术与应用/杨小牛,楼才义,徐建良编著. —北京:北京理工大学出版社,2010.4

国防特色教材. 信息与通信技术

ISBN 978-7-5640-2964-7

I. ①软… II. ①杨…②楼…③徐… III. ①计算机通信-无线电通信-高等学校-教材 IV. ①TN92-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 240196 号

软件无线电技术与应用

杨小牛 楼才义 徐建良 编著
责任编辑 唐 爽

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

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

北京圣瑞伦印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787 毫米×960 毫米 1/16 印张:36.5 字数:750 千字
2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷 印数:1~3000 册

ISBN 978-7-5640-2964-7 定价:75.00 元

前 言

“软件无线电(Software Radio)”这个概念自从 Joseph Mitola III 博士首次于 1992 年 5 月在美国的全国电信系统会议(National Telesystem Conference)上明确提出以来,软件无线电技术已经经过了 17 年的发展历程。在这 17 年的发展历程中,软件无线电可以说经历了从不被接受到被接受,从不受重视到受重视,从单领域小范围研究到多领域广泛研究的不平凡的发展历程。目前,“软件无线电”这个术语已经不再像十多年前那样,对大多数人来说是一个非常陌生的新鲜词汇了,也已经不再是通信领域工程师的专有名词。因为软件无线电尽管一开始是从军事通信领域提出来的,但经过十多年的研究和推广应用,软件无线电已经从军事通信领域渗透到了包括民用移动通信、雷达、电子战、测控,甚至电视广播等无线电工程的各个领域。作者想强调的是,软件无线电已经成为无线电工程的一种通用的现代方法,是无线电工程领域的一种新的设计理念、设计思想。软件无线电概念的提出使无线电工程师的设计理念从以硬件为核心走向以软件为核心,使无线电工程与系统设计思想发生了质的飞跃。作者认为,这不仅是软件无线电的核心内涵,也是 Joseph Mitola III 博士提出软件无线电概念的重要价值所在。

作者是从 1994 年开始研究当时还不被作者所熟悉的“软件无线电”的,主要研究如何把多率信号处理用于实现射频宽开接收机,并于 1996 年发表了作者第一篇与软件无线电相关的论文:《多率信号处理及其在通信对抗中的应用》。随着研究的进展,作者积累了与软件无线电有关的许多工程技术经验和基础理论知识,并于 2001 年 1 月编写出版了学术专著《软件无线电原理与应用》。作为国内第一本系统论述软件无线电基本原理、实现技术及其应用的专著,它的出版发行得到了工程技术人员和在校师生的广泛好评,对推动软件无线电技术的发展作出了重要贡献。本国防特色教材就是在《软件无线电原理与应用》专著的基础上,结合软件无线电的最新发展和作者的最新研究成果,通过增加相关内容撰写而成的。本教材除了第 1 章概述之外,主要分为三大部分:第 2~3 章为基础理论部分,主要介绍软件无线电涉及的基础理论,包括软件无线电中的信号采样理论、多率信号处理、高效数字滤波以及正交信号变换等;第 4~6 章为软件无线电实现技术部分,主要介绍软件无线电的硬件实现技术和软件算法,并简单介绍了软件通

信体系结构(SCA)框架;第7~9章为软件无线电的应用部分,主要讨论了软件无线电在智能天线、军事通信、移动通信、电子战、雷达、武器系统、天基信息系统、数字电视中的应用,提出了“软件雷达”、“软件星”、“软件电视”等新概念、新思想,最后介绍了以软件无线电为基础平台的认知无线电的基本概念和实现原理。值得指出的是,本教材的第1章概述部分对软件无线电的起源、基本概念、软件无线电的发展历程以及软件无线电的特点进行了全面论述和系统总结,这一章内容对深刻理解什么是软件无线电,全面把握软件无线电的核心内涵以及软件无线电的基本框架是非常重要的,建议读者尤其是初学者要认真阅读第1章内容,这对后续软件无线电的学习和今后软件无线电的工程实践都是非常有益的。

作为本科高年级学生和研究生教材,本书力求在理论上系统全面,并形成软件无线电的理论框架,使读者通过本课程的学习能够系统掌握软件无线电的基础理论,为软件无线电研究和应用开发奠定扎实的理论基础;同时,为了体现实用性,本教材还把软件无线电的一些实用技术作为重要内容进行了比较详细的介绍,如软件无线电的射频前端设计、数字前端(上下变频器)设计、软件无线电专用芯片、高速DSP/GP等,并贯穿了大量的设计实例,供读者在软件无线电实践中进行参考;另外,作为国防特色教材,本书重点介绍了软件无线电在国防领域的典型应用,如在军事通信、电子战、雷达、武器平台的综合一体化、天基信息系统等领域的应用,较好地体现了本教材的国防特色。考虑到为了适合本科、硕士、博士等不同层次学生学习的需要,本教材力求内容丰富全面,所以整个教材篇幅显得较大,但可以根据不同层次学生的知识背景和所学专业进行适当裁减,其中1~3章、第4章的4.1~4.3节、第5章的5.1~5.3节为必修内容,其他章节可以根据需要进行选修。

本教材内容丰富、技术新颖、实用性强,不仅可作为电子信息类高年级本科生、研究生教材或教学参考书,也可以作为通信、雷达、航空航天、电子战、消费电子等各个领域的设计工程师和科研人员的继续教育或工程实践的技术参考书。为提高教学质量,本教材不仅包括了大量的思考题和习题,还附有不少Matlab仿真程序供读者学习时参考,以加深对所学知识的理解和掌握。

本教材由杨小牛、楼才义、徐建良编著,其中杨小牛编写了第1、第2、第3、第7、第8章的5.5节,楼才义编写了4.1、4.2、5.1、5.3、5.4节和第9章,徐建良编写了4.3、4.4、4.5、4.6、5.2节和第6章;参加部分章节编写、仿真程序编写、文字校对和初稿编辑整理的同志还有郑仕链、陈仕川、贾璐、李少伟、张大海、王文勇、李

新付、李世杰、王挺、章军、胡俊杰、陈良文、俞书峰等,在此对他们为本教材的顺利出版所付出的辛勤工作一并表示衷心的感谢。国防科工局国防特色教材建设办公室为本教材的出版做了大量的组织论证工作,并为教材的顺利出版给予了资助,在此表示衷心感谢;同时还要特别感谢北京理工大学出版社为本书出版所给予的大力支持和帮助。

软件无线电概念虽然已经提出 17 年,到目前国内外也已经出版了多本软件无线电方面的学术专著,但作为教材出版的书籍还不多见。由于作者水平所限,再加上作者又是从事工程技术研究的科技人员,在教材编写方面还很缺乏经验,无论是全书的整体安排和结构,还是全书的写作风格可能跟教材编写要求会有比较大的差距,书中也难免存在各种各样的错误或问题,敬请读者批评指正,以便于在今后的再版中不断完善和改进。

作者于南湖之滨嘉兴

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 什么是软件无线电	1
1.1.1 第一代移动通信:模拟无线电	2
1.1.2 第二代移动通信:数字无线电(窄带)	3
1.1.3 第三代移动通信:数字无线电(宽带)	5
1.1.4 第四代移动通信:软件无线电	7
1.2 软件无线电的定义与特点	9
1.2.1 软件无线电的定义	9
1.2.2 软件无线电的特点	10
1.2.3 软件无线电方法论	13
1.3 软件无线电的发展历程	13
1.3.1 软件无线电的提出	14
1.3.2 软件无线电(SDR)论坛	15
1.3.3 软件无线电的先行者:SPEAKeasy	16
1.3.4 软件无线电的推动者:JTRS 与 SCA	17
1.3.5 软件无线电发展展望	18
1.4 软件无线电体系框架与本书结构	18
参考文献	19
思考题	20
第 2 章 软件无线电理论基础	22
2.1 信号采样基本理论	22
2.1.1 Nyquist 采样定理	22
2.1.2 带通信号采样理论	25
2.2 软件无线电中的信号采样	30
2.2.1 允许过渡带混叠时的采样定理	30
2.2.2 软件无线电中的正交低通采样	32
2.2.3 软件无线电中的宽带中频带通采样	33
2.2.4 软件无线电中的射频直接带通采样	35

2.2.5 带通采样对采样频率的精度要求	41
2.3 多率信号处理(Multirate Signal Processing)	42
2.3.1 采样信号的等效基带谱与抽取基本概念	43
2.3.2 低通信号的整数倍抽取	44
2.3.3 数字带通信号的抽取	47
2.3.4 整数倍内插	54
2.3.5 取样率的分数倍变换	56
2.3.6 取样率变换性质	58
2.3.7 抽取、内插器的多相滤波实现	60
2.3.8 取样率变换的多级实现	62
2.4 软件无线电中的高效数字滤波	64
2.4.1 数字滤波器设计基础	65
2.4.2 适合于 $D=2^M$ 倍抽取或内插的半带滤波器	70
2.4.3 积分梳状(CIC)滤波器	74
2.5 软件无线电中的正交信号变换	80
2.5.1 正交变换基本概念	80
2.5.2 窄带信号的正交分解与模拟域实现	82
2.5.3 数字混频正交变换	86
2.5.4 基于多相滤波的数字正交变换	87
2.5.5 基于正交变换的瞬时特征提取:CORDIC 算法	91
2.5.6 多信号正交变换	94
参考文献	95
思考题	95
第3章 软件无线电体系结构	101
3.1 软件无线电的三种结构形式	101
3.1.1 低通采样软件无线电结构	102
3.1.2 射频直接带通采样软件无线电结构	103
3.1.3 宽带中频带通采样软件无线电结构	104
3.1.4 三种软件无线电结构的等效数字谱	106
3.2 软件无线电接收机体系结构	109
3.2.1 单通道软件无线电接收机	109
3.2.2 多通道软件无线电接收机	114

3.3 多相滤波信道化接收机体系结构	115
3.3.1 数字滤波器组与信道化基本概念	115
3.3.2 复信号的多相滤波信道化接收机	118
3.3.3 实信号的多相滤波信道化接收机	120
3.4 软件无线电发射机体系结构	123
3.4.1 单通道软件无线电发射机	124
3.4.2 多通道软件无线电发射机	127
3.5 信道化软件无线电发射机体系结构	129
3.5.1 信道化发射机的基本概念	129
3.5.2 复信号输出的多相滤波信道化发射机	131
3.5.3 实信号输出的多相滤波信道化发射机	133
参考文献	139
思考题	140
第4章 软件无线电硬件平台设计	142
4.1 软件无线电的射频前端	142
4.1.1 射频前端的组成结构	142
4.1.2 射频前端各功能模块的设计	144
4.1.3 射频前端的指标	154
4.1.4 射频前端与 ADC 的匹配设计及性能分析	164
4.2 软件无线电中的 A/D/A 技术	168
4.2.1 A/D 转换器原理	169
4.2.2 A/D 转换器性能指标	172
4.2.3 A/D 转换器的选择	181
4.2.4 数据采集模块的设计	194
4.2.5 D/A 转换器的基本原理	196
4.3 软件无线电数字前端	201
4.3.1 软件无线电数字前端的定义	201
4.3.2 软件无线电中的数字接收前端(数字下变频 DDC)	203
4.3.3 软件无线电中的数字发射前端(数字上变频 DUC)	209
4.3.4 软件无线电数字前端的 FPGA 实现	211
4.3.5 软件无线电数字前端的 ASIC 实现	219
4.4 高速数字信号处理器	251
4.4.1 软件无线电信号处理的特点	251

4.4.2	数字信号处理器的选择技巧	253
4.4.3	数字信号处理器(DSP)介绍	255
4.4.4	DSP 器件软件编程	276
4.4.5	通用处理器(GPP)介绍	278
4.5	高速 FPGA 设计技术	282
4.5.1	软件无线电中的高速 FPGA	282
4.5.2	FPGA 基本原理	287
4.5.3	FPGA 典型芯片介绍	289
4.5.4	基于高速 FPGA 的软件无线电系统设计	293
4.6	软件无线电硬件系统设计	305
4.6.1	软件无线电硬件系统设计原则	305
4.6.2	软件无线电硬件系统设计	313
4.6.3	软件无线电系统设计实例	327
	参考文献	333
	思考题	334
第 5 章	软件无线电信号处理算法	336
5.1	软件无线电中的调制算法	336
5.1.1	信号调制通用模型	336
5.1.2	模拟信号调制算法	337
5.1.3	数字信号调制算法	342
5.2	软件无线电中的解调算法	349
5.2.1	信号解调通用模型	349
5.2.2	模拟调制信号解调算法	351
5.2.3	数字调制信号解调算法	354
5.3	软件无线电中的同步算法	360
5.3.1	数字锁相环	360
5.3.2	同步参数估计	362
5.3.3	软件无线电中的载波同步算法	365
5.3.4	软件无线电中的位同步算法	376
5.3.5	载波和位同步的联合最大似然估计算法	380
5.3.6	软件无线电中的帧同步算法	382
5.4	软件无线电中的均衡算法	383
5.4.1	线性均衡算法	383

5.4.2 判决反馈均衡算法	386
5.4.3 自适应均衡算法	387
5.4.4 盲均衡算法	392
5.5 调制样式自动识别算法	397
5.5.1 模拟调制信号的自动识别	397
5.5.2 数字调制信号的自动识别	400
5.5.3 模拟数字调制信号的联合自动识别	401
5.5.4 信号调制样式自动识别中应注意的几个问题	404
5.5.5 基于人工神经网络的调制识别	408
参考文献	410
思考题	411
第6章 软件通信体系结构(SCA)	412
6.1 SCA 规范介绍	412
6.1.1 SCA 的基本概念	412
6.1.2 SCA 规范介绍	414
6.2 SCA 系统工作原理	430
6.2.1 SCA 系统的运行及管理	430
6.2.2 波形应用的安装和卸载	433
6.2.3 波形应用的实例化和控制	433
6.3 波形应用开发	435
6.3.1 波形描述语言(WDL)	435
6.3.2 SCA 波形应用的开发过程	438
6.3.3 SCA 波形应用开发的实例	439
参考文献	440
思考题	441
第7章 基于软件无线电的智能天线	442
7.1 智能天线的基本概念	442
7.1.1 智能天线基本原理(线阵波束形成)	443
7.1.2 圆形阵的多波束形成	446
7.1.3 多波束形成天线的实现方法	448
7.2 基于软件无线电的智能天线实现原理	450
7.2.1 单信道智能天线	450

7.2.2 多信道智能天线	451
7.2.3 信道化智能天线	452
7.3 智能天线基本算法	453
7.3.1 波束形成算法概述	453
7.3.2 Capon 波束形成算法	454
7.3.3 空间“零陷”波束形成算法	455
7.4 智能天线中的波达方向估计	459
7.4.1 波达方向估计(测向)基本原理	459
7.4.2 相位干涉仪波达方向估计	461
7.4.3 子空间分解波达方向估计(MUSIC 算法)	463
7.4.4 信号个数的估计	467
参考文献	476
思考题	477
第 8 章 软件无线电在无线工程中的应用	479
8.1 软件无线电在军事通信中的应用	479
8.1.1 软件无线电的先驱——MBMMR 电台	480
8.1.2 联合战术无线电系统(JTRS)	481
8.2 软件无线电在移动通信中的应用	485
8.2.1 软件无线电基站接收分系统	486
8.2.2 软件无线电基站发射分系统	493
8.2.3 软件无线电基站的技术挑战	496
8.2.4 软件无线电手持终端(移动手机)	498
8.3 软件无线电在电子战中的应用	500
8.3.1 软件无线电侦察接收机	501
8.3.2 基于多相滤波的电子战信道化接收机	506
8.3.3 软件无线电干扰发射机	508
8.3.4 基于智能天线的电子侦察系统	512
8.4 软件无线电在雷达中的应用——“软件雷达”	516
8.4.1 “软件雷达”的基本概念	516
8.4.2 软件雷达的实现原理	517
8.4.3 相控阵软件雷达系统	519
8.5 软件无线电在天基信息系统中的应用——“软件星”	521
8.5.1 “软件星”基本概念	522

8.5.2 “软件星”有效载荷的组成原理	522
8.5.3 基于“软件星”的综合一体化天基信息系统	524
8.6 软件无线电在武器平台中的应用:综合一体化	526
8.6.1 航空电子信息的综合一体化	527
8.6.2 舰船电子信息的综合一体化	532
8.6.3 电子信息系统综合一体化发展展望	537
8.7 软件无线电在电视中的应用——“软件电视”	538
8.7.1 软件可定义数字电视发射机	540
8.7.2 软件可定义数字电视接收机	543
8.7.3 现代住宅交互式信息系统	544
参考文献	546
思考题	547
第9章 软件无线电的新发展——认知无线电	549
9.1 认知无线电基本概念	549
9.1.1 认知无线电的提出背景	549
9.1.2 认知无线电的定义及特点	550
9.1.3 认知无线电关键技术	551
9.2 认知无线电的认知循环过程	552
9.2.1 频谱感知	552
9.2.2 频谱分析	553
9.2.3 频谱决策	553
9.2.4 频谱会聚	554
9.2.5 频谱监视	554
9.2.6 频谱切换	554
9.3 频谱感知技术	555
9.3.1 接收机检测频谱感知	555
9.3.2 发射机检测频谱感知	556
9.3.3 协作频谱感知	559
9.3.4 多维频谱感知	560
9.4 IEEE802.22 标准	560
9.4.1 物理层接口	561
9.4.2 MAC 层接口	562
9.4.3 其他接口要求	563

9.5 基于盲源分离的认知无线电	564
9.5.1 盲分离无线电的组成架构	564
9.5.2 盲分离基本原理	565
9.5.3 盲分离实际试验结果与展望	565
参考文献.....	566
思考题.....	566

第 1 章 概 述

“软件无线电(Software Radio)”这个概念最早是由美国 MITRE 公司的 Joseph Mitola III 博士首次于 1992 年 5 月在美国的全国电信系统会议(National Telesystem Conference)上明确提出的^[1]。经过 17 年的发展,目前“软件无线电”这个术语已经不再是一个新鲜的词汇了。更为重要的是,尽管软件无线电是 Joseph Mitola III 博士为解决军事通信的“通话难”(美国三军或盟军之间互联互通困难)问题首先从军事通信领域提出来的^[2],但是到现在软件无线电这个术语已经不再是通信专业人士的专有名词,它已经从军事通信领域渗透到了包括民用移动通信、雷达、电子战、测控,甚至电视广播等无线电工程各个领域^[3]。正如 Jeffrey H. Reed 的专著《软件无线电:无线电工程的现代方法》^[4]的书名所蕴涵的意思那样,我们说软件无线电是无线电工程的现代方法是毫不夸张的,甚至可以认为这一说法从某种意义上是对软件无线电最准确的定义,即“软件无线电”是无线电工程中的新方法,是一种设计理念,也是一种思想体系。无论你愿意不愿意,主动不主动,只要你是从事无线电系统或工程设计开发的设计师或研发人员,一旦你对它有所了解,你都将会自觉或不自觉地接受它、吸纳它,并从中获得预想不到的收益或收效。

本章将以最具代表性的民用移动通信的发展为例,介绍什么是软件无线电,为什么会提出软件无线电,软件无线电有什么特点,为什么软件无线电是现代无线电工程的一种方法论,软件无线电的体系框架等内容。通过这些讨论,使读者对软件无线电有一个清晰的理解和认识,建立起软件无线电最基本的一些概念,为后续章节的讨论奠定思想基础。本章内容虽然以文字表述为主,没有什么理论推导或数学描述,但对深刻理解什么是软件无线电是至关重要的,建议读者不要跳过这一章,尤其是对初学者更要认真阅读。

1.1 什么是软件无线电

如前所述,软件无线电概念最早是从通信领域提出来的,所以什么是软件无线电从通信角度来解释是最容易被理解和接受的。无线通信领域让大家感触最深的是民用移动通信的快速发展,民用移动通信在短短的二十多年时间里已发展了三代:20 世纪 80 年代的模拟体制(TACS/AMPS)为第一代移动通信(简称 1G);20 世纪 90 年代的数字体制(GSM/CDMA/TDMA)为第二代移动通信(简称 2G);现在已开始进入第三代,即我国提出的 TD-SCDMA 和美国提出的 CDMA2000 以及欧洲提出的 WCDMA 等体制(简称 3G);而第四代移动通信标准也正在酝酿之中,但有一点是可以肯定的,那就是第四代移动通信将全面采用软件无线电技术。由此可见,移动通信经历了从模拟无线电到数字无线电,再从数字无线电到软件无线电的

发展历程。下面简单介绍一下这四代移动通信体制的技术特点,从而回答什么是软件无线电,以及为什么要提出软件无线电概念等问题。

1.1.1 第一代移动通信:模拟无线电

第一代移动通信系统的主要目标是为在大范围内有限的用户提供移动电话服务。第一代移动通信系统的特点是:用户数量相对较少;业务密度相对较低;小区半径较大,一般从几十千米;每个小区使用一定数量的无线信道频率。在 20 世纪 70 年代末,AT&T 贝尔实验室开发了称为高级移动电话业务(AMPS)的美国第一个蜂窝电话系统。AMPS 于 1983 年年末在芝加哥第一次投入使用。欧洲的全接入通信系统(TACS)在 80 年代中期开发成功,除信道带宽为 25 kHz 与 AMPS 的 30 kHz 不同外,它实际上与 AMPS 是基本一致的。我国于 20 世纪 80 年代后期引进了欧洲的 TACS 移动通信体制(就是在当时流行一时的“大哥大”)。无论是美国的 AMPS 还是欧洲的 TACS,都采用模拟技术体制,多址方式为频分复用(FDMA),即分配给每个移动基站一定数量的载频,用于与手机用户之间的话音通信;话音调制采用普通的模拟调频(FM)体制。AMPS 使用了 800~900 MHz 频段中 20 MHz 带宽的 666 个信道,其中 624 个话音信道,42 个控制信道(AMPS 采用 10 Kb/s 的 FSK 调制,TACS 则为 8 Kb/s 的 FSK 调制)。除了 AMPS 和 TACS 这两大系统外,国际上还有很多其他体制的第一代移动通信系统,如法国的 Radiocom 2000 系统、北欧的 NMT 系统、日本的 NTT 等。表 1-1 列出了第一代移动通信系统的无线接口概况。

表 1-1 第一代移动通信系统无线接口概况

系统名称	AMPS	TACS	Radiocom2000	NMT900	NAMTS
多址方式	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA
使用频段:					
下行链路/MHz	869~894	935~960	424.8~428	890~915	870~885
上行链路/MHz	824~849	890~915	414.8~418	935~960	925~940
信道间隔/kHz	30	25	12.5	12.5	25/12.5
调制方式	FM	FM	PM	FM	FM
信道数	832	1000	1999	256	600
控制信令	FSK $\pm$ 8 kHz	FSK $\pm$ 6.4 kHz	FFSK/NRZ	FSK $\pm$ 3.5 kHz	FSK $\pm$ 4.5 kHz
使用地区	美国	欧洲/中国	法国	北欧	日本

图 1-1 给出了第一代移动通信系统接收机组成框图^[5]。经天线接收的无线电信号首先通过带通滤波器的滤波和低噪声放大器的信号放大,送给第一混频器进行射频到中频的频率

变换,把射频信号变换为 45 MHz 的中频信号;该中频信号经过中频放大后再与第二本振混频,把 45 MHz 的第一中频信号变换为 462.5 kHz 的第二中频信号,中频滤波器的带宽取决于信号带宽,对于 AMPS 系统为 30 kHz, TACS 系统则为 25 kHz,其他系统则选择 12.5 kHz;第二中频信号经过中频放大后送到锁相环 FM 解调器进行解调,最后通过耳麦输出话音信号。

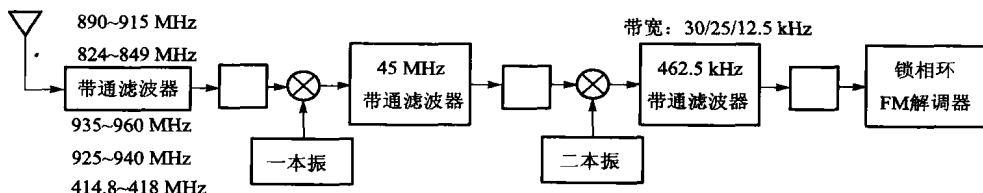


图 1-1 第一代模拟移动通信系统接收机组成框图

图 1-1 所示的接收机看起来似乎非常简单,它的特点是全部采用模拟技术来完成整个接收解调过程。所以,第一代移动通信系统可以称其为模拟无线电。这种模拟体制无线电存在的最大问题是无法适应多种通信体制:首先,包括带通滤波器、一本振在内的低噪声前端电路必须按照不同移动通信体制所对应的工作频段来设计,比如对应表 1-1 给出的 5 种体制不同的工作频段就需要设计 5 种射频前端;第二,由于不同的通信体制采用了不同的信号带宽和调制参数,图 1-1 中的中频滤波器也需要设计成与其相匹配的带宽,后续的解调器也同样需要按照不同体制所采用的调制方式(FM、PM)和调制参数(如 AMPS 的话音调制频偏 ± 12 kHz, TACS 的话音调制频偏 ± 12.726 kHz, NAMTS 的话音调制频偏 ± 5 kHz)来设计。也就是说按照某一标准设计的接收机只能适用于特定的通信体制,除非通过增加硬件把不同的滤波器带宽、解调方式、射频前段等全部包括进去,通过开关切换来选择其工作频段、带宽和解调方式。但是,这样做势必大大增加硬件的复杂性和体积、成本,尤其对于手机是非常不可取的。总之,由于受当时技术水平的限制,第一代移动通信系统采用了模拟无线电技术体制,特点是中频带宽为单信道窄带体制,一部接收机同时只能解调处理一个用户的信号,通信功能完全由定制的硬件决定,致使模拟无线电存在信号适应能力差、缺乏灵活性等问题,更无法满足可扩展、可升级的高要求。

1.1.2 第二代移动通信:数字无线电(窄带)

随着第一代移动通信系统的推广使用,移动通信在全球范围内取得了飞速的发展。第一代移动通信系统由于受模拟技术体制的限制已无法满足越来越广泛的用户需求,于是就提出了基于数字体制的第二代移动通信系统。第二代移动通信系统相比于第一代移动通信系统的主要区别是:

- ① 第二代移动通信系统采用了数字调制技术,具有更强的抗干扰能力和更大的通信容量