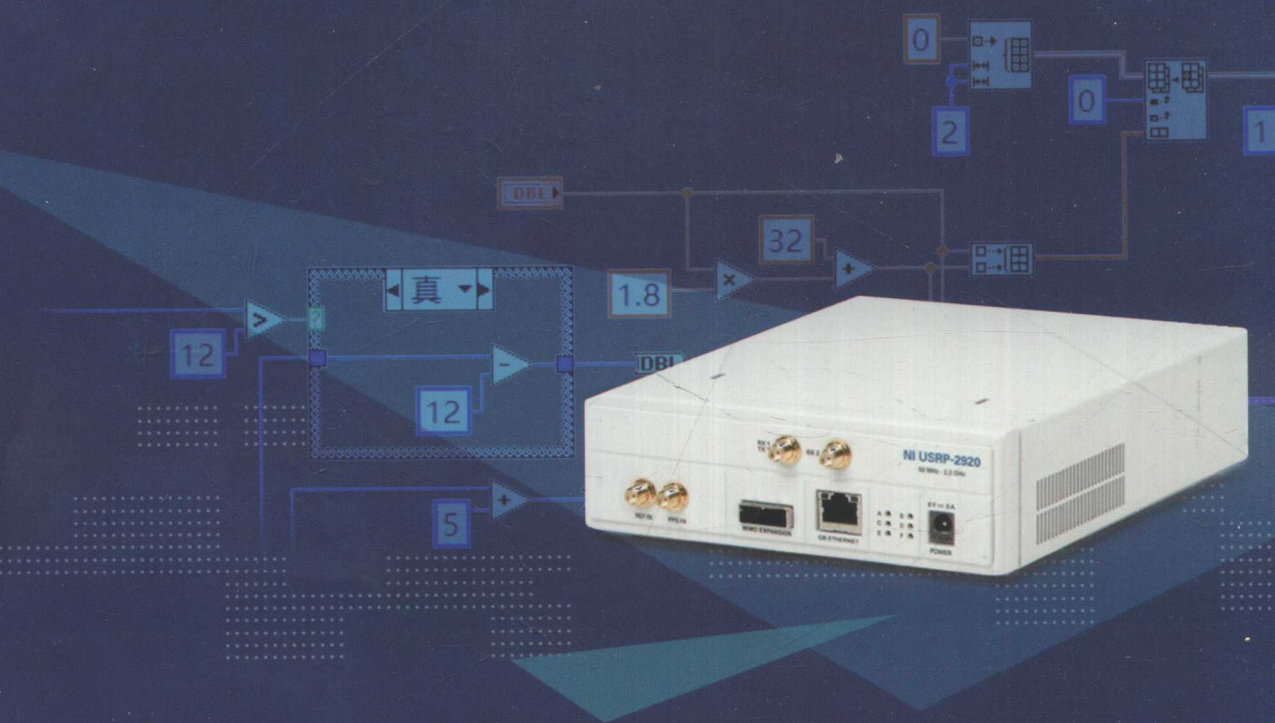




基于软件无线电和 LabVIEW的通信实验教程

◆ 李丞 熊磊 姚冬苹 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

基于软件无线电和 LabVIEW 的 通信实验教程

李 丞 熊 磊 姚冬革 编著



清华大学出版社
北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书介绍了软件无线电(LabVIEW和USRP)工具,是针对通信原理和无线通信的实验教学指导书。本书图文并茂,学练结合,旨在加深学生对通信理论知识的理解,提高学生LabVIEW的使用技能。

全书共分6章,第1章至第4章介绍了LabVIEW和USRP的基本使用方法,包括LabVIEW2012中文版的操作界面、常用函数、数据类型、通信专业常用虚拟仪器、USRP的基本配置与连接等;第5章、第6章介绍了基于通信原理和无线通信课程相关理论的12个实验,包括幅度调制、信源编码、信道编码、多输入多输出系统等实验。

本书主要面向LabVIEW的初、中级用户,可以作为通信工程专业本科生、研究生的实验教材,也可供有关工程技术人员和软件工程师参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

基于软件无线电和LabVIEW的通信实验教程/李丞,熊磊,姚冬苹编著. —北京:北京交通大学出版社:清华大学出版社,2017.11

ISBN 978-7-5121-3384-6

I. ①基… II. ①李… ②熊… ③姚… III. ①软件无线电-教材 ②软件工具-程序设计-教材 IV. ①TN92 ②TP311.56

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第260364号

基于软件无线电和LabVIEW的通信实验教程

JIYU RUANJIAN WUXIANDIAN HE LabVIEW DE TONGXIN SHIYAN JIAOCHENG

责任编辑:韩乐 助理编辑:严慧明

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084

电话:010-62776969

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

北京交通大学出版社 邮编:100044

电话:010-51686414

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

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 mm×260 mm 印张:9.5 字数:237千字

版 次:2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3384-6/TN·111

印 数:1~1500册 定价:29.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

序 言

在摩尔定律指数级的增长速度下，当今的技术发展可谓日新月异。由于具有通信工程这一专业背景，我本人最深切感受的是通信技术发展革新的速度：从最开始本科入学时还在组装模拟电话机，到研究生阶段完成 CDMA 系统的开发，再到今天与各大高校前沿通信团队合作，积极探索 5G 通信中 Massive MIMO、mmWave 等核心技术的研发。纵观这个发展过程，通信系统的性能和复杂度不断提高，对于新算法验证的迭代速度的要求越来越高，这些都给每一名通信研究人员和工程师提出了新的挑战。

近十年以来，软件无线电技术的出现为全球不同通信领域所面临的问题提供了一个崭新的解决方案。与当今迅速发展的移动互联网技术体系架构类似，软件无线电技术强调“软件定义”的作用。其核心是在一套通用的、高性能的硬件体系架构下（类似 iPhone 手机的硬件），提供了一套完整的软件开发平台和工具链（类似 iOS 系统和 App 开发 SDK）。基于这样的通用软、硬件体系结构，研究人员和工程师们可以基于“软件定义”快速开发不同的通信系统原型和应用，这大大降低了复杂通信系统设计的门槛，加速了通信系统开发的迭代速度；同时，使得研究人员和工程师们可以专注在所关注或者擅长的细分领域中充分发挥自身技术优势。

在软件无线电技术发展的过程中，伴随着 A/D、D/A、FPGA 及 DSP 等半导体技术的迅速发展，最新元器件的引入使得软件无线电平台的硬件性能（系统频段、带宽、吞吐率等）每一年都在经历明显的提升；然而在软件开发平台和工具链方面，却明显存在一个发展的不平衡：传统开源软件开发平台的入门和开发难度大，相关支持资源不足，以及缺少类似 Massive MIMO 这样复杂通信系统的通用架构等资源。在这一背景下，出现了以“软件就是仪器”定义虚拟仪器技术的图形化 LabVIEW 开发平台。由于其与“软件定义”核心理念的天然匹配，在市场上出现后，成为软件无线电技术软件开发平台和工具链的新选择。LabVIEW 友好的图形化开发环境，与软件无线电 USRP 硬件驱动的无缝连接，工具链中关于通信调制、编码的现有开发模块，以及包含 Massive MIMO 在内的系统设计通用架构等资源，使得 LabVIEW 成为软件层面加速软件无线电技术应用开发的得力工具，也是目前市场上进行 5G 算法开发的主流软件平台之一。

随着软件无线电技术在工业及研究领域的广泛应用，全球越来越多的高校已经或者正在计划将软件无线电技术融入到课程体系中，使通信人才的培养与产业的需求更加契合。通信工程领域的带头人张乃通院士在谈到通信工程专业课程体系时也提到“要‘变’，现在的课程应该有所改革，要把软件无线电纳入学习体系，硬件是死的，软件是活的”。在这个趋势下，LabVIEW 作为软件无线电技术软件开发平台所带来的易用性、互动性，以及现成可用的通信模块等资源，在教学中体现出明显的优势，大大地降低了软件无线电技术作为教学辅助工具的门槛。这类教学模式在 UT Austin, UC Berkeley 等国际领先院校已经获得了较好的实践，然而，对国内大部分老师来说，这样的软件工具和平台还相对比较新，如何更好地应用并匹

配国内教学体系的要求，是一个需要不断探索的问题。

北京交通大学通信工程专业的老师们在这个背景下，作为国内引入软件无线电和 LabVIEW 用于通信实验的先行者，在这个点上做了近 5 年的投入和尝试，并将宝贵的教学经验升华、提取、整理成书，形成了今天这本《基于软件无线电和 LabVIEW 的通信实验教程》。这本书面向的是更为广泛的基于软件无线电技术进行通信教学实验的老师和同学，一部分内容覆盖所需要用到的 LabVIEW 核心基础内容，而另一部分更为关注的是实验的精准设计，即如何基于这样的通用软、硬件平台和工具，帮助学生在每一个实验中以恰到好处的难度完成通信相关知识的学习和验证，同时体会到软件无线电带来的技术优势；在此基础上，也提供一定的扩展实验选择，尤其是高级实验篇基于一些行业项目提取的关键核心技术的学习和项目开发。应该说，这本书凝聚了北京交通大学通信工程专业多名老师的心血及多年教学实验迭代出来的精华。它能够节省很多通信工程专业教师开发实验的宝贵时间，并取得更好的教学效果。它也能够有效地帮助软件无线电这样主流的业界技术，更早地被通信专业甚至其他专业的学生所接触和应用，有效地改进现在很多通信教学实验还是基于模拟技术的老旧实验箱的局面。

最后，衷心感谢北京交通大学通信工程专业团队的老师们为人才培养和教学改革所作出的努力，同时也希望他们的成果可以帮助更多学校的学生受益！

美国国家仪器有限公司中国院校计划经理 潘宇
2016.11.01

前言

作为无线电工程的现代方法,软件无线电(software defined radio, SDR)不仅在工程领域获得广泛应用,也为通信的教学和研究提供了实用的软、硬件平台。本书基于美国国家仪器有限公司的 LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench) 和通用软件无线电外设(universal software radio peripheral, USRP),共设计 12 个实验,内容涵盖“通信系统原理”和“无线通信基础”这两门通信工程专业必修课程中的重要概念和关键技术。

在具体实验设计中,本书力求减少传统的验证型实验,而增加系统级设计型、综合型实验,帮助学生更好地理解关键知识点,使学生能在实验中培养和提升工程实践能力。从而将传统教学中教师“以知识为本”的讲授模式转化为学生“以研究为本”的学习模式,把研究中的纯“软”(软件仿真)理论研究转化为现实可以听得见声、看得见影的“硬”(硬件平台)实际系统。在感受真实无线信号的过程中,激发学生的学习兴趣,锻炼学生的动手能力,培养学生的创新思维。

第 1 章介绍软件无线电的基本概念和本书使用的 LabVIEW+USRP 软件无线电平台。本章可帮助学生了解什么是软件无线电,并对 LabVIEW+USRP 软件无线电平台形成初步认识。第 2 章具体介绍软件平台 LabVIEW,从图形化编程软件的界面组成、常用函数与控件、数据类型等方面概述其基本使用方法。第 3 章介绍 LabVIEW 中通信常用的部分虚拟仪器,它们在后面实验中扮演重要角色。第 4 章介绍硬件平台 USRP 的基本操作。

第 5 章包括 6 个基础实验,分别为幅度调制实验、频率调制实验、信源编码实验、数字调制解调实验 I、数字调制解调实验 II 和信道编码实验(分组码)。幅度调制和频率调制是两种常见的模拟调制方式,完成的频率调制实验接收端可以收听到真实广播电台的节目。通过信源编码实验可实现对音频文件的编码。数字调制解调实验 I 需要在软件平台上完成两种常见数字调制方式(BPSK 和 QPSK)的仿真。数字调制解调实验 II 进一步完成 BPSK 和 QPSK 在硬件平台上的实现。信道编码实验(分组码)需要实现对一个 JPEG 图像文件的(7,4)线性分组码的编解码。

第 6 章包括 6 个高级实验,分别为信道编码实验(卷积码)、分集实验、均衡实验、扩频实验、正交频分复用实验和多输入多输出系统实验。信道编码实验(卷积码)需要实现对一个 JPEG 图像文件的(2,1,5)卷积码的编解码。分集实验需要完成选择式合并、等增益合并、最大比值合并三种分集接收算法。均衡实验需要利用最小均方误差准则设计一种线性均衡器。扩频实验需要完成直接序列扩频和解扩。正交频分复用实验需要完成 OFDM 调制与解调。多输入多输出实验中,须级联多台 USRP 来搭建 2×2 多输入多输出系统。

为方便教师和学生使用本实验教程,书中对每个实验的介绍统一分为 4 个部分:实验目标、实验环境与准备、实验介绍、实验任务。其中,实验目标简洁说明本实验将要完成的系统功能和实验意义;实验环境与准备列出实验所需设备和预备基础知识;实验介绍关注整个实验系统,在帮助学生对整个程序有全面了解的基础上,重点介绍程序中关键模块,帮助学

生在编程时能做到得心应手；实验任务具体描述待完成的各个程序的实现方法、使用和验证方法。

将课堂上所学的理论知识完整地应用于实验中是本书的特色之一。因此，在课堂上学完一章知识后，可以在本书中找到对应的实验来巩固所学的知识，加深对课堂理论知识的理解。本书中大部分实验是通过 USRP 硬件来实现真实无线链路的数据发送和接收，可以感受到真实无线信号，体验从信源到信宿一个完整的无线通信系统的实现流程。

本书由李丞统筹，李丞、熊磊、姚冬萍编写。本书得到美国国家仪器有限公司的大力帮助和支持，在此表示感谢！此外，北京交通大学的费丹、杨汨、裘凯迪、张伟华、杨美荣、廖佳纯、宋美荣、田宇、黄邦彦、王涛等结合自己的研究工作，对本书的编写和校对也做出了重要贡献，在此一并感谢！

由于时间仓促，加上编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2017年10月

目 录

第 1 章 软件无线电平台简介	1
1.1 软件无线电	1
1.1.1 软件无线电的定义和特点	1
1.1.2 软件无线电的发展历程	2
1.1.3 软件无线电的基本架构	2
1.2 LabVIEW 简介	3
1.2.1 什么是 LabVIEW	3
1.2.2 LabVIEW 的工作原理	3
1.2.3 LabVIEW 的优势	4
1.3 USRP 简介	5
1.4 构建软件无线电平台	5
第 2 章 LabVIEW 入门	7
2.1 LabVIEW 导航	7
2.1.1 前面板	7
2.1.2 程序框图	10
2.1.3 数据流	16
2.2 编程基础	17
2.2.1 前面板基本介绍	17
2.2.2 LabVIEW 数据类型	19
2.2.3 While 循环	24
2.2.4 For 循环	27
2.2.5 循环中的数据反馈	29
2.2.6 条件结构	31
2.3 创建和使用数据结构	36
2.3.1 数组	36
2.3.2 常见数组函数	38
2.3.3 多态性	39
2.3.4 自动索引	41
2.3.5 簇	42
第 3 章 常用虚拟仪器	47
3.1 常见信号发生器	47

3.1.1	基本函数发生器	47
3.1.2	PN 序列生成器	48
3.2	频谱仪	49
3.3	星座图观测仪	51
3.4	误比特率观测仪	52
第 4 章	USRP 基本操作	54
4.1	USRP 前面板连接	54
4.2	USRP 驱动配置	54
4.2.1	USRP 发送端配置	55
4.2.2	USRP 接收端配置	56
4.2.3	USRP 参数配置	57
4.2.4	USRP 的 IP 地址查找	58
第 5 章	基础实验	60
5.1	幅度调制实验	60
5.1.1	实验目标	60
5.1.2	实验环境与准备	60
5.1.3	实验介绍	60
5.1.4	实验任务	61
5.2	频率调制实验	66
5.2.1	实验目标	66
5.2.2	实验环境与准备	66
5.2.3	实验介绍	66
5.2.4	实验任务	69
5.3	信源编码实验	72
5.3.1	实验目标	72
5.3.2	实验环境与准备	72
5.3.3	实验介绍	72
5.3.4	实验任务	73
5.4	数字调制解调实验 I	80
5.4.1	实验目标	80
5.4.2	实验环境与准备	80
5.4.3	实验介绍	80
5.4.4	实验任务	83
5.5	数字调制解调实验 II	86
5.5.1	实验目标	86
5.5.2	实验环境与准备	86
5.5.3	实验介绍	86

5.5.4	实验任务	88
5.6	信道编码实验 (分组码)	90
5.6.1	实验目标	90
5.6.2	实验环境与准备	90
5.6.3	实验介绍	90
5.6.4	实验任务	92
第 6 章	高级实验	95
6.1	信道编码实验 (卷积码)	95
6.1.1	实验目标	95
6.1.2	实验环境与准备	95
6.1.3	实验介绍	95
6.1.4	实验任务	97
6.2	分集实验	100
6.2.1	实验目标	100
6.2.2	实验环境与准备	100
6.2.3	实验介绍	100
6.2.4	实验任务	105
6.3	均衡实验	109
6.3.1	实验目标	109
6.3.2	实验环境与准备	109
6.3.3	实验介绍	109
6.3.4	实验任务	112
6.4	扩频实验	117
6.4.1	实验目标	117
6.4.2	实验环境与准备	117
6.4.3	实验介绍	117
6.4.4	实验任务	120
6.5	正交频分复用实验	124
6.5.1	实验目标	124
6.5.2	实验环境与准备	124
6.5.3	实验介绍	124
6.5.4	实验任务	126
6.6	多输入多输出系统实验	132
6.6.1	实验目标	132
6.6.2	实验环境与准备	132
6.6.3	实验介绍	132
6.6.4	实验任务	137
	参考文献	141

第 1 章 软件无线电平台简介

本章的主要内容包括：

- (1) 讲述软件无线电 (software defined radio, SDR) 的基本概念、发展历程及应用场景；
- (2) 介绍图形化编程语言——LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench) 的基本概念、功能及使用方法；
- (3) 介绍通用软件无线电外设 (universal software radio peripheral, USRP) 的工作原理；
- (4) 介绍如何利用 LabVIEW 和 USRP 搭建后续实验所需的软件无线电平台。

本章的学习目标有：

- (1) 了解软件无线电概念；
- (2) 理解什么是图形化编程语言及 LabVIEW 的工作原理和优势；
- (3) 理解 USRP 的架构和使用方法；
- (4) 掌握搭建软件无线电平台的方法。

本章所涉及的关键术语有：

- (1) 软件无线电 (software defined radio, SDR)；
- (2) 图形化编程语言 (graphical programming language)；
- (3) LabVIEW，它是由美国国家仪器有限公司开发的图形化编程语言软件；
- (4) 虚拟仪器 (virtual instrument, VI)，LabVIEW 中的子程序也叫作子 VI；
- (5) 数据流 (dataflow)；
- (6) 通用软件无线电外设 (universal software radio peripheral, USRP)。

1.1 软件无线电

1.1.1 软件无线电的定义和特点

软件无线电是多频段无线电，它具有宽带的天线、射频前端、模数/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）都可以通过软件来定义。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。相同的硬件可以通过软件定义来完成不同的功能。软件无线电是一种新的无线电系统体系结构，是现代无线电工程的一种设计方法、设计理念。

由定义得出软件无线电应具备的特点为：① 软件无线电不是特定的某个系统，而是一种解决方案、一种设计思路；② 软件无线电要有适应多频段、宽频带和多种接口及协议的能力；③ 软件无线电的硬件平台要尽量简化，主要由软件实现其无线电功能；④ 软件无线电的软件应便于升级、修改和重构。

1.1.2 软件无线电的发展历程

无线通信是现代通信的重要组成部分，因其便于携带、架设方便、机动性强等特点在军事通信领域更加不可或缺。传统的军用电台往往是根据某种特定用途设计的，各个电台在工作频段、调制方式、通信协议、编码方式等通信特性上有很大差异，这导致不同电台之间的互联互通十分困难。同时，这种特定功能的电台在技术上会很快落伍，生命周期过短。后来，随着无线通信特别是数字化通信的发展，电台的灵活性和可拓展性有一定提高，但依旧无法完全满足军队对现代化通信和协同作战的要求。此外，民用通信中也存在通信设备之间互通性差的问题。为解决此问题，各国都进行了积极的探索。其中的一种解决方案是，用一个系列的电台来实现电台的多频段和多功能，这种方案在一定程度上可以解决互通性问题，但是它无法延长电台的生命周期，也会导致成本增加。

1992 年 5 月，MILTRE 公司的 Joseph Mitola III 第一次明确提出软件无线电的概念，其核心思想是设计一种利用软件来控制 and 定义的电台，其系统的工作频段、调制方式、编码方式、加密方式、通信协议等都通过软件来实现。这种通信系统的功能更多体现在软件上，即通过修改和升级软件便可以很容易地改变其功能，使其具有较好的灵活性和开放性，从而大大延长了电台的使用寿命，节约了成本。

基于灵活性和开放性这两个突出优点，软件无线电概念一经提出就获得通信领域众多研究者的关注，并在军事通信、民用通信领域中都取得了广泛的应用。

1.1.3 软件无线电的基本架构

以开放、可拓展、结构精简的硬件作为通用平台，把尽可能多的无线电功能用可重构、可升级的构件化软件来实现，这就是软件无线电的基本思想。硬件电路往往功能单一且灵活性差，若想采用软件实现无线电功能，以此提高灵活性和可拓展性，就要尽可能减少硬件电路，尤其是减少模拟环节。也就是说，需要将数字化处理（A/D 和 D/A 转换）尽量向天线推移^[1]。但如果直接推移到射频，需要过高的 A/D 和 D/A 转换速率，因此在实际应用中都会在 ADC/DAC 与天线之间设置射频前端模块，用来实现射频信号与中频信号之间的转换。

常见软件无线电系统结构图如图 1-1 所示。其中，一般要求天线须覆盖较宽的频段，以满足各种应用的需求。射频前端主要实现上/下变频、滤波、功率放大等功能。通过 A/D 转换的数字信号再经过专用数字信号处理器（digital signal processor, DSP）如数字下变频器（DDC）进行处理，降低数据速率，并把信号变换至基带，然后再利用 DSP 或者计算机进行低速率基带处理，包括常见的调制解调、编解码、加解密、均衡等。

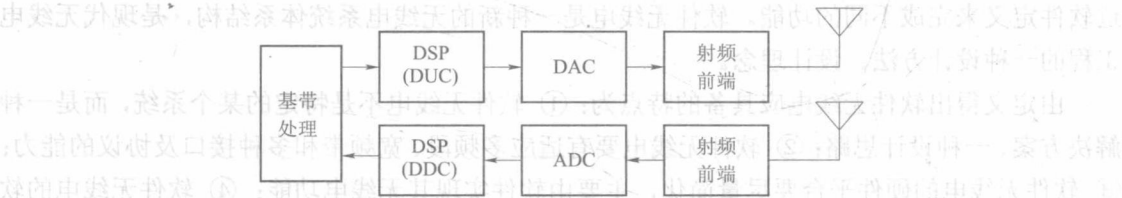


图 1-1 常见软件无线电系统结构图

1.2 LabVIEW 简介

1.2.1 什么是 LabVIEW

LabVIEW 的全称是 laboratory virtual instrument engineering workbench, 是由美国国家仪器有限公司开发的一种图形化编程语言^[2]。LabVIEW 采用直观、简洁并代表不同功能的图形符号, 通过连线来完成数据传输。图形化编程语言省去了传统文本编程语言中的语法细节, 使得编写程序和开发面向用户的图形界面变得更加容易, 是一种能够大幅度提高开发效率的程序编写语言。

1.2.2 LabVIEW 的工作原理

每个 LabVIEW 程序都包含一个或多个虚拟仪器 (virtual instrument, VI), 可以把它们类比为传统文本编程语言中的主程序和子程序/函数。通过多个 VI 的组合, 可以完成非常复杂的功能的实现。

每一个 VI 都由三部分组成: 前面板、程序框图和连接器^[3]。

1. 前面板

前面板是 VI 的用户界面, 如图 1-2 所示。前面板通过控制按钮、指示灯、输入/输出、图形显示等多种控件实现输入数值的设置、观察输出、界面的美化修饰及真实仪表面板的模拟, 其本质是程序面向用户的图形化界面, 可完成用户和源代码的交互。

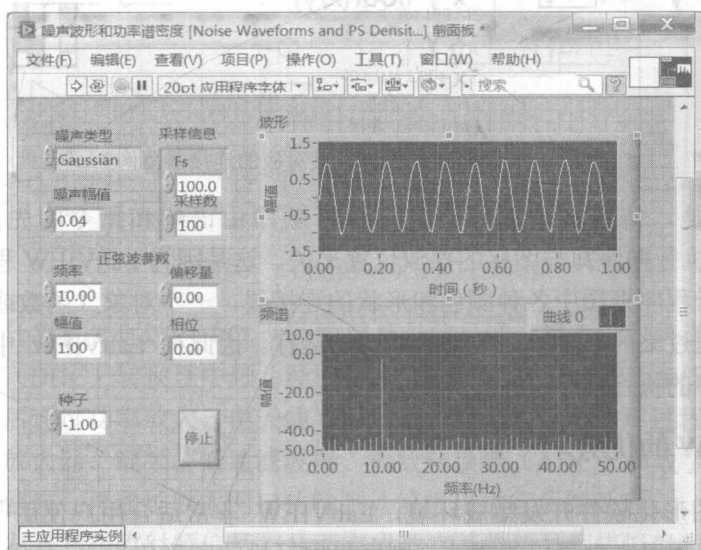


图 1-2 前面板

2. 程序框图

利用图形化编程语言可在程序框图中编写源代码, LabVIEW 的程序框图如图 1-3 所示。程序框图包括算术运算、逻辑运算、控制结构等函数及其他子程序, 其作用是通过图形化的源代码实现运算和操作, 并将结果反映在前面板中以呈现给用户。

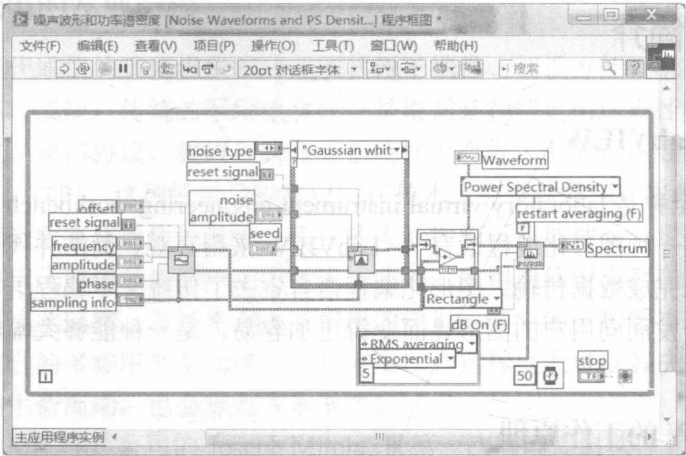


图 1-3 程序框图

3. 连接器

子程序的图标及其对应的连接器范例如图 1-4 所示，其中图 1-4（a）表示图标及输入/输出端口，图 1-4（b）表示该图标对应的连接器设置。通过连接器可以定义程序与外部的输入/输出端口，使得不同程序之间可以通过输入/输出端口实现调用。被调用的程序被称为子程序，类似于传统文本编程语言中的子程序。

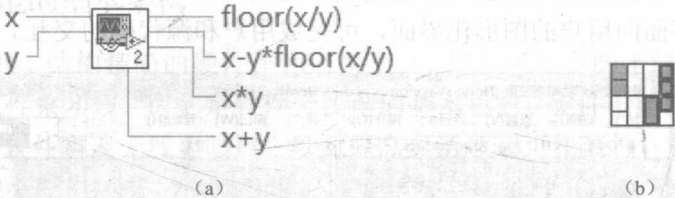


图 1-4 子程序的图标及其对应的连接器范例

需要注意的是，传统文本编程语言的执行顺序由语句和指令的先后顺序决定，而 LabVIEW 程序的执行顺序却与图标的摆放位置无关。这是因为 LabVIEW 程序的运行是基于数据流的，即基于程序框图中各种颜色和形状的连接线，一个对象（函数或者子程序）只有在收到数据流传送过来的必要输入数据后才开始运行。因此在 LabVIEW 中，节点间的数据流流向决定了程序的执行顺序。

1.2.3 LabVIEW 的优势

作为直观的图形化软件开发集成环境，LabVIEW 非常适合用户使用^[1]。一方面，它不用考虑传统文本编程语言中琐碎的语法规则而采用轻松的图形化界面，节省了大量编程时间，使用户能够将更多精力集中在理论分析和原理验证上；另一方面，LabVIEW 提供许多实用的应用代码库，如数据显示、数据采集（DAQ）、信号处理、矩阵运算、串口仪器控制、通用接口总线（GPIB）等，用户利用这些应用代码库可以较轻松地完成工程应用中所需的运算和处理，而且能够方便地与其他计算机、仪器和嵌入式硬件进行连接和通信，组成更庞大的系统，完成更复杂的任务。

1.3 USRP 简介

USRP 是通用软件无线电外设 (universal software radio peripheral) 的简称, 以常用的 NI USRP-2920 为例, 其外观如图 1-5 所示, 其系统架构图如图 1-6 所示^[4]。

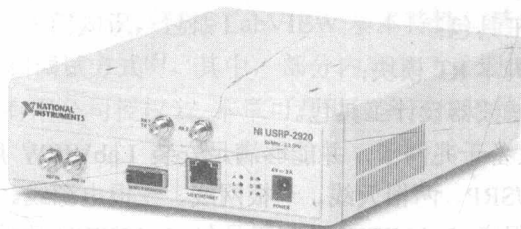


图 1-5 NI USRP-2920 的外观

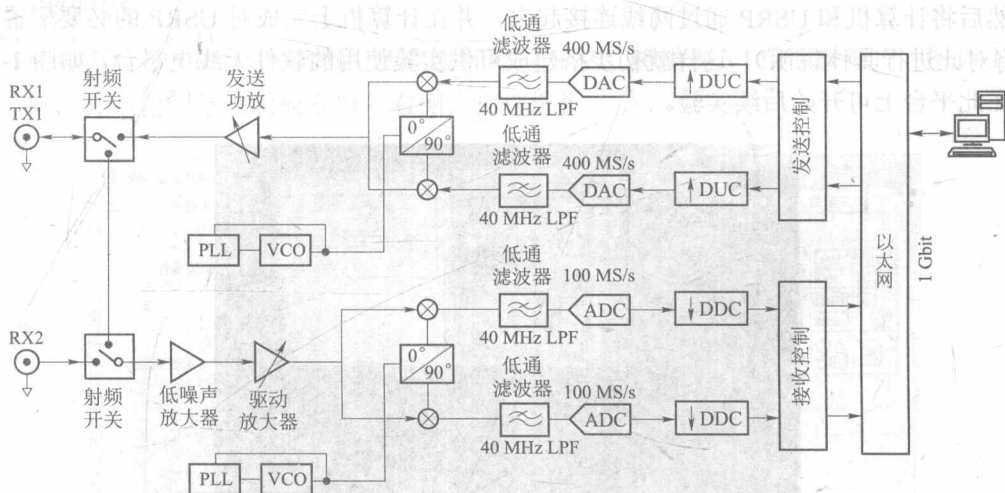


图 1-6 NI USRP-2920 系统架构图

在发送端, 计算机处理过的 I/Q 两路数字基带信号通过以太网口传送给 USRP, 然后经过数字上变频器 (DUC) 转换至中频, 经过高速数模转换器 (DAC) 和低通滤波器后再与载波信号混频, 最后通过功率放大, 由天线发射。接收端是发送端的逆过程: 接收的射频信号依次经过低噪声放大器、混频、低通滤波器、模数转换器 (ADC) 和数字下变频器 (DDC) 转化为数字基带信号, 再通过以太网口传输到计算机以进行后续处理。

USRP 可以发送和接收射频信号, 从而完成数字基带信号到模拟射频信号的转换。本书所有采用真实通信信道的实验均使用 USRP 作为软件无线电硬件平台。

1.4 构建软件无线电平台

1.2 节和 1.3 节分别介绍了软件无线电平台的编程环境 (LabVIEW) 和硬件部分 (USRP),

本节主要讲述如何搭建后续实验使用的软件无线电平台。

首先请准备好以下软、硬件：

- (1) 计算机一台；
- (2) USRP 设备一套；
- (3) LabVIEW 安装文件；
- (4) USRP 驱动程序；
- (5) LabVIEW 调制工具包；
- (6) LabVIEW 数学脚本 RT 模块；
- (7) LabVIEW 数字滤波器设计工具包。

其中，计算机需要具备千兆网卡，并能够满足安装 LabVIEW 所需的最低配置要求。一套 USRP 设备包含一台 USRP、两根天线、一根网线、一根电源线。最好使用 LabVIEW 2012 或以上版本。USRP 驱动程序、LabVIEW 调制工具包、LabVIEW 数学脚本 RT 模块、LabVIEW 数字滤波器设计工具包的安装文件可以在 USRP 的随机套件中找到。

准备好以上软、硬件后，首先应在计算机上安装 LabVIEW 及其余四个驱动程序或工具包，然后将计算机和 USRP 通过网线连接起来，并在计算机上完成对 USRP 的必要配置（第 4 章将对此进行具体说明），这样就初步搭建成可供实验使用的软件无线电平台，如图 1-7 所示，在此平台上可开始后续实验。

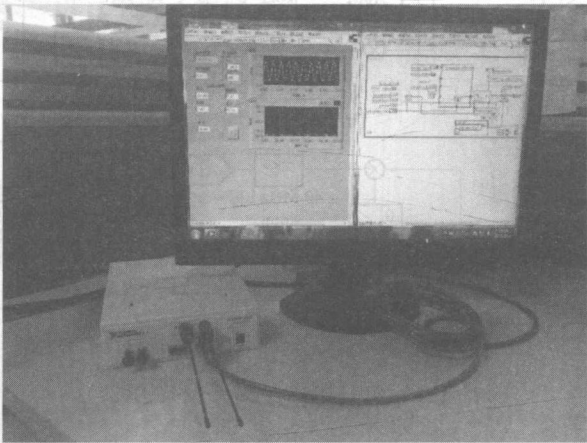


图 1-7 实验使用的软件无线电平台

第2章 LabVIEW 入门

本章将介绍 LabVIEW 入门知识, 包括 LabVIEW 基本特性、基本编程环境、基本操作、常用控制结构、数据类型和调试方式^[5]。其中, 部分内容参考美国国家仪器有限公司培训教材(已获得美国国家仪器有限公司授权)。本章可帮助读者更快地熟悉 LabVIEW, 并能使用 LabVIEW 进行实验。

2.1 LabVIEW 导航

2.1.1 前面板

前面板窗口是 VI 的用户界面。新建或打开现有 VI, 将出现 VI 前面板窗口。图 2-1 为前面板范例, 其中左侧是前面板窗口, 右侧为控件选板。

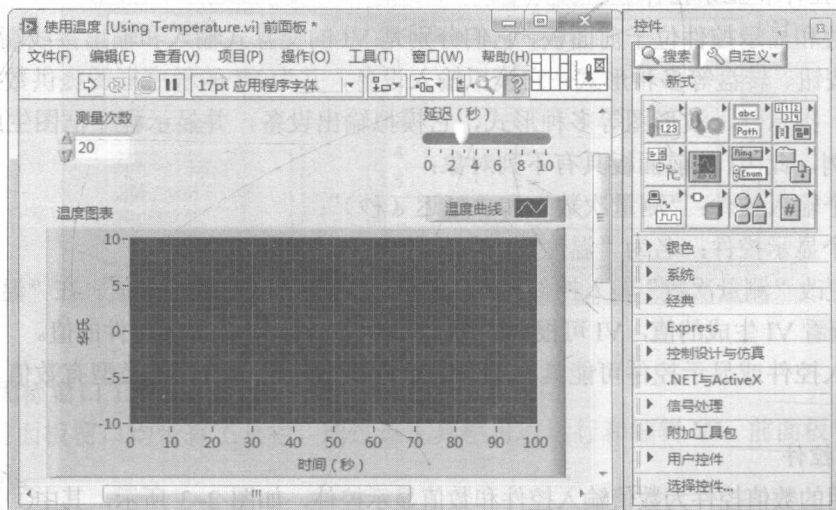


图 2-1 前面板范例

1. 控件选板

在前面板窗口选择【查看】|【控件选板】命令, 可访问控件选板。控件选板上可显示不同的控件类, 用户可根据需要显示部分或全部控件类。图 2-2 为显示了全部控件类的控件选板, 展开的控件类为“银色”。常用的控件类包括新式、银色、系统、经典四种。

如要查看或隐藏控件类(子选板), 可在控件选板上选择【自定义】|【更改可见选板】命令, 在打开的对话框中, 选中或取消选中相应的可见类别选项, 单击【确定】按钮, 完成设置。下面具体介绍几种常用控件。