



**Principle and Technology of Software
Defined Radio**

软件无线电原理与技术

◆ 主 编 向 新
副主编 张发启 王兴华 李建海 张 斌



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

TN92-39/1

2008

内容简介

软件无线电原理与技术

主 编 向 新

副主编 张发启 王兴华

李建海 张 斌



西安电子科技大学出版社
 地址：西安市太白南路2号
 电话：(029)88242882 88201482 邮编 710071
<http://www.xidian.com> E-mail: xidian@pub.xidian.com

ISBN 978-7-269-1396-1
 定价 30.00元
 印数 1~4000册
 字数 388千字
 开本 787毫米×1092毫米
 版次 2008年2月第1版
 印刷单位 西安文化印刷厂

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书从实际应用的角度,系统地介绍了软件无线电技术的定义和技术特点,并对软件无线电所涉及的各个重要方面进行了介绍,内容涵盖硬件结构、软件结构、接收机、发射机、可重构天线阵列等,最后对软件无线电系统 SPEAKeasy 进行了说明。

本书适合软件无线电等相关专业的从业人员阅读,也可作为高等院校通信、电子类专业本科生的教材或研究生的参考书籍。

译 向 新 主

毕 兴 王 孙 安 洪 编 主 隔

版 米 高 数 李

图书在版编目(CIP)数据

软件无线电原理与技术/向新主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.5

ISBN 978-7-5606-1996-5

I. 软… II. 向… III. 计算机通信—无线电通信 IV. TN92-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 011966 号

策 划 云立实

责任编辑 许青青 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2008年5月第1版 2008年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 16.5

字 数 388千字

印 数 1~4000册

定 价 26.00元

ISBN 978-7-5606-1996-5/TN·0411

XDUP 2288001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

8005

前

言

软件无线电是 20 世纪 90 年代后发展起来的具有重大突破性质的通信新技术，是继数字技术之后的一个重大变革，这项技术已经开始在军事和民用通信中得到了广泛应用。目前，“软件无线电”已经不是一个新鲜的词汇了，即便是不够了解通信专业的人也可能听说过这个词。虽然真正的软件无线电系统还是很少，但毫无疑问，未来的通信系统将由于软件无线电技术的应用而与我们所见到的完全不同。

我们往往被“软件无线电”这个词简单的外表所迷惑，失去探究其真正含义的动力。因此编者希望把自己的一些体会总结出来，能够让读者轻松地了解什么是软件无线电，为什么会有软件无线电，软件无线电的特点是什么，这也是本书写作的目的之一。

要说明的是，学习软件无线电不是学习数字信号处理和通信原理，而是学习一种新的无线体系结构。为了能够快速理解“软件无线电”的概念，编者认为有一个说法非常贴切，即软件无线电是“通信世界的个人计算机”，或者说软件无线电就是有射频前端的计算机。未来一个单一的无线终端就可以实现现在多种无线终端的功能，因此，软件无线电是一种非常令人激动的无线技术，在无线设备设计、制造、部署、使用等诸多方面都将产生根本性的变革。同时，这项技术的出现也将使通信等相关专业的从业人员的知识结构发生重大的变化，通信技术将最终和数字信号处理、计算机技术等相融合。

本书以实际通信系统的需求为主线，对软件无线电的含义和所涉及的各方面技术进行了综合介绍和讲解，主要内容涉及软件无线电的定义、特点、历史、软/硬件结构、收发机技术、采样技术、天线技术以及未来发展等。由于篇幅所限，本书内容突出实用性，注重明晰概念，而不是探究艰深的理论，基本上不涉及复杂的公式推导和数学模型，凡需要深入理解的地方，请读者参阅相关文献。为此，本书也相应列出了写作时所使用的参考文献，以备读者查阅。

本书共分 9 章，各章节的主要内容如下：

第 1 章软件无线电综述。本章介绍了软件无线电的定义、发展历史和关键技术等。

第 2 章软件无线电硬件体系结构。本章介绍了软件无线电通用硬件平台的构建技术、基本结构和各自的特点，对软件无线电所依赖的硬件核心（即数字信号处理硬件）GPP、DSP 和 FPGA 芯片的特点进行了说明和对比。

第 3 章软件无线电软件体系结构。本章介绍了软件无线电系统中软件系统的构成以及基本特点、面向对象的编程方式以及软件通信结构，并对软件下载与安装等软件无线电所面临的问题进行了说明。

第 4 章采样技术与量化。采样技术和量化建立了实际模拟信号与数字信号之间的联系，其中采样技术的选择也决定着软件无线电系统的组成。软件无线电实现的理想程度在很大程度上取决于采样技术的实现。本章对软件无线电中所涉及的采样技术进行了较为充

分的论述和对比,几乎包括除了非均匀采样以外的所有采样概念,即低通采样、带通采样、上采样、下采样、子采样、过采样、欠采样、正交采样等。本章最后对数字转换器进行了介绍。

第5章软件无线电接收机。本章对软件无线电所采用的接收机结构进行了介绍,包括外差式、零中频式、低中频式、宽中频式以及信道化接收机,并对各结构面临的技术问题进行了说明。

第6章软件无线电发射机。本章对软件无线电发射机的结构进行了介绍,包括外差式、零中频式、低中频式、宽中频式以及信道化发射机,并介绍了射频线性化方面的知识。

第7章可重构多天线阵列。可重构多天线阵列是软件无线电实现所必需的射频技术之一,也是近年来通信的发展方向之一。本章介绍了可重构多天线阵列的两个大的技术分支:智能天线和MIMO技术,并对二者进行了比较。

第8章软件无线电的发展——认知无线电。本章首先介绍了软件无线电的高级形式——认知无线电的概念以及技术特点,然后介绍了世界上第一个基于认知无线电技术的无线区域网络WRAN。

第9章软件无线电系统实例——SPEAKeasy。本章对世界上第一个实用的软件无线电系统——SPEAKeasy进行了详细介绍,包括发展历程、技术状况、未来趋势等,是对软件无线电系统的一个综合介绍。这部分内容也可以在学习完第1章后直接阅读。

本书在最后提供了一个附录,对复信号、解析信号等的概念及其应用进行了简要说明。

编者假定读者具备一定的通信原理、信号处理、计算机等方面的相关知识。本书内容适合软件无线电相关专业的从业人员阅读,也可作为高等院校通信、电子类本科生的教材或研究生的参考书籍。

在本书出版之际,特别感谢张发启副教授,由于他的努力本书才得以顺利出版。王兴华副教授、李建海副教授、张斌副教授和赵罡、周向东等也参与了本书的编写工作,在此也表示感谢。赵继文研究员对本书的编写给予了大力支持,并提出了许多宝贵意见,西安电子科技大学出版社曹立实和许青青两位编辑也对本书进行了细致的审读加工,在此一并表示衷心的感谢。

感谢导师易克初教授、杜兴民教授对我多年的教诲。

感谢我的家人和朋友的支持。

本书的写作参阅了数百篇国内外相关文献和书籍,由于篇幅有限,这些参考文献未能一一列出,在此特向这些参考文献的作者表示由衷的歉意。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编者电子邮件地址:xiangxin2002@hotmail.com或xxisdn2002@sina.com。

2007年12月

目 录

第 1 章 软件无线电综述	1
1.1 软件无线电的定义	1
1.2 软件无线电的起源和发展	6
1.3 软件无线电的研究热点和难点	10
1.4 软件无线电的未来	11
第 2 章 软件无线电硬件体系结构	13
2.1 综述	13
2.2 硬件体系结构	14
2.3 数字信号处理器	19
2.3.1 信号处理器处理能力的度量	20
2.3.2 信号处理能力的需求	21
2.3.3 对信号处理器的要求	22
2.3.4 GPP	23
2.3.5 DSP	25
2.3.6 FPGA	32
2.3.7 数字信号处理器的性能比较	36
第 3 章 软件无线电软件体系结构	41
3.1 综述	41
3.2 主要的软件体系结构	42
3.2.1 硬件特定的软件结构	42
3.2.2 开放的软件结构	42
3.2.3 面向过程和面向对象的软件设计方法	43
3.3 软件通信结构 SCA	47
3.3.1 SCA 的定义	47
3.3.2 SCA 的版本发展	48
3.3.3 SCA 的硬件结构	50
3.3.4 SCA 的软件结构	52
3.4 软件下载以及软件可重配置	60
3.4.1 软件下载的定义	60
3.4.2 软件下载的内容	61
3.4.3 软件下载的过程	62
3.4.4 软件下载需考虑的问题	64
3.5 软件无线电可用的编程语言	66
3.5.1 汇编语言	66

目 录

3.5.2	高级软件语言	66
3.5.3	硬件描述语言	67
第 4 章	采样技术与量化	69
4.1	低通采样	69
4.2	带通采样或欠采样	72
4.2.1	带通采样定理	72
4.2.2	带通采样速率的选择	75
4.2.3	采样的噪声	80
4.2.4	多频段信号的带通采样	82
4.3	过采样	85
4.4	正交采样	89
4.5	采样率变换	90
4.5.1	重建后重采样	91
4.5.2	内插或上采样	92
4.5.3	抽取或下采样	94
4.5.4	半带滤波器实现内插和抽取	97
4.5.5	级联积分梳状滤波器实现内插和抽取	99
4.5.6	采样率的分数倍变换内插和抽取	104
4.5.7	多相滤波实现内插和抽取	104
4.6	数字转换器	108
4.6.1	模拟/数字转换器 ADC	109
4.6.2	数字/模拟转换器 DAC	113
4.6.3	数字转换器的性能指标	116
4.6.4	防混叠滤波器	121
4.6.5	抖动技术	123
第 5 章	软件无线电接收机	128
5.1	下变频	128
5.1.1	实混频下变频	128
5.1.2	复混频下变频	130
5.1.3	带通采样直接下变频	131
5.2	外差式接收机	132
5.3	零中频接收机	134
5.4	低中频接收机	142
5.5	宽中频接收机	145
5.6	镜像抑制混频	146
5.6.1	Hartley 镜像抑制混频	147
5.6.2	Weaver 镜像抑制混频	148
5.7	正交失配的补偿	149
5.8	信道化接收机	150
5.8.1	信道化概述	150
5.8.2	信道化方法	152

5.9	数字下变频器 DDC	159
第 6 章 软件无线电发射机		
6.1	上变频	164
6.1.1	实混频上变频	164
6.1.2	复混频上变频	164
6.1.3	内插带通上变频	165
6.2	外差式发射机	166
6.2.1	模拟中频发射机	167
6.2.2	数字中频发射机	167
6.3	零中频发射机	168
6.3.1	模拟正交直接变换发射机	169
6.3.2	数字正交直接变换发射机	170
6.3.3	影响性能的几个因素	171
6.4	低中频发射机	172
6.5	宽中频发射机	173
6.6	正交失配的补偿	174
6.7	内插的应用	175
6.8	信道化发射机	177
6.8.1	多载波上变频结构发射机	177
6.8.2	多相滤波器组发射机	178
6.9	射频线性化	181
6.9.1	输出功率回退法	181
6.9.2	预失真法	182
6.9.3	前馈法	183
6.10	数字上变频器 DUC	184
第 7 章 可重构多天线阵列		
7.1	智能天线	185
7.1.1	智能天线原理	187
7.1.2	智能天线的分类	190
7.1.3	智能天线接收机	191
7.1.4	智能天线发射机	192
7.2	MIMO	193
7.2.1	MIMO 信道	193
7.2.2	空时编码	195
7.3	总结	198
第 8 章 软件无线电的发展——认知无线电		
8.1	背景	200
8.2	认知无线电的定义	202
8.3	认知无线电的发展	205
8.4	认知任务说明	206

8.4.1	无线场景分析	206
8.4.2	信道状态估计和预测建模	209
8.4.3	发射功率控制和动态频谱管理	209
8.5	认知无线电收发机	211
8.6	认知无线电实现的技术难点	212
8.7	基于认知无线电技术的 IEEE 802.22 WRAN	213
8.7.1	WRAN 的背景	213
8.7.2	IEEE 802.22 系统的基本特点	213
8.7.3	IEEE 802.22 网络拓扑	214
8.7.4	IEEE 802.22 的空中接口	216
8.7.5	802.22 的共存问题	219
第 9 章	软件无线电系统实例——SPEAKeasy	221
9.1	SPEAKeasy 计划的产生背景和前期准备	221
9.1.1	早期的软件控制无线电	222
9.1.2	通信、导航、识别综合航电系统(ICNIA)	222
9.1.3	抗干扰可编程信号处理器 (TAJPSP)计划	224
9.2	SPEAKeasy 计划	224
9.2.1	SPEAKeasy-I	226
9.2.2	SPEAKeasy-II	230
9.3	SPEAKeasy 计划的发展	236
附录 A	复信号及复数滤波器	238
附录 B	英文简写以及名词解释	244
参考文献		254

第1章 软件无线电综述

1.1 软件无线电的定义

无线通信是通信领域中最活跃的部分,在各个方面都得到了广泛的应用。我们的世界正是由于通信的长足发展而变得越来越小。在20世纪,通信已经成功由模拟通信技术转为了数字通信技术,现在已经很少有人怀疑数字信号处理是解决通信问题的最佳方法。另外,数字控制技术也在同样地发展,电台工作模式采用数字进行控制是非常方便的。显然,在理论上,数字技术已经可以贯穿通信工作的整个过程,而且随着ADC/DAC器件的发展进步,也更易于在实际中实现。

但是,通信技术在给我们的生活带来便利的同时也带来了许多困扰,我们需要面对的通信系统也越来越多。能否想象一种无线技术,这种技术配置一个无线设备便可用于任何通信应用之中,例如可以用于蜂窝网的手机、传呼机、卫星接收机终端,也可以用于简单的收音机,甚至车库遥控器,对于消费者而言,可以用一种无线设备面对多种通信需要,这种技术的前景是非常诱人的,这种技术就是软件无线电技术。从这个设想我们会联想到个人计算机,即PC,我们可以用PC完成很多完全不同的工作,如观看视频、听音乐、编辑文档、打游戏等。软件无线电就是无线通信世界中的个人计算机,如图1-1所示。

1992年5月在美国通信系统会议(National Telesystems Conference)上,美国MITRE公司的Joseph Mitola III首次明确提出了“软件无线电”的概念。目前,有关软件无线电的定义并不统一,为了更好地理解这个概念,本书给出两种软件无线电的定义。

- Joseph Mitola III对软件无线电的定义是:

软件无线电是多频带无线电,它具有宽带的天线、射频转换、模/数和数/模变换,能够支持多个空中接口和协议,在理想状态下,所有方面(包括物理空中接口)都可以通过软件定义。

- 软件无线电论坛(www.sdrforum.org)对软件无线电的定义是:

软件无线电是一种新型的无线体系结构,它通过硬件和软件的结合使无线网络和用户终端具有可重配置能力。软件无线电提供了一种建立多模式、多频段、多功能无线设备的有效而且相当经济的解决方案,可以通过软件升级实现功能提高。软件无线电可以使整个系统(包括用户终端和网络)采用动态的软件编程对设备特性进行重配置,换句话说,相同的硬件可以通过软件定义来完成不同的功能。

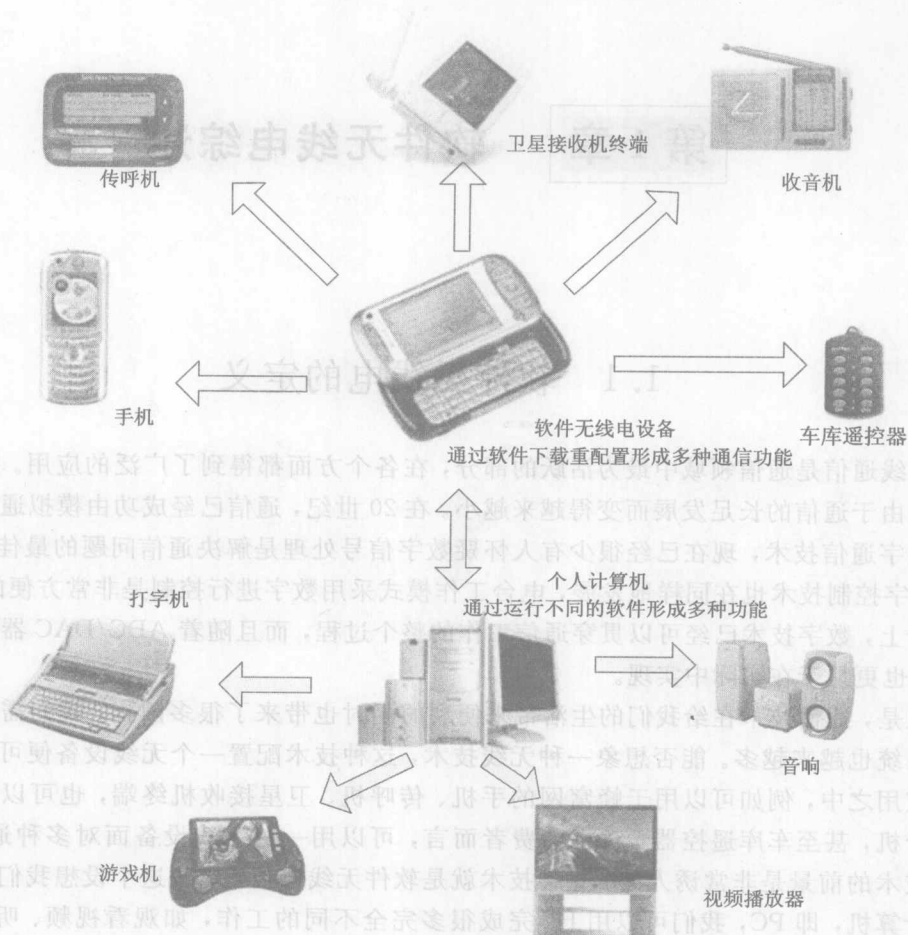


图 1-1 软件无线电技术设想：通信世界的个人计算机

软件无线电具有以下特点：

(1) 可多频带/多模式/多功能(M3, Multiband/Multimode/Multirole)工作。多频带是指软件无线电可以在很宽的频带范围内；多模式是指软件无线电能够使用多种类型的空中接口，其调制方式、编码、帧结构、压缩算法、协议等可以选择；多功能是指采用相同的无线电设备用于不同的应用中。

另外，强调多频带/多模式/多功能同时通信的能力，比如同时在两个或两个以上频段收/发信号。

(2) 具有可重配置、可重编程能力。可重配置是指系统的操作软件(包括程序、参数以及处理环境的软件方面)或硬件(处理环境的硬件方面)的改变。软件无线电采用多个软件模块在相同的系统上可实现不同的标准，只需要选择不同的模块运行就可实现系统的动态配置。所需要的软件模块可以通过空中或人工下载获得并升级。

实现软件无线电的核心思想是采用开放的、标准化的通用硬件平台构造无线电系统，

使宽带 ADC/DAC 尽可能地靠近天线,用软件实现尽可能多的无线电功能,并且通过软件实现功能的设定和升级,使通信系统具有多频带、多模式的通信能力。

今天,软件无线电已被看做是继模拟通信技术和数字通信技术之后无线通信领域中的重大技术进步,并且成为未来通信或无线电技术的发展方向。

这里,我们需要深入地理解软件无线电的含义。

从字面上看,“软件无线电”这个词并不深奥。“无线电”是指采用电磁波空间传播来实现信息收/发的通信技术;“软件”也是一个极其常用的词汇,它的原始定义是控制计算机系统的一系列命令。因此可以认为,所谓的软件无线电系统,就是专用于通信的计算机系统。其中,软件就是用于控制通信系统工作的一系列命令。

读者可能会隐约地看出,软件无线电涉及许多不同方面的技术,它的真正含义也许并不像它的字面看上去那么简单。既然讨论“软件无线电”,那么就应该有对应的“硬件无线电”。硬件无线电这个词对我们而言是相当陌生的,但是我们恰恰接触的最多。当然在这里采用这个名词只是为了让我们了解软件无线电而已。所谓硬件无线电,是指无线电设备的功能由硬件结构确定,系统的工作很少或没有软件参与,它们在功能上是固定的。

硬件无线电早已在我们身边可靠地工作了很多年,从收音机、电视机到移动电话,我们已经接触到很多不同类型的无线通信设备。为了能够理解软件无线电胜于传统的硬件无线电的优势之所在,我们首先看一下传统的硬件无线电的结构。图 1-2 展示了一种双中频的超外差式收发机结构,这一设计始于 1930 年,现在大部分家用无线接收设备中都采用了此种结构,如收音机、电视机等。

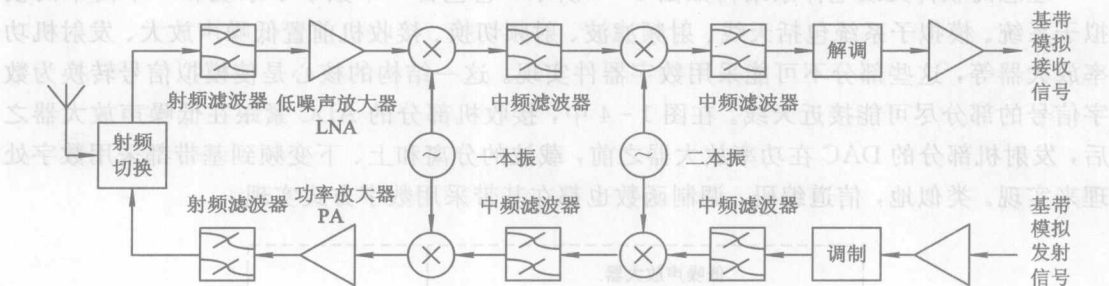


图 1-2 双中频的超外差式收发机结构

接收时,从天线接收到的射频信号经过滤波放大,与第一本振信号相乘完成一混频,下变为一中频;一中频信号与第二本振信号相乘完成二混频,通过滤波得到基带信号;基带信号解调从而产生基带模拟接收信号。在发射时,其工作过程基本相反,这里就不多作说明了。

在该系统中,变频次数依赖于射频工作频率。从理论上讲,若增加变频次数,则可以使工作频率更高。这种模拟的外差式收发机的应用非常广泛,除了一些传统的应用外,也应用于 1G 的移动电话终端中。例如美国的先进移动电话系统(AMPS),该系统采用频分多路体制,在使用频谱范围内划分了多个 30 kHz 信道,可以允许多个用户接入。在未来很多年内,这种体系结构仍将适用于低成本的无线通信设备中。

这种收发机最早采用的是完全的模拟技术,系统的功能完全由各种特定功能的固定电

路模块组合而成。这些功能模块包括滤波器、放大器、调制解调器等，其功能不可能发生任何变化，这也称为模拟无线电。当数字技术出现以后，构成收/发通道的这些电路模块又经历了向数字化的演变，形成了数字无线电。通过 A/D 和 D/A 转换，许多由硬件完成的功能可以通过软件实现，但是这种系统的可重编程、可重配置能力不强，即虽然我们可以采用软件方式处理数据并控制系统，但是系统的主要功能是不变的。比如，短波电台可以由软件控制改变频率、速率，但是不可能通过重新配置转换为超短波电台。也就是说，数字无线电也有其特定的硬件平台，模拟无线电和数字无线电都属于硬件无线电。进一步，数字无线电与可下载软件技术相结合就形成了具有可重配置能力的软件无线电，如图 1-3 所示。



图 1-3 由数字无线电到软件无线电

理想的软件无线电体系结构如图 1-4 所示，它包含一个数字子系统和一个简单的模拟子系统。模拟子系统包括天线、射频滤波、射频切换、接收机前置低噪声放大、发射机功率放大器等等，这些部分不可能采用数字器件实现。这一结构的核心是使模拟信号转换为数字信号的部分尽可能接近天线。在图 1-4 中，接收机部分的 ADC 紧跟在低噪声放大器之后，发射机部分的 DAC 在功率放大器之前，载波的分离和上、下变频到基带都采用数字处理来实现。类似地，信道编码、调制函数也都在基带采用数字方式实现。

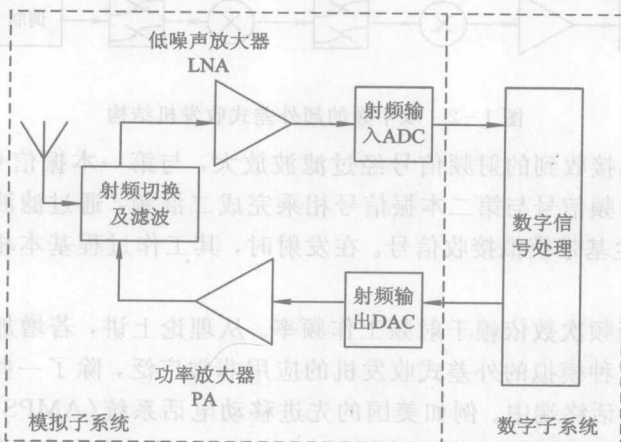


图 1-4 理想的软件无线电体系结构

显然，由于硬件无线电功能固定，因此无论对于设备生产商、运营商还是用户而言，其使用周期都较短，将不可避免地很快被淘汰或替代，而且在面对多频段/多模式/多功能应用的时候代价很高，如图1-5所示。软件无线电采用可编程的数字器件去实施信号处理，无线通信设备可以利用非常有效的软件方式进行升级，因此软件无线电技术提供了极大的灵活性，并有效地增长了产品的生命周期。

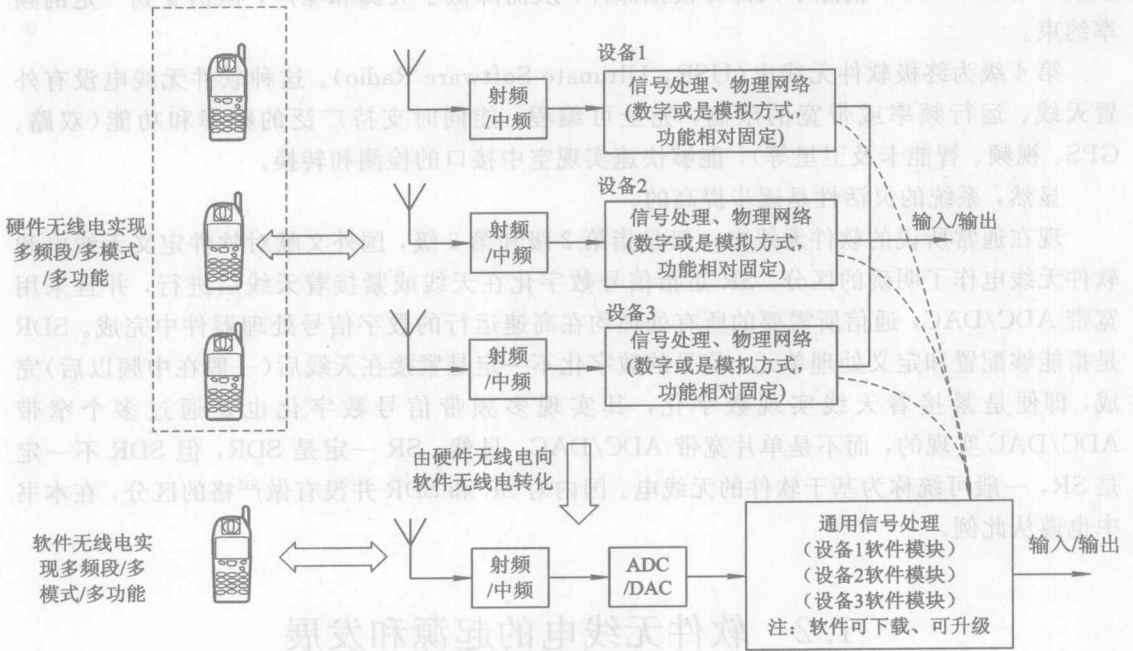


图 1-5 在多频段/多模式/多功能应用中软件无线电的优势

根据软件在无线电中的参与程度，可以将软件无线电的发展细分为 5 个层次，如图 1-6 所示。

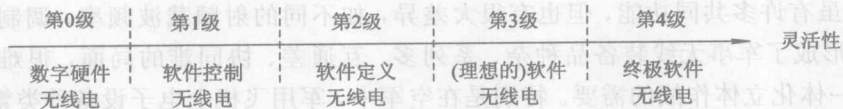


图 1-6 软件无线电的发展

第 0 级为数字硬件无线电。系统不能做任何修改，系统操作由开关、拨号盘和按钮等来完成。

第 1 级为软件控制无线电(SCR, Software Controlled Radio)。系统通过软件实现控制功能，但是在不改变硬件的条件下，软件控制无线电设备是不能改变像频带或调制方式这样的特征参量的。

第 2 级为软件定义无线电(SDR, Software Defined Radio)。系统使用软件对调制、宽/窄带、安全、波形产生和检测等方面的具体应用技术和参数进行控制，不需要对硬件做任何修改，但通常受到频率的约束，依然存在模拟处理部分，比如还有射频(RF)或中频

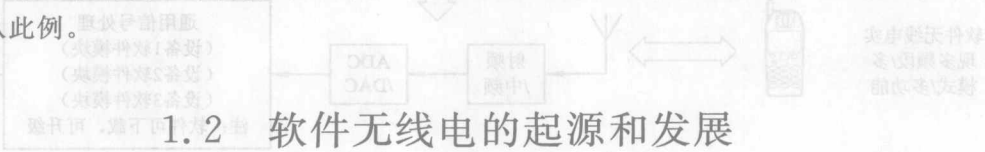
(IF)电路。尽管前端的带宽是个限制因素,但由于 SDR 能够提供宽带和窄带两种操作中的多种解调技术,因而利用软件可以控制相当宽的频率范围。SDR 能够存储大量的波形或空间接口,并可以通过软件下载来添加新的内容。

第 3 级为(理想的)软件无线电(ISR, Ideal Software Radio, 或者 SR、SWR)。系统完全可编程,在接收端或发射端无需任何下变频或上变频转换,将天线前端的输入/输出直接接入 ADC/DAC,消除了大部分模拟部件,从而降低了失真和噪声,但仍受到一定的频率约束。

第 4 级为终极软件无线电(USR, Ultimate Software Radio)。这种软件无线电没有外置天线、运行频率或带宽的限制,完全可编程,能同时支持广泛的频率和功能(双路、GPS、视频、智能卡及卫星等),能够快速实现空中接口的检测和转换。

显然,系统的灵活性是逐步提高的。

现在通常所说的软件无线电一般是指第 2 级和第 3 级,国外文献对软件定义无线电和软件无线电作了明确的区分。SR 是指信号数字化在天线或紧接着天线后进行,并且采用宽带 ADC/DAC,通信所需要的所有处理均在高速运行的数字信号处理器件中完成。SDR 是指能够配置和定义处理单元,信号的数字化不一定是紧接在天线后(一般在中频以后)完成,即便是紧接着天线实现数字化,其实现多频带信号数字化也是通过多个窄带 ADC/DAC 实现的,而不是单片宽带 ADC/DAC。显然,SR 一定是 SDR,但 SDR 不一定是 SR,一般可统称为基于软件的无线电。国内对 SR 和 SDR 并没有做严格的区分,在本书中也遵从此例。



1.2 软件无线电的起源和发展

软件无线电技术最早是由军事通信技术发展而来的。虽然软件无线电概念的明确提出是在 20 世纪 90 年代,但是其概念最早起源于 20 世纪 70 年代末美军对 VHF 频段多模式无线电系统的开发。长期以来,军用无线设备都是针对某些特定用途设计的,它们的发送和接收单元虽有许多共同功能,但也有很大差异,如不同的射频载波频率、调制方式和波形结构等,形成了军事无线装备品种杂、系列多、互通差、协同难的局面,很难适应未来海、陆、空一体化立体作战的需要。特别是在空军中,军用飞机上电子设备种类繁多,功能各异,有雷达系统、通信系统、导航系统等。在传统的作战飞机中,这些系统分别由功能独立的硬件设备构成。任务的日益复杂导致对无线设备需求的增加,但是却受到了机载平台的空间重量等的限制,在这种情况下美国空军启动了开发通信、导航和识别综合航空电子(ICNIA)系统的计划。该计划的目标是开发一种工作在 30~1600 MHz 的多功能、多频带的航空无线电系统,以整合原来的各分离系统的功能。该计划的样机在 1992 年成功进行了测试,这是世界上第一种可编程的无线电系统。这个计划也奠定了美国第四代作战飞机的机载电子设备的技术基础。在美国开发的第四代战斗机上采用了高度综合化的航空电子系统,其关键电子设备就是一个综合的核心处理机,其中通信、导航、识别整合为一个 CNI 子系统。该系统为四代战斗机提供下述功能:超视距敌我识别能力(IFF),安全、多通道、多频段话音通信能力,内部数据链(IFDL)交换能力,对多架编队飞行飞机显示器进行同步

的能力。CNI 系统具有支持 35 种不同的通信、导航和识别的信号波形的能力, 可以提供从 VHF 到 K 波段的无线电通信。这些功能是由一系列不同类型的通用模块支持的, 机载电子设备中不再出现传统意义上的通信电台、导航接收机等具体设备, 系统功能的实现是在通用模块的支持下通过软件实现的。

在 ICNIA 计划期间, 即 20 世纪 80 年代末, 美国空军又发起了战术抗干扰可编程信号处理器(TAJPSP)计划。该计划的目的是开发采用模块化方式的具有同时多波形处理能力的处理器, 该计划后期就演变为 SPEAKeasy 计划。

SPEAKeasy 计划是美军的军用软件无线电通信电台开发计划, 主要开发面向未来军事需求, 具备多媒体网络操作的无线电系统结构和技术, 以解决多兵种之间的互通问题。这个计划首次试图将美军已有的无线系统整合为一个系统。

SPEAKeasy 分两个阶段实施: 第一阶段主要完成基于软件无线电概念构建 MBMMR 电台的可行性研究和适用性的验证; 第二阶段着手创建一个可行的软件无线电结构。

SPEAKeasy 电台的工作频段为 2 MHz~2 GHz, 利用可编程处理技术, 计划与 15 种在役或在研电台兼容, 具备 AM、FM、PM 以及各种数字调制解调方式, 含有许多无线电台特定的调制和专用的软件模块, 还可以作为各种不同模式电台之间通信的中继转发电台。SPEAKeasy 电台的硬件和软件均采用模块化、开放式的结构形式, 模块之间通过高速控制和数据总线互联以提高灵活性和可靠性。每个模块的物理接口或电气接口的技术规范都符合开放性的标准。随着技术的进步, 还可以通过更新某些模块使电台升级。

SPEAKeasy 项目顺利完成后, 从中积累的相关技术被应用到可编程模块化通信系统(PMCS)的研制过程中。PMCS 项目的进一步发展, 特别是它的实体参考模型, 又被美国军方作为正在发展的软件无线电计划 JTRS 电台的基础。JTRS 系列电台以通用、开放的硬件结构为平台, 通过不同的软件配置可以在所有环境领域(如机载、地面、移动、固定站、海上、个人通信等)中使用。JTRS 的工作频段也为 2 MHz~2 GHz, 且结构也与 MBMMR 电台的组成结构完全类似。JTRS 电台与常规电台的最大不同点是具有很强的网络功能和信息安全处理能力。JTRS 电台与 MBMMR 电台相比所需支持的信号波形更多、更广泛, 还能适应技术发展, 进行快捷、高效的波形升级。这些特点都充分显示了 JTRS 电台是基于软件无线电设计思想的。JTRS 旨在为海、陆、空各种环境下的指战员提供横向和纵向跨频段的网络连接, 它是数字化战场环境中作战人员通信联络的主要手段, 支持美军未来的“2010 联合构想”。美国国防部拟用 JTRS 取代美军现用的 25~30 个系列共 75 万部电台。JTRS 计划还推出了后来作为国际软件无线电商用标准的软件通信结构(SCA)。该计划要求从 2003 年开始, 完成符合软件通信结构(SCA)且满足美国国防部各用户要求的系统和波形软件, 为这些系统和软件的采购及集成提供服务, 同时将继续根据作战人员新的或变化的要求, 改进系统结构, 嵌入最新技术。美国各军种的大量战术通信计划有可能被 JTRS 所代替, 这样, 大量军用无线电研究活动将合并成单一计划。

图 1-7 所示为美军 JTRS 系统的使用简图。

在军用无线电中采用软件无线电的优势是显而易见的。理想的军用通信系统应该不仅可以改变保密编码, 而且可以改变其调制模式、信道带宽、数据速率、语音编码类型等, 还可以重新配置以适应工作环境的变化(例如传输信道的特性)。这样的系统能够有效地阻止敌方的截获, 在战争环境下具有潜在优势。

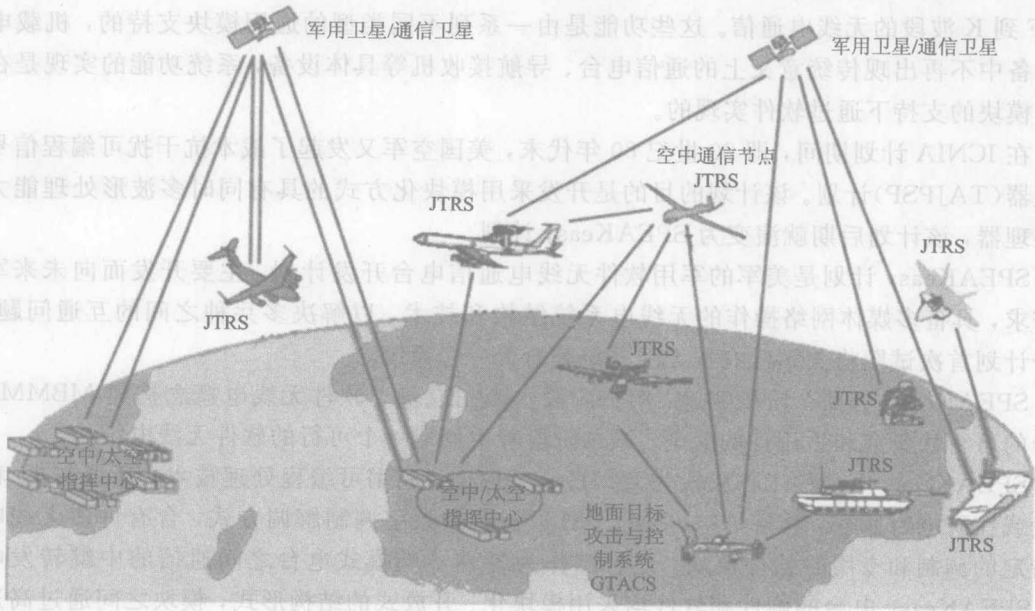


图 1-7 美军 JTRS 系统的使用简图(在三军所有环境领域中使用 JTRS)

在民用无线移动通信领域，对软件无线电技术同样产生了巨大的需求。现在民用通信系统的竞争非常激烈，任何可以为用户或服务提供商提供更好性能或服务的系统都可能在竞争中获得优势。我们可以从亲身的经历看到这短短二十年间移动电话的快速发展情况，如图 1-8 所示。20 世纪 80 年代，我国引入模拟制 TACS 系统(1G)，到 20 世纪 90 年代初，引进了数字制的 GSM 和 CDMA 系统(2G)，现在马上进入 3G 时代，系统的性能和服务在日益提高，4G 的技术研究也已经开始。系统的升级换代速度是相当快的，然而如果采用硬件替换的方式来实现现有系统的升级换代将意味着巨大的成本付出。举个例子，在欧洲建设全新 3G 网络的费用高达 2000 亿美元。如果现有的 GSM 系统的基础硬件建立在软件无线电原理之上，而且其具有足够的处理能力，那么 3G 的建设费用将大大降低。

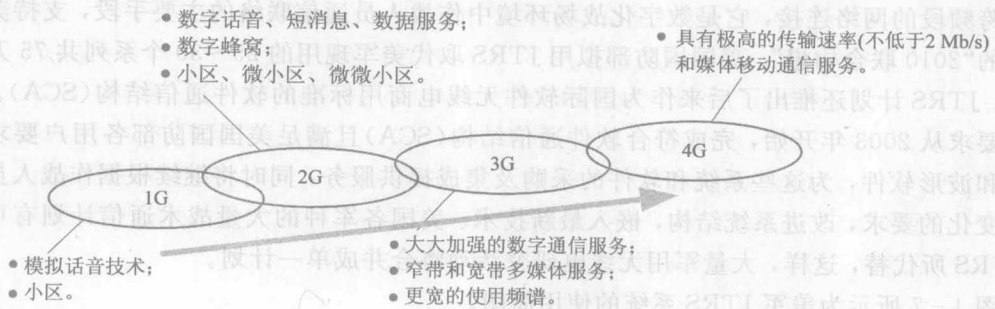


图 1-8 民用移动通信的发展

另外，民用通信中同样存在互通性差的问题。现在全世界移动通信的标准有多个，如图 1-9 所示。