

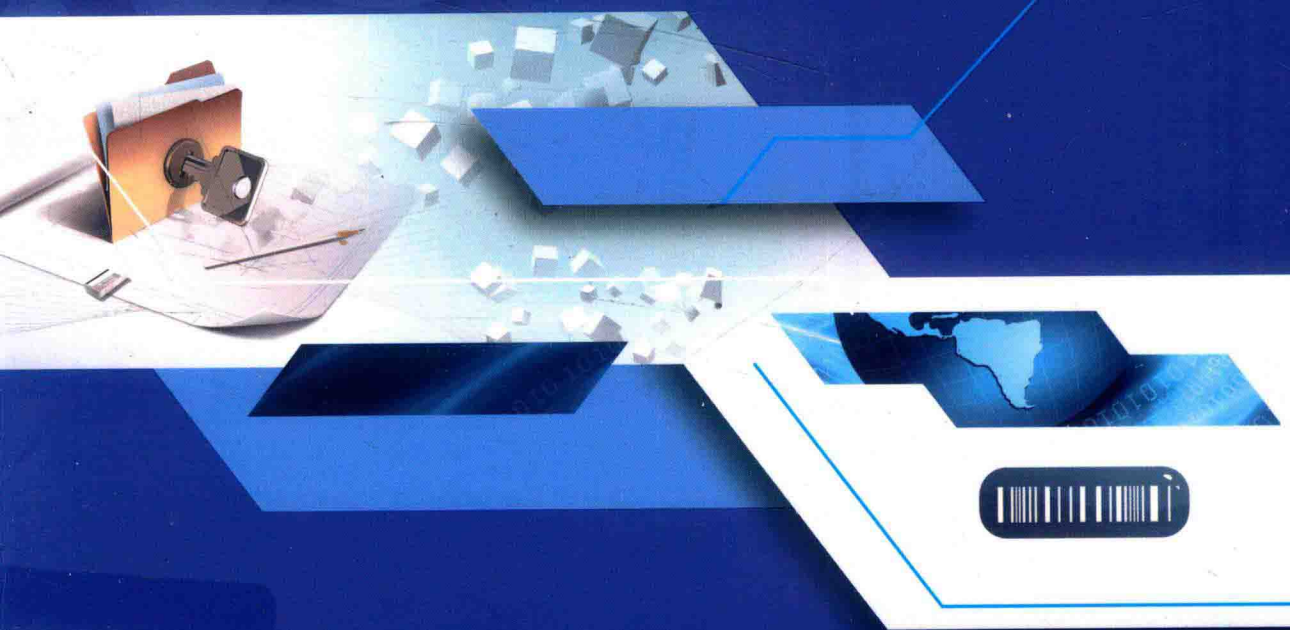
高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

射频通信系统

SHEPIN TONGXIN XITONG

雷文太 董 健 主编

石金晶 副主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

射频通信系统

雷文太 董 健 主 编
石金晶 副主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书以近年来通信领域的若干前沿热点问题为研究对象,并借鉴和参考国内外的相关研究成果而编写。主要内容包括:软件无线电通信技术、超宽带技术、人体区域无线通信系统、机器间通信系统和量子通信系统。在编写的过程中,注意与前后相关课程“通信与网络”“现代通信网络技术”“近距离通信”“物联网技术与应用”“无线传感器网技术”“通信工程管理”在内容上的呼应和互补,保持了整套教材的自洽性。在内容安排上,兼顾通信理论的新发展和实践应用,给出了具体的通信系统实现的实例,有助于学生加深对新技术的理解。

本书适合作为普通高等院校电子信息类专业的教材,也可作为通信工程、网络工程、物联网工程等工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

射频通信系统/雷文太,董健主编. —北京:中国铁道出版社,2017.4

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-22940-5

I. ①射… II. ①雷… ②董… III. ①射频电路—电路设计—高等学校—教材 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 057453 号

书 名: 射频通信系统

作 者: 雷文太 董 健 主编

策 划: 周海燕 曹莉群

读者热线: (010) 63550836

责任编辑: 周海燕 彭立辉

封面设计: 一克米工作室

封面制作: 白 雪

责任校对: 张玉华

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

版 次: 2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 9.25 字数: 211 千

书 号: ISBN 978-7-113-22940-5

定 价: 29.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 51873659

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

主任：施荣华 李 宏

副主任：王国才 彭 军

主 审：邹逢兴

成 员：（按姓氏笔画排序）

王 玮 王 浩 石金晶 李 尹

李曦柯 杨政宇 张晓勇 赵亚湘

郭丽梅 康松林 梁建武 彭春华

董 健 蒋 富 雷文太

在社会信息化的进程中,信息已成为社会发展的重要资源,现代通信技术作为信息社会的支柱之一,在促进社会发展、经济建设方面,起着重要的核心作用。信息的传输与交换的技术即通信技术是信息科学技术发展迅速并极具活力的一个领域,尤其是数字移动通信、光纤通信、射频通信、Internet 网络通信使人们在传递信息和获得信息方面达到了前所未有的便捷程度。通信技术在国民经济各部门和国防工业以及日常生活中得到了广泛的应用,通信产业正在蓬勃发展。随着通信产业的快速发展和通信技术的广泛应用,社会对通信人才的需求在不断增加。通信工程(也作电信工程,旧称远距离通信工程、弱电工程)是电子工程的一个重要分支,电子信息类专业,同时也是其中一个基础学科。该学科关注的是通信过程中的信息传输和信号处理的原理和应用。本专业学习通信技术、通信系统和通信网等方面的知识,能在通信领域中从事研究、设计、制造、运营及在国民经济各部门和国防工业中从事开发、应用通信技术与设备的相关工作。

社会经济发展不仅对通信工程专业人才有十分强大的需求,同样通信工程专业的建设与发展也对社会经济发展产生重要影响。通信技术发展的国际化,将推动通信技术人才培养的国际化。目前,世界上有3项关于工程教育学历互认的国际性协议,签署时间最早、缔约方最多的是《华盛顿协议》,也是世界范围知名度最高的工程教育国际认证协议。2013年6月19日,在韩国首尔召开的国际工程联盟大会上,《华盛顿协议》全会一致通过接纳中国为该协议签约成员,中国成为该协议组织第21个成员,标志着中国的工程教育与国际接轨。通信工程专业积极采用国际化的标准,吸收先进的理念和质量保障文化,对通信工程教育改革发展、专业建设,进一步提高通信工程教育的国际化水平,持续提升通信工程教育人才培养质量具有重要意义。

为此,中南大学信息科学与工程学院启动了通信工程专业的教学改革和课程建设,以及2016版通信工程专业培养方案,并与中国铁道出版社在近期联合组织了一系列通信工程专业的教材研讨活动。他们以严谨负责的态度,认真组织教学一线的教师、专家、学者和编辑,共同研讨通信工程专业的教育方法和课程体系,并在总结长期的通信工程专业教学工作的基础上,启动了“高等学校通信工程专业‘十二五规划’教材”的编写工作,成立了高等学校通信工程专业“十二五规划”教材编委会,由中南大学信息科学与工程学院主管教学的副院长施荣华教授、中南大学信息科学与工程学院电子与通信工程系李宏教授担任主任,邀请国家教学名师、国防科技大学邹逢兴教授担任主审。力图编写一套通信工程专业的知识结构简明完整的、

符合工程认证教育的教材,相信可以对全国的高等院校通信工程专业的建设起到很好的促进作用。

本系列教材拟分为三期,覆盖通信工程专业的专业基础课程和专业核心课程。教材内容覆盖和知识点的取舍本着全面系统、科学合理、注重基础、注重实用、知识宽泛、关注发展的原则,比较完整地构建通信工程专业的课程教材体系。第一期包括以下教材:

《信号与系统》《信息论与编码》《网络测量》《现代通信网络》《通信工程导论》《北斗卫星通信》《射频通信系统》《数字图像处理》《嵌入式通信系统》《通信原理》《通信工程应用数学》《电磁场与电磁波》《电磁场与微波技术》《现代通信网络管理》《微机原理与接口技术》《微机原理与接口实验指导》《信号与系统分析》《计算机通信网络安全技术及应用》。

本套教材如有不足之处,请各位专家、老师和广大读者不吝指正。希望通过本套教材的不断完善和出版,为我国通信工程专业的发展和人才培养做出更大贡献。

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材编委会

2015.7

随着电子技术、数字信号处理技术和互联网技术的飞速发展,传统通信领域正面临着冲击与革新。先进的数字信号处理方法配以高速数字处理系统可以取代传统的通信系统,且具有良好的兼容性和可扩展性。这种软件无线电技术已经在当今移动通信基站中加以应用,并成为推动通信领域发展的新的助推器。作为当前个体感知技术的热点,可穿戴设备及其相关技术发展迅猛,由此衍生出人体区域无线通信系统的概念,内容涉及链路层的物理实现方式、MAC 协议和终端设计方法等。基于机器到机器通信方式的物联网通信技术,已成为通信领域新的热点,在 M2M 通信协议、体系架构、系统实现方面还处于发展阶段,该领域的发展近年来方兴未艾,具有广阔的应用前景。另外,高效安全的信息传输日益受到人们的重视,近年来发展起来的量子通信技术成为保障信息安全的重要手段,内容涉及量子密码通信、量子远程传态和量子密集编码等,该项技术已逐步从理论走向实验,并向实用化方向发展。上述新技术共同推动着通信理论和技术向着更为广阔的领地发展。

通信理论和技术发展越来越快,新技术、新系统不断涌现。作为人才培养主战场的高等学校,有责任将该领域的最新理论和技术传授给学生,本书正是在这一背景下进行编写的。本书介绍了通信工程领域的若干热点和前沿技术问题,内容包括:软件无线电通信技术、超宽带技术、人体区域无线通信系统、机器间通信系统和量子通信系统。本书在编写过程中,注意与前后相关课程在内容上的呼应和互补;在内容安排上,兼顾通信理论的新发展和实践应用,给出了具体的通信系统实现的实例。

本书是中国铁道出版社与中南大学信息科学与工程学院合作出版的电子信息大类丛书之一,从选题、编写到定稿,集合了众多学者的智慧。施荣华教授主持了本套丛书的编写工作,并指导了本书的内容安排。王国才老师负责与中国铁道出版社的联络合作事宜。

本书由雷文太、董健任主编,石金晶任副主编。具体编写分工:雷文太编写了第 1、3、4 章,董健编写了第 2 章,石金晶编写了第 5 章,全书由雷文太统稿。在编写过程中得到了中南大学信息科学与工程学院领导和老师们的大力支持,在此致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中疏漏与不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2016 年 7 月

目 录

第1章 软件无线电通信技术	1
1.1 SDR 概述	1
1.2 SDR 关键技术	2
1.3 SDR 系统组成	3
1.4 SDR 平台的架构	5
1.4.1 以软件为中心的 SDR 架构	5
1.4.2 用于 SDR 信号处理的硬件结构	7
1.5 SDR 开发工具	9
1.5.1 基于可控制硬件的软件无线电平台	10
1.5.2 基于可编程硬件的 SDR 平台	10
1.5.3 基于通用处理器的软件无线电平台	12
1.6 SDR 典型应用	14
小结	16
思考与练习	17
参考文献	17
第2章 超宽带技术	18
2.1 超宽带技术概述	18
2.1.1 超宽带技术的产生与发展	18
2.1.2 超宽带技术的特点	20
2.2 超宽带通信的关键技术	21
2.2.1 脉冲成形技术	21
2.2.2 调制与多址技术	23
2.2.3 接收机的关键技术	25
2.3 超宽带通信的系统方案	27
2.3.1 单频带系统	28
2.3.2 多频带系统	29
2.4 超宽带技术的应用及研究方向	30

2.4.1 超宽带技术的应用	30
2.4.2 超宽带技术的研究方向	32
小结	33
思考与练习	33
参考文献	34

第3章 人体区域无线通信系统

3.1 WBAN 概述	36
3.2 WBAN 物理链路实现技术	37
3.2.1 ZigBee	37
3.2.2 WLAN	37
3.2.3 MICS	38
3.2.4 蓝牙技术	38
3.2.5 超宽带技术	38
3.2.6 WBAN 物理链路实现技术的对比分析	39
3.3 WBAN 系统中的 MAC 协议	40
3.3.1 IEEE 802.15 标准	41
3.3.2 基于 PSMA 和 ER 的 MAC 协议	42
3.3.3 UWB ²	42
3.3.4 U-MAC 和 DCC-MAC	43
3.3.5 冲激脉冲 UWB 的多波段 MAC	44
3.3.6 脉冲串	44
3.3.7 仅发射的 MAC	44
3.3.8 WBAN 系统中 MAC 协议对比分析	45
3.4 WBAN 通信场景下的 MAC 协议的设计和模拟	46
3.4.1 UWB-WBAN 系统实现方式	46
3.4.2 仿真模型	47
3.4.3 跨层设计	50
3.4.4 仿真场景和性能参数	55
3.4.5 仿真结果	56
3.5 基于超宽带冲激脉冲的收发端设计	60
3.5.1 UWB 发射机设计技术	60
3.5.2 UWB 接收机设计技术	62
3.5.3 UWB 传感节点设计	63
3.6 基于 UWB MAC 协议的 WBAN 系统实现	65
3.6.1 跨层 MAC 协议实现	65

3.6.2	多传感器 EGG 和温度监测系统的实现	67
3.6.3	双波段 WBAN 系统的在线评估	68
小结		73
思考与练习		73
参考文献		73
第4章	机器间通信系统	75
4.1	M2M 通信概述	75
4.1.1	M2M 基本概念	75
4.1.2	M2M 通信的典型应用	78
4.1.3	M2M 的发展	81
4.2	M2M 通信体系架构和标准	83
4.2.1	3GPP MTC 架构	83
4.2.2	ETSI 架构	84
4.2.3	EXALTED 系统架构	85
4.3	M2M 传输模型	86
4.3.1	3GPP 和 ETSI 中的 M2M 传输模型	86
4.3.2	M2M 传输模型架构	86
4.4	大规模 M2M 网络的实用分布式编码方案	87
4.4.1	相关工作	88
4.4.2	信号模型	89
4.4.3	灵活的 GMSJC	91
4.4.4	性能分析	93
4.4.5	性能评估	98
4.5	IEEE 802.15.4 用于 M2M 网络通信的有效性分析	102
4.5.1	信道访问方案	102
4.5.2	模型建立	103
4.5.3	数值仿真和性能分析	107
小结		111
思考与练习		111
参考文献		112
第5章	量子通信系统	113
5.1	量子通信系统概述	113
5.1.1	量子密码通信系统	113
5.1.2	非最大纠缠量子通信技术	114

5.1.3	超纠缠量子通信技术	114
5.1.4	混杂纠缠量子通信技术	115
5.1.5	量子通信与光网络融合机理及实现	115
5.1.6	量子通信系统安全机制	116
5.2	量子通信基本原理及特点	116
5.2.1	量子通信系统模型	116
5.2.2	量子信道	120
5.2.3	量子密钥分发系统	120
5.2.4	量子隐形传态	121
5.2.5	量子密集编码	123
5.2.6	量子通信网络	123
5.3	量子通信协议	125
5.3.1	量子密钥分发	125
5.3.2	量子秘密共享	128
5.3.3	量子匿名通信	129
5.4	量子通信发展现状与展望	129
小结		132
思考与练习		132
参考文献		132



第 1 章 软件无线电通信技术

1.1 SDR 概述

广义来讲,软件定义无线电 (Software-Defined Radio, SDR) 是指一个具有开放性、标准化、模块化的通用硬件平台,将各种功能,如工作频段、调制解调器类型、数据格式、加密模式、通信协议等用软件来完成,并使宽带 A/D 和 D/A 转换器尽可能靠近天线,从而实现具有高度灵活性、开放性的新一代无线通信系统。以上描述也适用于现代信号 (频谱) 分析仪等 RF (Radio Frequency) 仪器仪表。

第一台软件定义的基带接收器是得州 E-Systems (现 Raytheon) 公司在 1984 年设计实现的,而第一台软件定义的基带收发器是由 E-Systems 在 1987 年为 Patrick AFB 设计的 WSC-3 (v) 9。1989 年,Haseltine 和 Motorola 又为 Rome AFB 开发出了更新的无线电产品 Speakeasy。而 SDR 这一概念则是由 Joe Mitola 于 1992 年在美国国家电信系统会议上首次明确提出的,其中心思想是构造一个具有开放性、标准化、模块化的通用硬件平台,将诸如工作频段选择、调制解调类型、数据格式、加密模式、通信协议设置等功能用软件来完成,并使宽带 A/D (模/数) 和 D/A (数/模) 转换器尽可能靠近天线,以研制出具有高度灵活性、开放性的新一代无线通信系统。可以说 SDR 是可用软件控制和再定义的通信系统。它利用软件来实现通信系统中的底层操作,从而可以快捷地开发调试并进行后期的更新维护。

理想的软件无线电应当是一种全部可软件编程的无线电,无线电平台具有最大的灵活性。全部可编程包括:可编程射频波段、信道接入方式、调制方式和编码方式。软件无线电系统中宽带模数转换器 (Analog Digital Converter, ADC)、数模转换器 (Digital Analog Converter, DAC)、数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 尽可能地靠近射频天线。尽量利用软件技术来实现无线电中的各种功能模块并将功能模块按需要组合成特定无线电系统。例如:通过可编程数字滤波器对 ADC 得到的采样信号进行分离;利用数字信号处理技术在数字信号处理器上通过软件实现频段 (如短波、超短波等) 的选择,完成信息的抽样、量化、编码/解码、运算处理和变换,实现不同的调制方式及选择 (如调幅、调频、跳频和扩频等),实现不同保密结构、网络协议和控制终端等功能。可实现的软件无线电,称作软件定义的无线电。根据通信系统提供的能力,有人将软件无线电系统分为五个级别,如表 1.1 所示。

表 1.1 软件无线电系统分级表

级 别	名 称	描 述
级别 0	硬件无线电	无线电系统由硬件实现,除了使用物理干预的方式,系统的属性、功能无法改变
级别 1	软件控制无线电	只有控制功能由软件实现,也就是只有有限的功能可以通过软件改变
级别 2	软件定义无线电	系统中大部分功能由软件实现,如调制技术、宽带或窄带操作、通信安全功能等
级别 3	理想软件无线电	可编程性扩展到了整个系统,模拟转换只存在于天线
级别 4	终极软件无线电	主要用于比较。完全的可编程业务和控制信息,并支持很广泛的频率范围、空中接口和应用

通常说的软件无线电,主要指级别 3,即理想软件无线电。软件无线电的概念被提出以来,已经在世界范围的无线电领域得到广泛关注。软件无线电具有灵活、开放的特点,不仅用于最初的军事领域,同时也用于民用通信,特别是在移动通信中获得广泛应用。现代的 SDR 示例包括卫星和地面无线电、军事联合战术无线电系统(JTRS)以及几乎任何蜂窝或陆地移动无线电终端或基站。SDR 的应用覆盖范围如图 1.1 所示。

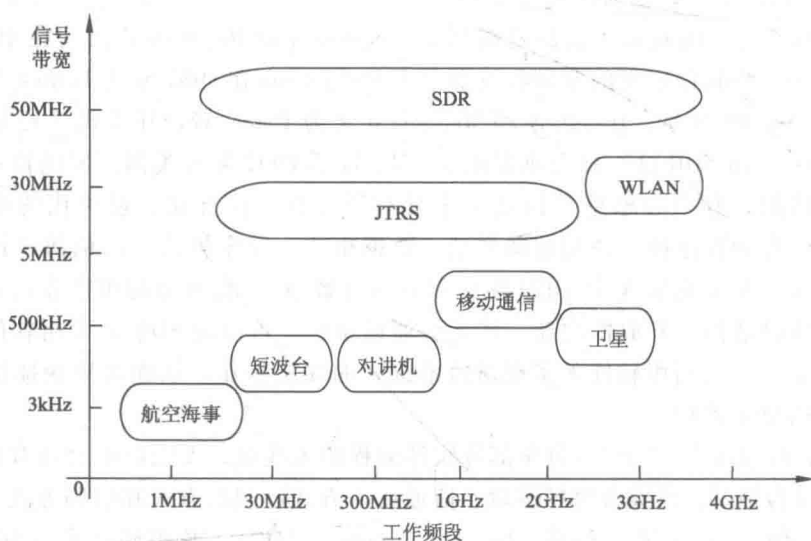


图 1.1 SDR 的应用覆盖范围

1.2 SDR 关键技术

SDR 是软件化、计算密集型的操作形式,它与数字和模拟信号之间的转换、计算速度、运算量、数据处理方式等问题息息相关,这些技术决定着软件无线电技术的发展程度和进展速度。宽带/多频段天线、高速 ADC 与 DAC 器件、高速数字信号处理器是软件无线电的关键技术。

1. 宽带/多频段天线

理想的软件无线电系统的天线部分应该能够覆盖全部无线通信频段, 通常来说, 由于内部阻抗不匹配, 不同频段的天线是不能混用的。而软件无线电要在很宽的工作频率范围内实现无障碍通信, 就必须有一种无论电台在哪个波段都能与之匹配的天线。所以, 实现软件无线电通信, 必须有一个可通过各种频率信号而且线性性能好的宽带天线。软件无线电台覆盖的频段为 $2 \sim 2\,000\text{ MHz}$ 。就目前天线的发展水平而言, 研制一种全频段天线是非常困难的。一般情况下, 大多数无线系统只要覆盖几个不同频段的窗口即可, 不必覆盖全部频段。因此, 现实可行的方法是采用组合式多频段天线的方案, 即把 $2 \sim 2\,000\text{ MHz}$ 频段分为 $2 \sim 30\text{ MHz}$ 、 $30 \sim 500\text{ MHz}$ 、 $500 \sim 2\,000\text{ MHz}$ 三段, 每一段可以采用与该波段相符的宽带天线。这样的宽带天线在目前的技术条件下是可以实现的, 而且基本不影响技术使用要求。

2. 高速 ADC 与 DAC

在软件无线电通信系统中, 要达到尽可能多的以数字形式处理无线信号, 必须把 ADC 尽可能地 toward 天线端推移, 这样就对 ADC 的性能提出了更高的要求。为保证抽样后的信号保持原信号的信息, ADC 转换速率要满足 Nyquist 采样定律, 即采样率至少为带宽的 2 倍。而在实际应用中, 为保证系统更好的性能, 通常需要大于带宽 2 倍的采样率。同时为了改善量化信噪比, 需要增加 ADC 的量化精度。一般采样率和量化精度由 ADC 的电路特性和结构决定, 而在实际情况下这两者往往是一对矛盾, 即精度要求越高, 则采样率一般就比较低; 而降低精度就可以实现高速、超高速采样。

3. 高速数字信号处理器

DSP 是整个软件无线电系统中的核心, 软件无线电的灵活性、开放性、兼容性等特点主要是通过以数字信号处理器为中心的通用硬件平台及软件来实现的。从前端接收的信号, 或将从功放发射出去的信号都要经过数字信号处理器的处理, 包括调制解调、编码解码等工作。由于内部数据流量大, 进行滤波、变频等处理运算次数多, 必须采用高速、实时、并行的数字信号处理器模块或专用集成电路才能达到要求。要完成这么艰巨的任务, 必须要求硬件处理速度不断增加, 同时要求算法进行针对处理器的优化和改进。在单个芯片处理速度有限的情况下, 为了满足数字信号实时处理的需求, 需要利用多个芯片进行并行处理。

1.3 SDR 系统组成

最简单通用的软件无线电平台如图 1.2 所示。各种客户所需要发送的业务首先通过通用的硬件平台, 进行不同的处理, 然后将数字信号交给数模/模数转换板卡, 进行转换, 最后通过射频板卡将信号经过天线发射出去。

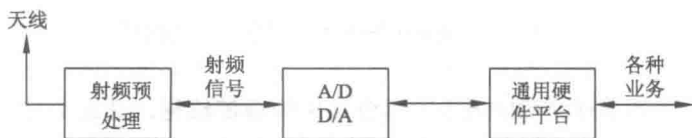


图 1.2 最简单通用的软件无线电平台

其核心思想是将一定频率范围的无线电信号全部接收下来, 转换成数字信号, 再进行软件化处理。从对模拟信号数字化处理来看, 软件无线电结构基本上可以分为 3 种: 射频低通

采样数字化结构、射频带通采样数字化结构和宽带中频带通采样数字化结构。

1. 射频低通采样数字化结构

这种结构的软件无线电，结构简洁，把模拟电路的数量减少到最低程度。其结构如图 1.3 所示。



图 1.3 射频低通采样数字化结构

从天线接收的信号经滤波放大器后直接由 A/D 进行采样数字化，这种结构不仅对 ADC 的性能如转换速率、工作带宽、动态范围等提出了非常高的要求，同时对 DSP 或者专用集成电路处理速度的要求也非常高。这种超高的要求是目前的硬件水平无法达到的。

2. 射频带通采样数字化结构

射频带通采样结构可以适当降低上述结构对 ADC、高速 DSP 的要求。射频带通采样软件无线电结构与射频低通采样软件无线电结构的主要区别在于：射频带通采样无线电 A/D 前采用了带宽较窄的电调滤波器，然后根据所需的处理带宽进行带通采样。这样对 A/D 的采样速率的要求相对较低，对后续 DSP 的处理速度要求也大大降低。其结构图如图 1.4 所示。



图 1.4 射频带通采样数字化结构

3. 宽带中频带通采样数字化结构

宽带中频带通采样结构其实与中频数字接收机的结构类似，都采用超外差体制。其结构如图 1.5 所示。

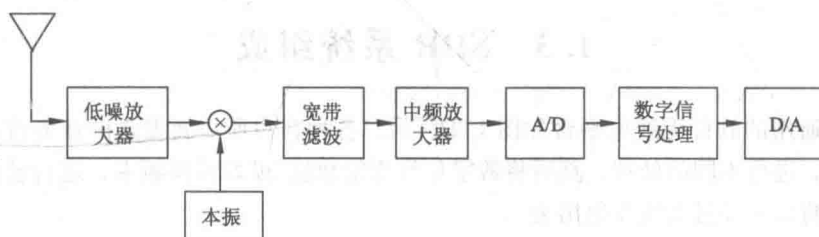


图 1.5 宽带中频带通采样数字化结构

这种宽带中频带通采样结构的最主要特点是中频频带较宽，这也是与一般超外差中频数字接收机的本质区别。所有调制解调、信道编解码、信号加解密、信号处理、频段选择等功能全部通过软件实现，还可以在同一平台上兼容多种通信模式。显而易见，这种结构对器件的性能要求最低，也是最容易实现的结构，但它偏离真正意义的软件无线电的要求最远，只能接收有限范围的无线电信号。鉴于目前的 A/D 转换芯片、DSP、FPGA 的处理速度，只有

宽带中频采样结构是可以实现的,所以目前软件无线电的研究主要集中在宽带中频采样结构上,不过随着器件工艺水平的发展和性能的不断提高,其他结构也会实现。

1.4 SDR 平台的架构

SDR 的功能需求包括重新编程及重新设定的能力、提供并改变业务的能力、支持多标准的能力以及智能化频谱利用的能力等。下面从一个相对完整的 SDR 平台角度来阐述 SDR 平台的架构,主要包括以软件为中心的 SDR 架构和用于 SDR 信号处理的硬件结构两个方面。

1.4.1 以软件为中心的 SDR 架构

软件无线电,其重点在于基于一款通用平台来进行功能的软件化处理。在 SDR 探讨中,开发人员往往注重平台的硬件开发,偏重于搭建平台时使用器件的处理性能,以使得通用平台尽可能地接近理想软件无线电的设计要求。这使得一部分人忽略了 SDR 中软件平台的设计。研究人员提出了 SDR 软件平台的概念,是指在利用通用硬件平台实现 SDR 功能时的一种用户算法处理框架(或简单认为信号处理框架),甚至是一种操作环境(如满足软件通信体系架构规范用户接口环境)。SDR 软件平台(也称作 SDR 架构)负责的功能一般包括:

- (1) 提供用户接口,用户通过该接口添加、删除功能模块。
- (2) 算法封装,将算法包装与外界隔离。算法包括通信算法、信号处理算法、C/C++ 等其他算法。
- (3) 互连接口,以完成模块间互连。
- (4) 中间信号的测试调试接口。
- (5) 调度器或者适配器,用来管理模块。

SDR 架构中,最受欢迎的两类开源平台分别是开源软件定义无线电(GNU Radio)和开源软件通信体系框架嵌入式解决方案(OSSIE)。二者都是着手于标准化和可移植化的代码开发,GNU Radio 的出发点是提供一种信号处理框架,而 OSSIE 的目标是提供一种软件通信体系架构(SCA)操作环境。

1. GNU Radio 平台

GNU Radio 是一种设计 SDR 的开源架构,其主要组件包括 6 个部分:通用框架、调度器、C++ 和 Python 工具、数字信号处理(DSP)模块、用户接口界面、硬件前端的接口。这 6 个部分详细功能说明如下:

- (1) 一个为信号处理模块准备的通用框架,并且其可以连接到一个或多个其他模块。
- (2) 一个调度器,用于激活每个处理模块并且管理模块之间的相关数据传输。
- (3) C++ 和 Python 工具,用于建立多个模块间的流图,并将该流图连接到调度器上。
- (4) 一组足够多的用于滤波器、跟踪环等的常用 DSP 模块。
- (5) 用户接口界面,允许用户拖动模块、模块连线来实现 GNU Radio 的设计。
- (6) 一个与商用硬件前端的接口。前端硬件包括数模/模数转换器(DAC/ADC)和上下变频器,来提供通用处理器(GPP)和无线物理环境的接口。

GNU Radio 运行在 Linux 系统上。图 1.6 所示为 GNU Radio 图形用户接口界面,每一个小模块封装了不同的信号处理功能,而且这些算法功能都是开源的。大部分算法或者信号处理

模块是基于 C++ 语言开发的,可读性强,同时也便于用户开发。模块间的通信是利用数据通道完成的,信息采用的是消息队列形式。GNU Radio 结合通用软件无线电外设 (USRP) 开发板,可以认为是一种 SDR 平台,研究人员可以利用这种平台进行一些算法的快速开发和 SDR 研究。

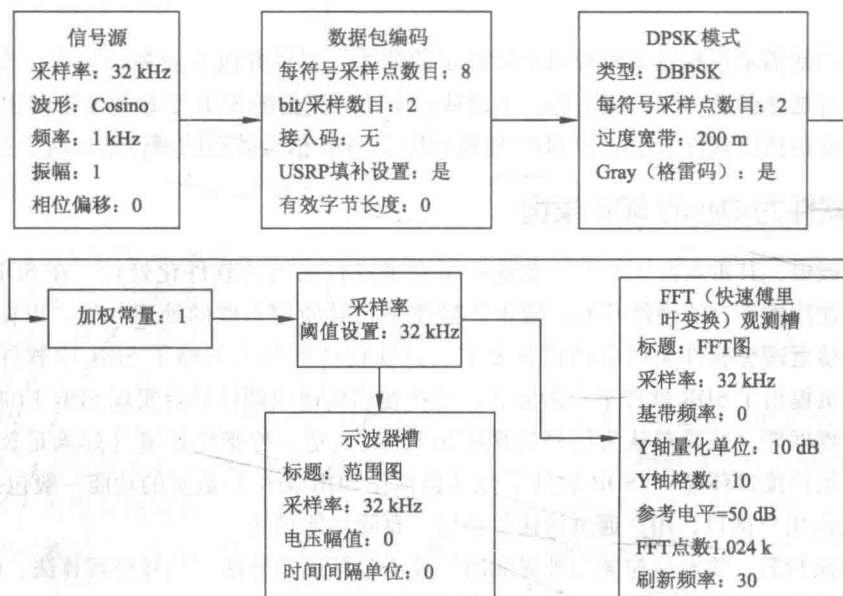


图 1.6 GNU Radio 图形用户接口界面

2. OSSIE 平台

OSSIE 是一种开发 SCA 兼容无线电的开源平台,提供了一种 SCA 操作环境。OSSIE 分配包括以下几部分:

- (1) 用来选择模块和互连模块的用户接口。
- (2) 定义新模块的用户接口,可以创建 C++ 程序框架,用户根据应用需要可以增减框架内所需要的信号处理代码。
- (3) 用来检查和调试波形的用户接口,该接口允许开发人员监视中间模块中的信号。监控器可以在运行中添加,便于观察中间波形,进行模块调试。
- (4) 基于开源对象请求代理 (ORB) 的 SCA 兼容公共对象请求代理体系结构 (CORBA)。
- (5) 一系列学习指南和实验课程。Windows 用户可以直接下载相关组件并运行,不需要安装 Linux,相对于 GNU Radio 上手容易。

用户接口软件 OSSIE 提供了 SDR 架构设计、信号处理代码封装、接口调试、中间模块波形调试等功能,在 OSSIE 上开发完整的无线电是相当可行的。基于 OSSIE 架构,Prismtech 公司的 Spectra 系统提供了一个完整的用来开发 SCA 兼容波形的操作环境。

3. 不同开源 SDR 平台间对比

GNU Radio 是由专门的业余爱好者创立,以节省开支和临时应急验证为目的的一种快速开发工具;而 OSSIE 符合军方开发标准。二者都是着手于标准化和可移植化的代码开发。

GNU Radio 的出发点是提供一种信号处理框架,与之不同的是 OSSIE 的目标是提供一种 SCA 操作环境。GNU Radio 运行在 Linux 平台上,且直接访问文件系统和硬件;SCA 波形运行