

21世纪 信息通信系列教材

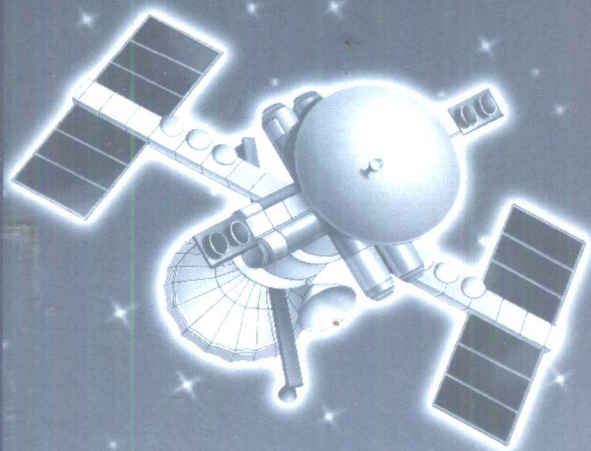
软件无线电技术与应用

软件无线电

技术与应用

钮心忻 杨义先 / 编著

RUANJIAN WUXIANDIAN
JISHU YU YINGYONG



北京邮电大学出版社

T1191

学出版社

21世纪信息通信系列教材

软件无线电技术与应用

钮心忻 杨义先 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书系统介绍了软件无线电的起源及发展历史,介绍了软件无线电的概念及体系结构、实现软件无线电的关键技术,并系统整理和汇集了国内外各个阶段的科研成果及研究方向。全书共分7章,第1章为概述,全面介绍了软件无线电在移动通信发展过程中的地位和作用;第2章介绍了软件无线电的体系结构;第3章到第6章分别介绍了软件无线电所涉及到的关键技术,包括软件无线电中的DSP技术、智能天线技术、数据采集技术以及数字下变频技术等;最后一章对目前软件无线电的研究进展进行了介绍,给出了国际上一些最新的研究成果。

本书可以作为本科高年级学生的专业课教材或教学参考书,也可以供从事软件无线电及移动通信技术研究的科研人员及研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

软件无线电技术与应用/钮心忻,杨义先编著. —北京:北京邮电大学出版社,2000.9

ISBN 7-5635-0437-0

I. 软… II. ① 钮… ② 杨… III. 计算机通信:无线电通信-技术 N. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第66267号

书 名: 软件无线电技术与应用

Ruanjian Wuxiandian Jishu yu Yingyong

编 著: 钮心忻 杨义先

责任编辑: 孙伟玲

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号)

邮编: 100876 电话: 62282185 62283578

网址: <http://www.buptpress.com>

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市忠信诚胶印厂

印 数: 1—3 000册

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 8 字数: 199千字

版 次: 2000年9月第1版 2000年9月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5635-0437-0/TN·194

定 价: 22.00元

前 言

自 20 世纪 90 年代初以来,移动通信领域一场新的技术革新悄然兴起,这就是以软件无线电技术为特征的新一代通信系统的研究和开发。软件无线电的概念是在 1992 年美国电信系统会议上被首次提出的,并立即引起了广泛的关注。美国军方开展了研制三军通用软件无线电台的工作,1994 年原理样机研制成功,其演示结果表明软件无线电不仅在技术上完全可行,而且代表着未来军用电台的发展趋势。1995 年又启动了二期工程,目标是完成一个实用系统。自 1995 年起,民用软件无线电技术的研究和开发逐步升温,一些公司相继推出了用于移动通信的软件无线电设备。作为 GSM 和 DCS1800 的升级换代设备,欧共体积极开展第三代移动通信系统的研究,其中的一个研究项目 ACTS 就包含一个与软件无线电有关的子项目,其目的是研究能够提供多媒体服务的软件无线电移动通信设备。

国外通信界对软件无线电概念的提出,引起了国内同行的高度重视,1996 年软件无线电技术被列入国家“863”计划通信主题的研究项目,1999 年被列为国家自然科学基金的重点资助项目,并且国内几大通信公司都投入了大量人力、物力进行软件无线电技术的研究和开发。软件无线电是近几年来提出的一种实现无线通信的新的体系结构,是无线通信产业从模拟到数字、从固定到移动这两次革命后的第三次革命,并可称为是从硬件无线通信到软件无线通信的革命。

软件无线电是一门新兴学科,并且还是一门极具生命力的学科。本书系统介绍了软件无线电的起源及发展历史,介绍了软件无线电的概念及体系结构、实现软件无线电的关键技术,并系统整理和汇集了国内外各个阶段的科研成果及研究方向。全书共分 7 章,第 1 章为概述,全面介绍了软件无线电在移动通信发展过程中的地位和作用,使读者对软件无线电有一个较全面的了解。第 2 章介绍软件无线电的体系结构,实现软件无线电需要哪些关键技术,各部分如何划分、如何衔接等。第 3 章到第 6 章分别介绍了软件无线电所涉及到的关键技术,包括软件无线电中的 DSP 技术、智能天线技术、数据采集技术以及数字下变频技术等。最后一章对目前软件无线电的研究进展进行了介绍,给出了国际上一些最新的研究成果。另外,书后所列的参考文献包含了目前国际上发表的最新的关于软件无线电的研究文章,它们可以帮助感兴趣的读者进行深入的学习和研究。

本书可以作为本科高年级学生的专业课教材或教学参考书,可以对本科高年级学生普及软件无线电的知识,使他们掌握移动通信的最新发展方向,也可以供从事软件无线电及移动通信技术研究的科研人员及研究生阅读参考,了解最新的科研动态。

作者多年从事信号处理及软件无线电的研究工作,在软件无线电技术研究方面受到教育部留学回国人员科研基金、原邮电部科技发展项目以及国家“973”项目的资助。另外,作者在承担软件无线电项目的过程中,完成了一个软件无线电的 CAI 教学演示系统,作为本书的配套教材使用。

本书在完成过程中得到了北京邮电大学信息安全中心的大力支持和帮助,本书汇集了软

件无线电课题组全体成员的智慧。另外,作者希望借此机会对我们的父母致以深深的谢意,他们在本书的完成过程中,为解除作者的后顾之忧付出了辛勤的劳动。

我们努力希望将本书写好,但由于水平有限,时间紧张,因此难免出现错误,留下一些遗憾。希望读者不吝赐教,甚为感谢。

作者
2000年7月

目 录

1 概 论	(1)
1.1 引 言	(1)
1.1.1 移动通信的发展历史	(1)
1.1.2 移动通信的发展方向	(2)
1.1.3 移动通信的现状	(3)
1.2 软件无线电的起源	(4)
1.3 软件无线电的概念	(5)
1.4 软件无线电的关键技术	(5)
1.4.1 开放式总线结构及实现	(5)
1.4.2 宽带/多频段天线	(6)
1.4.3 模数转换部分	(6)
1.4.4 数字下变频部分	(6)
1.4.5 高速信号处理部分	(6)
1.4.6 信令处理部分	(7)
1.5 软件无线电的研究现状和应用前景	(7)
2 软件无线电的体系结构	(9)
2.1 软件无线电的系统模型	(9)
2.1.1 通信系统模型	(9)
2.1.2 深入理解软件无线电	(12)
2.1.3 无线电顶层部件的拓扑结构	(15)
2.2 软件无线电的体系结构	(17)
2.2.1 无线电体系结构的演变	(17)
2.2.2 典型的软件无线电体系结构	(19)
2.2.3 资源需求的估计	(22)
3 软件无线电中的 DSP 技术	(24)
3.1 软件无线电对数字处理的需求	(24)
3.1.1 解决中频处理的问题	(26)
3.1.2 使用 DSP 进行频谱监控	(27)
3.1.3 DSP 的瓶颈——多处理器的过去和现在	(28)
3.2 几种可能的解决办法	(31)
3.2.1 一个基于低功率 DSP 核心的软件无线电体系结构	(32)
3.2.2 在软件无线电中使用 FPGA	(34)

3.2.3	虚拟无线电	(37)
3.3	算法的并行处理问题	(41)
3.3.1	并行处理的概念	(42)
3.3.2	用 DSP 实现的多处理器并行	(42)
4	软件无线电中的智能天线技术	(49)
4.1	自适应天线阵的概念	(49)
4.1.1	阵元配置理论	(49)
4.1.2	自适应阵的最优化处理	(57)
4.1.3	自适应算法	(58)
4.2	软件无线电中的智能天线	(59)
4.2.1	使用自适应波束形成技术实现空间复用	(60)
4.2.2	使用智能天线的软件无线电体系结构	(64)
4.2.3	智能天线的应用	(66)
5	软件无线电中的数据采样技术	(70)
5.1	数据采集原理与方法	(70)
5.1.1	Nyquist 采样定理	(71)
5.1.2	抗混叠滤波器	(72)
5.1.3	过采样	(72)
5.1.4	带通采样	(73)
5.2	ADC 特性	(74)
5.2.1	采样率与采样精度	(74)
5.2.2	信噪比	(74)
5.2.3	无寄生动态范围	(76)
5.2.4	噪声功率比	(77)
5.2.5	全功率模拟输入带宽	(77)
5.2.6	高速 ADC 结构(闪电式 ADC)	(77)
5.3	软件无线电对数据采集的要求以及现有 ADC 参数指标	(79)
6	软件无线电中的数字下变频技术	(82)
6.1	数字下变频技术	(82)
6.1.1	信号抽取	(83)
6.1.2	信号抽取的多级实现	(84)
6.1.3	多级二倍抽取	(88)
6.2	商用数字下变频器	(89)
6.2.1	HSP50016 数字下变频器	(89)
6.2.2	HSP50214B 可编程下变频器	(91)
6.2.3	讨论	(92)
7	软件无线电系统的研究进展	(94)
7.1	军用软件无线电系统——Speakeasy	(94)
7.1.1	Speakeasy 项目背景	(94)
7.1.2	Speakeasy I 期工程	(94)

7.1.3	Speakeasy I 期工程	(97)
7.2	GSM 基站的软件实现	(103)
7.2.1	系统描述	(104)
7.2.2	模块特性的衡量方法	(104)
7.2.3	BTS 发射链路模块	(105)
7.2.4	BTS 接收链路模块	(109)
7.2.5	系统集成	(111)
附 录	(114)
参考文献	(116)

1.1 引 言

软件无线电是在 20 世纪 90 年代中期提出来的,它是针对目前移动通信的现状和发展历史而引发的一种新概念的无线通信系统。

1.1.1 移动通信的发展历史

移动通信的历史可以追溯到 19 世纪末期,1897 年,意大利科学家马可尼用无线电波成功实现了信息的传输,开启了移动通信发展的大门。移动通信的发展是随着军事、民用等领域的需求以及社会的进步而逐步发展起来的,特别是在近 20 年,移动通信的发展速度是前所未有的^[1~3]。

移动通信最早起源于海上救难,早在 20 世纪 20 年代移动通信技术就已经被用于船舶、航空、警车等专用无线电通信系统。60 年代初晶体管的诞生,使移动通信设备的小型化成为可能。1964 年美国在原有系统的基础上,推出一种改进型的移动电话系统,同年日本也在自己的沿海小型船舶上使用多频道自动转换的无线电话系统。在这一时期,交换系统已由原来的人工交换发展为用户直接拨号的专用自动交换系统。

进入 20 世纪 70 年代,一些经济发达国家对民用移动电话的需求日益增加,而且伴随着微电子技术以及计算机技术的迅速发展,发展一种较大范围使用的移动电话系统已经具备了理论上、技术上和经济上的可行性。而且新理论和新体制的不断发展和完善,为模拟蜂窝移动通信系统的诞生奠定了坚实的经济和技术基础。1977 年美国贝尔实验室首先提出了 800 MHz 蜂窝无线电话,并推出先进的移动电话服务系统(AMPS——Advanced Mobile Phone Service)。80 年代初,该系统在芝加哥、巴尔的摩和华盛顿正式投入商用。日本于 1976 年研制了陆上移动电话系统(LMTS——Land Mobile Telephone System)。1979 年,日本开始建设全国的先进移动电话系统(NAMTS——Nippon Advanced Mobile Telephone System)。目前国外已使用的模拟蜂窝移动通信系统主要有:北美的 AMPS,日本的大容量移动电话系统(HCMTS——High Capacity Mobile Telephone System),英国与中国采用的全接入通信系统(TACS——Total Access Communication System),前西德的 C450 系统以及法国的 Radio Comm2000 系统,这些系统分别采用 400 MHz,450 MHz,800 MHz 和 900 MHz 频段。

进入 20 世纪 80 年代,社会的发展对移动通信的容量、质量以及业务种类都提出了更高的要求。而且超大规模集成电路、微型计算机、微处理器和数字信号处理技术的进一步发展及其大量的应用,为开发数字移动通信系统提供了技术保障。由于数字蜂窝移动通信系统具有容量大、频谱利用率高、通信质量好、业务种类多、易于加密、抗干扰能力强、用户设备小、系统成本

低等优点,而且便于与其他公共网络(如:综合业务数字网(ISDN——Integrated Services Digital Network)、公用电话交换网(PSTN——Public Switched Telephone Network)和公用数据网(PDN——Public Data Network)等)相连,世界上的一些经济发达国家率先开始了研究和开发数字蜂窝移动通信系统。

1982年欧洲邮政和远程通信管理联合会议(CEPT——Conference of European Postal and Telecommunications)设立了移动通信特别小组(GSM——Group Special Mobile),欧洲共同体各国在GSM小组的协调下做了大量的研究和实验工作。1987年GSM小组就泛欧数字蜂窝公众移动通信系统的标准达成了一致意见。GSM标准采用的多址接入方式为窄带时分多址(TDMA——Time Division Multiple Access),语音编码方式为规则脉冲激励长期预测编码(RPE-LTP——Regular Pulse Excitation with Long-Term Prediction),调制方式为高斯滤波最小移频键控(GMSK——Gaussian-filtered Minimum Shift Keying)。1988年GSM标准生效,1991年试运行,1992年系统投入商用,并实现了欧共体国家之间的联网漫游。

美国也于1987年开始研究适合北美使用的数字蜂窝移动通信系统。1989年美国电子工业协会(EIA——Electronic Industry Association)提出了一种数字蜂窝移动通信系统的标准,定为IS-54。由于北美已经有一个统一的模拟移动蜂窝系统AMPS,而且它的用户数量众多,覆盖面广,具有漫游功能,考虑到与现有系统相兼容,因此新的数字移动蜂窝系统ADC(也称DAMPS)采用双模式设计,与AMPS充分兼容。ADC系统采用时分多址和频分双工(TDMA/FDD)的工作方式,语音编码采用矢量和激励线形预测编码(VSELP),调制方式采用 $\pi/4$ 相移的差分四相相移键控($\pi/4$ -DQPSK)。日本也推出了它的数字蜂窝移动通信系统JDC,技术与ADC类似。

20世纪80年代初,欧洲、北美和日本研制的数字蜂窝移动通信系统几乎都一致采用时分多址技术,在1989年以美国Qualcomm公司为主的一些通信公司认为未来的数字移动通信系统的多址方式可以采用码分多址(CDMA)技术,并经过理论分析和相关技术的研究与试验,证实了CDMA具有独特的性能。试验表明,在相同的环境条件下,CDMA系统的容量是AMPS系统的10~20倍,是TDMA系统的5倍左右。现在,以CDMA为多址方式的数字移动通信系统已进入商用市场。

1.1.2 移动通信的发展方向

个人通信(Personal Communication)是人类通信的最高目标,它是利用各种可能的技术,实现任何人(Whoever)在任何时间(Whenever)、任何地点(Wherever)与任何人(Whomever)进行任何种类(Whatever)的信息交换。随着科学技术的发展,这种愿望已经不是幻想,而是可以实现的了,实现个人通信的网络称为个人通信网(PCN——Personal Communication Network)。国际电信联盟(ITU)在其建议中给出了如下定义:“通用个人通信(UPT——Universal Personal Telecommunication)允许在个人移动的情况下获得电信业务。它能使一个UPT用户享用一组由用户规定的预订业务,并利用一个对网络透明的UPT个人号码,跨越多个网络,在任何地理位置的任何一个固定的或移动的终端上发起或接受呼叫。它只受终端和网络能力以及网络经营者的规定所限制。”

为了实现无线个人通信,工业界、学术界和各种标准化组织都在进行着广泛深入的研究和探索,各种可能的实现途径在研究和试验中,各种有关的标准也在逐渐的制定中。

1.1.3 移动通信的现状

从移动通信的发展历史不难看出,当代移动通信可分为三个阶段:第一代移动通信以模拟调频、频分多址为主体技术,包括以蜂窝网和无绳电话为代表的公用移动通信系统,以及以集群系统为代表的专用移动通信系统;第二代移动通信以数字传输、时分多址或码分多址为主体技术,包括数字蜂窝移动通信系统、数字无绳电话系统和数字集群系统等;第三代移动通信系统以世界范围的个人通信为目标。

纵观当前的移动通信市场,多种体制共存、新体制不断涌现是当前移动通信市场的突出特点。只以公用蜂窝移动通信系统为例,模拟体制与数字体制共存(如在北美的 AMPS 与 ADC 共存,在中国的 TACS 与 GSM, CDMA 共存);而在数字蜂窝系统中,以 TDMA 为多址方式的体制与以 CDMA 为多址方式的体制并存(如 GSM, ADC, JDC 与 CDMA 并存);从全球地域角度来看,数字蜂窝移动通信系统又在不同地域上并存不同的体制(如北美的 ADC、欧洲及中国的 GSM、日本的 JDC 等)。所以移动通信市场多种体制并存的局面是由于其快速、多头的发展造成的,没有全球统一的标准,各国在各自研究的基础上制定各自的标准,或者一个地域性的局部标准,从移动通信的发展来看,这种多体制并存的局面还将长期存在下去。这种现象可以说从某种程度上促进了移动通信的发展,因为各国可以很快地将研究领域的新理论、新技术转化为实用产品,缩短了实验室成果到市场的转化周期,而且可以更快地满足社会对移动通信飞速增长的需求。但是另一方面,这一现象又极大地限制了移动通信的全球性发展。它体现在以下几个方面:

(1) 新的通信体制和“标准”不断提出,通信产品的生存期缩短,开发费用上升。以蜂窝电话为例,已有多种系统投入使用,较为主要的有 GSM, CDMA, AMPS, TACS 等等,并且另有一些系统正在研制中。各国、各大公司为了争夺市场,纷纷制定自己的“标准”,划定各自的市场范围。这对于“以任何人,任何时间,任何地点”为目标的个人通信领域来说是很不利的。而且竞争日趋激烈,使得产品生存期大大缩短,传统的通信体制很难适应。

(2) 各种通信体制的共存,对多种体制间互联的要求也日趋强烈,这一点在军事通信中表现尤为突出。由于军事通信的特点,不同军种、不同用途的通信设备的种类非常多,多体制使各设备互相连组网很困难甚至不可能。

(3) 无线频带越来越拥挤,对通信系统的频带利用率和抗干扰能力要求不断提高,而多体制的存在,现在很难对频带重新规划,若采用新的抗干扰方法,需对系统结构做较大改动。

基于移动通信领域的发展状况,在 90 年代提出了一种新的无线通信概念——软件无线电。软件无线电的思想是在一个通用的硬件平台上,通过软件加载的方式用软件实现所有无线电台的功能。将这一思想延伸到移动通信领域,设想不需要为每一种新的移动通信体制重新建网、更换设备,只需在各个基站中建设统一的硬件平台,然后不论是现有的各种体制和标准,还是将来新出现的体制和标准,都以软件加载的方式进行更新换代。需要更新的软件可以通过一个统一的软件提供商来供给,软件可以以无线电波的形式从空中下载。使用这样一种理想的软件无线电概念之后,所有的体制和标准的更新,以及不同体制之间的兼容,都可以通过更换适当的软件来完成,这样既节省了重新建网的费用,又缩短了从研究到应用的周期。

软件无线电是近几年来提出的一种实现无线通信的新思路,它可以说是无线通信产业继 70 年代中到 80 年代中从模拟到数字通信、80 年代中到 90 年代中从固定到移动通信这两次革命之后的第三次革命,并可称为是从硬件无线通信到软件无线通信的革命。

1.2 软件无线电的起源

软件无线电最初起源于军事通信。长期以来,军用无线电台面临的问题是,各军兵种之间使用不同的通信体制,各体制间互不兼容,功能单一,而且军队面临着频带拥挤的状况,以及大量“非标准”的标准在同时使用。现代战争越来越强调各军兵种甚至多国军队之间的协同作战,因此多种通信体制的互联互通要求成了日益突出的矛盾。为了保证不同设备的互通性,使各军兵种之间实现高效、可靠的协同通信,美国军方开展了研制三军通用软件无线电台的工作,其目标是研制一种可以包容很宽的无线频带(包括 HF, VHF, UHF, SHF 等)、可以接收多种信道调制方式(包括语音的 AM, FM, 各种数据链接格式,以及其他安全措施如跳频、直接序列扩频等技术)的具有很强“可互操作性”的无线电台。1992年5月,在美国电信系统会议(IEEE National Telesystems Conference)上,MITRE公司的 Joe Mitola 首次明确提出了软件无线电的概念,软件无线电的核心是将宽带 A/D, D/A 尽可能靠近天线,用软件实现尽可能多的无线电功能。软件无线电的需求最早来源于军方,其研究与开发最初也是在军用无线台中,然而随着其概念的不断完善,软件无线电在过去的五年中从军方的研究逐渐被民间商用移动通信领域所重视。

软件无线电的里程碑性的文章^[4]发表于1995年5月,Mitola 在文章中回顾了软件无线电不断发展的概念、结构、技术上所面临的挑战以及软件无线电所能带来的经济效益。此篇文章与其他一些文章一起构成了第一期关于软件无线电的专刊,包括软件无线电的许多关键技术的研究成果,如高速 A/D/A 转换、DSP 处理的瓶颈问题、智能天线技术等等。在此专刊发表之后,商用的软件无线电研究迅速升温。

1998年6月,欧洲委员会与 SDR 论坛(Software-Defined Radio Forum,其正式名称为 MMITS 论坛:Modular Multifunction Information Transfor Systems Forum)联合主办了第一届软件无线电国际研讨会(1st International Workshop on Software Radio),全球几大移动通信公司都参加了会议。阿尔卡特(Alcatel)公司移动通信部的产品策略部主任 A. Urie 在这次会议的闭幕式上强调指出,未来6个月的发展对软件无线电是非常关键的。他与诺基亚(Nokia)公司的副总裁 H. Huomo 一致认为,美国与欧洲在对 IMT-2000 的建议的标准化中,对在近期内开发软件无线电移动终端的看法是一致的。目前在美国和欧洲移动通信标准中在芯片处理速率和信道间隔等参数上存在的差别,在互通时造成大量复杂的硬件实现,而以一个单一时钟构成的一组芯片时钟,就可以使一个移动终端的结构适应全球由软件定义的移动通信标准。一些服务供应商的代表,如英国 Orange 通信公司的 M. Swinburne 和美国 BellSouth Wireless 公司的 S. Blust,在会上也强调了软件无线电在提供服务中的重要意义。过去服务供应商为了修改移动终端中的一个软件错误,需要对几百万个移动终端逐一进行修改,而将来一个由软件定义的移动终端就不需花费这种高昂的费用,用户只需下载新的软件,直接对移动终端上的软件进行升级就可以了。另外,Orange 通信公司表示为了更好地满足各地不同用户的要求,希望将来可以下载一些具有优良特性的软件,比如可以适应用户所使用语种的声码器软件等等。第一届软件无线电亚洲研讨会(1st Asian Workshop on Software Radio)也于1998年4月由日本的 Keio 大学主办。通信领域的领头企业(如东芝、诺基亚、摩托罗拉等)都表示了当软件无线电技术成熟时,将从数字无线电向软件无线电转化的意向。

软件无线电通过这些年的发展,迅速显露出其重要意义,它逐渐成为可提供高性能的地区性或全球性通信的第三代移动通信的基石。

1.3 软件无线电的概念

由于技术的变化和应用的扩展,有关软件无线电的概念、结构、实现、用途等都在发展之中,目前还很难给出一个严格而全面的定义。但是根据大多数同行专家的理解,可以这样定义:软件无线电是将模块化、标准化的硬件单元以总线方式连接构成基本平台,并通过软件加载实现各种无线通信功能的一种开放式体系结构。软件无线电的关键思想是:

- 将 A/D/A 尽可能靠近天线
- 用软件来完成尽可能多的无线电功能

对于软件无线电的认识应注意:

第一,软件无线电并不是不要硬件,而是把硬件作为一个基本平台。这个平台具有两个特点:①模块化、标准化;②以总线方式连接。一个典型的软件无线电平台可以将硬件单元划分成射频、中频、基带、信源和信令等各层,它们具有模块化结构,各层之间的连接通过控制总线 and 数据总线实现。

第二,软件无线电与软件控制的数字无线电(Digital Radio)有着根本的区别:软件无线电的最终目的就是要使通信系统摆脱硬件系统结构的束缚。在系统结构相对通用和稳定的情况下,通过软件实现各种功能,使得系统的改进和升级非常方便且代价小,并且不同的系统间能够互联和兼容;而数字无线电的进一步发展并不能做到这一点,它只能导致对硬件和系统结构的更多的依赖。

第三,软件无线电是一种开放的体系结构。这种开放性包含三个方面的含义,即对使用的开放性、对生产的开放性和对研制的开放性。这三个开放性将同时给用户、厂家和科研部门带来好处。

软件无线电具有灵活性和集中性两大优点。灵活性即可以任意地转换信道接入方式,改变调制方式或接收不同系统的信号等,利用这一特点,可以实现对现有多种体制的“无缝”连接。集中性即多个信道享有共同的射频前端与宽带 A/D/A 转换器,以获取每一个信道相对廉价的信号处理性能。

1.4 软件无线电的关键技术

软件无线电是近五年发展起来的新兴技术,对它的研究还处于起步阶段,许多技术问题需要解决。其中的关键技术有下面几个方面。

1.4.1 开放式总线结构及实现

软件无线电的一个重要特点是其开放性,这主要体现在软件无线电所采用的开放式标准化总线结构上,只有采用先进的标准化总线,软件无线电才能发挥其适应性广、升级换代方便等特点。由于软件无线电的研制国内外都起步不久,在研制开发过程中,必须逐步形成标准化

的硬件平台和软件平台,而标准化的总线则是构筑上述两个平台的奠基石。现有的软件无线电研究和实验系统中一般采用双总线结构,即:控制总线 and 高速数据总线。控制总线结构,如 VME 总线、PCI 总线等,尽可能采用现有的工业标准,以便于利用已有的软件及硬件平台,加快开发速度。为了适应软件无线电的需求,可将 VME 总线作为软件无线电的首选总线。因为 VME 总线是一种支持多机并行处理的高性能总线,是目前市场占有率最高的高档标准总线产品。它具有如下特点:

(1) 高性能:VME 总线支持独立 32 位地址和 32 位数据总线。

(2) 并行性:VME 总线支持面向多主机的并行处理,能保证多个异种 CPU 的并行处理和协调工作,并能共享系统资源。

(3) 实时性:VME 总线具有优异的中断处理结构,并运用菊花链仲裁算法和优先权相结合的策略,给重要的任务分配高的优先权,可提高系统的实时响应能力。

(4) 可靠性:VME 总线的模板具有优良的防震结构和物理特性。

高速数据总线结构则是软件无线电体系结构的关键,目前还没有形成标准,世界各国都在努力研究,以期得到适合软件无线电高速数据处理的总线结构标准。

1.4.2 宽带/多频段天线

这是软件无线电不可替代的硬件出入口,只能靠硬件本身来完成,不能用软件加载实现其全部功能。软件无线电对这部分的要求包括:天线能覆盖所有的工作频段;能用程序控制的方法对功能及参数进行设置。实现的技术包括:组合式多频段天线及智能化天线技术;模块化、通用化收发双工技术;多倍频程宽带低噪声放大器方案等。

1.4.3 模数转换部分

软件无线电对模数(A/D)和数模(D/A)转换器的要求是很高的。对它们的要求主要包括采样速率和采样精度。采样速率主要由信号带宽决定,因为软件无线电系统的接收信号带宽较宽,而采样速率一般要求大于信号带宽的 2.5 倍,因此采样速率较高;采样精度在 80 dB 的动态范围要求下不能低于 12 位。除了进一步提高器件性能外,还可采取多个 A/D 并联使用的方法。

1.4.4 数字下变频部分

数字下变频(DDC——Digital Down Converter)是 A/D 变换后首先要完成的处理工作,包括数字下变频、滤波和二次采样,是系统中数字处理运算量最大的部分,也是最难完成的部分。一般认为,要进行较好的滤波等处理,需要对每个采样点进行 100 次操作。对于一个软件无线电系统来说,若系统带宽为 10 MHz,则采样率要大于 25 MHz。这样就需要 2 500 MIPS (Million Instructions Per Second,百万条指令)的运算能力,这是现有的任何单个 DSP 很难胜任的,因此一般都把 DDC 这部分工作交给专用的可编程芯片完成。这样既能保留软件无线电的优点,又有较高的可靠性。美国 Harris 公司的 DDC 芯片 HSP50016,是一个可编程性较强的芯片,能方便地通过改变控制参数来改变信道的中心频率、带宽和二次采样率,完成从一个宽带信号中滤出所需的带宽和频点的多个信号的功能。

1.4.5 高速信号处理部分

这部分主要完成基带处理、调制解调、比特流处理和编译码等工作。这部分工作用高速数

字信号处理器(DSP)完成,这是软件无线电的一个核心部件,但也是一个主要瓶颈。单路数字话音编译码、调制解调能用单个 DSP 芯片实现。当单个 DSP 处理能力不足时,可采用多个 DSP 芯片的并行处理提高运算能力,如 Quad-C40MCM 处理器包括 4 片 TMS320C40 处理器和 5 MB 内存,时钟频率 50 MHz,已用于多频段多模式军用电台。

1.4.6 信令处理部分

在现在的移动通信系统中,信令部分已经是用软件完成,软件无线电的任务是将通信协议及软件标准化、通用化和模块化。无线接入是无线通信的重要内容,其协议的主体部分是公共空间接口,目前已形成许多不同的标准。因此,当用软件无线电实现多模互联时,实现通用信令处理是很必要的。这就需要把现有的各种无线信令按软件无线电的要求划分成几个标准的层次,开发出标准的信令模块,研究通用信令框架。

1.5 软件无线电的研究现状和应用前景

为了克服美军常规作战中通信方面存在的问题,加速高技术的应用,美国国会于 1987 年制定了平衡技术倡议(BTI)。1990 年 8 月,美国国防部与 Hazeltine 公司签订了 430 万美元的合同,开始研制 Speakeasy 软件无线电系统的第一阶段工作。在 1994 年 8 月,Speakeasy I 型样机研制成功并进行了技术演示,其演示了以下功能:分别与 4 种不同的电台通信;同时和两种不同的电台通信;作为网桥网关,连接两个不同的、相互独立的、具有不同信号形式的无线网,使信号能透明地传输。演示包括传输话音和数据。1995 年美军启动了 Speakeasy 二期工程,目标是完成一个实用系统,能兼容美军的 15 种电台,并能够同时与其中任意 4 种电台通信。系统的目标是实现一个波形可编程、多频段、多模式电台。Speakeasy 多频段多模式电台(MB-MMR——Multi-Band Multi-Mode Radio)较完整地体现了软件无线电的设计思想,可以说是目前最先进的软件无线电系统。

Speakeasy 的成功表明软件无线电在技术上是完全可行的,而且还代表着未来无线通信体制的发展趋势。软件无线电有着广泛的应用前景,特别是对多频段、多用户、多模式兼容及互联系统,它不仅在军事领域,而且在民用领域也有着极为广阔的应用前景。

1. 军用方面的应用前景

可实现各种军用电台的互联互通的多功能无线网关;可接入各种军用移动通信网的多功能车载电台;可实现各种军用无线系统空中转信的多功能空中平台;以及可以实现智能化通信侦察与对抗的通信电子对抗系统等等。

2. 民用方面的应用前景

民用将成为软件无线电的更为重要的应用领域,其应用前景可包括:多频段多模式移动通用手机;多频段多模式移动电话通用基站;无线局域网及无线用户环的通用网关等等。

以多频段多模式移动通用手机为例。移动电话作为无线个人通信的重要业务具有十分广阔的市场,而现在世界上存在着多种移动电话体制,甚至在一个国家或地区也可能有多个系统共存,这对于想用一部手机走遍全球的用户来说是非常不方便的;另一方面,在我国某些人口高度密集的大城市,特别是市中心地区,移动电话用户过于拥挤,很难满足要求。而目前这些不同的系统还将长时间共存,并且将来的标准也很可能类似于软件无线电的体系。因此,用软件

无线电技术实现多频段多模式移动电话手机不仅可解决以上实际问题,从长远看也是很有意义的。但是要真正实现多频段多模式手机,最困难的将是功率、体积和成本问题。目前看来较有可能首先实现的是软件无线电基站及车载移动台。

软件无线电技术从它的提出到现在,在不到十年的时间内,在军方的研究经历了从无到有的飞速发展阶段;在民间的应用也在高速发展,但由于民用移动通信所用频带很高,算法复杂,目前的 A/D 采样以及 DSP 处理能力等方面距实时性要求还存在一定的距离。但是相信随着超大规模集成电路技术以及微处理器性能的提高,软件无线电技术在商用移动通信领域将会有更大的突破。

2

软件无线电的体系结构

2.1 软件无线电的系统模型

这里,将从系统模型及拓扑结构的角度讨论软件无线电的体系结构。

2.1.1 通信系统模型

我们知道传统通信系统(如图 2-1 所示)的概念是发信者使用无线电发射机将信息传给接收者;接收者使用相应的无线电接收机接收信息,中间通过一定的通信信道。从无线电工程师的角度看,这种收发信机的专用设备应包括信源处理和信道处理两部分。信源处理是将原始信息(如话音)转换为适当的电信号,信道处理是将电信号转换为适合于在无线电射频(RF——Radio Frequency)信道上传输的波形。在射频信道中会引入信道失真、噪声以及时间延迟。在这种传统的通信系统中,需要人工干预的控制很少,只有像电源开关、音量控制、接收机的噪音控制以及手动选择信道等几个简单的控制功能。软件无线电的多频带、多模式、多线程以及多个个性化的特点需要在这个简单的通信模型上进行扩展。

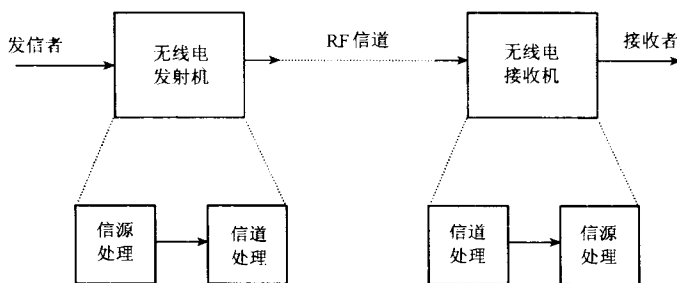


图 2-1 传统无线通信模型

首先考虑软件无线电的多频带技术。软件无线电要求能够同时接通多个频段,因此图 2-1 中的 RF 信道扩展为图 2-2 中的信道集,在这个信道集中,不单单包含 RF 频段,而且还可以包含所有可能的信道方式,如光纤或电缆。图 2-1 中对应的信道处理部分,在软件无线电中可以扩展为三个部分:可编程的 RF/信道接入部分、中频(IF——Intermediate Frequency)处理部分和调制解调部分。其中可编程的射频及信道接入部分是对多个射频段和其他可能的信道接入方式进行自动的接入;中频处理部分是进行滤波、频率变换、波束形成等处理;调制解调部分包含了多种可用的调制技术,它是为了实现多模式无线电所要求的多种调制方式而存在的。

传统通信系统只能完成话音信号的传输,而软件无线电要完成多种信息的传输,包括话