

# 基于 MATLAB 的高效自动化通信实验平台\*

王星光 孙彦赞 吴雅婷 王涛

(上海大学 特种光纤与光接入网重点实验室 通信与信息工程学院 上海 200072)

**摘要:** 伴随着通信技术的不断演进,数字通信实验平台在操作效率和处理速度上面临着挑战。为此,采用 MATLAB 作为中央控制平台,为实验仪器编写了各自的通信接口程序,实现了对于信号发射机、信号接收机和数字电源的软件控制,并利用 MATLAB 强大的信号处理能力,开发出一套软硬件结合的自动化数字通信实验平台。该平台利用软件指令调控可编程仪器,进行数据采集和过程监控,并完整实现了调制、发射、接收、解调等通信过程。在日常实验和教学中,该实验平台可有效提高通信实验系统的自动化程度和运行效率,其软件系统具有很高的开放性,使用者可以根据不同的实验方案进一步开发所需的软件功能。

**关键词:** MATLAB; 数字通信; 自动化; 可编程仪器

**中图分类号:** TN91      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 510.5025

## Efficient and automatic communication experiment platform based on MATLAB

Wang Xingguang Sun Yanzan Wu Yating Wang Tao

(Key Laboratory of Fiber Optics and Optical Access Networks, School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** As communication technology develops, the digital communication experiment platform is facing the challenge in operating efficiency and processing speed. Using MATLAB as the central control unit, this platform controls the signal transmitter, the signal receiver and the digital power source by exclusive communication interfaces written for the experimental instruments involved. Digital signal processing is completed in MATLAB. The programmable instruments and software are unified in this platform to complete the tasks of modulation, emission, reception, demodulation, data acquisition and process monitoring, which are key parts in digital communication. The experimental platform can improve the automation and efficiency of communication experiment system. The open software system allows users to develop new functions further according to the different conditions.

**Keywords:** MATLAB; digital communication; automation; programmable instrument

## 0 引言

传统的通信实验平台可分为两类:一类是完全采用软件工具仿真数字通信过程<sup>[1-3]</sup>,这些实验利用各种仿真软件对调制、解调、信道传输等通信过程实现了比较完整的模拟和仿真,但这类平台仅停留在理论仿真的阶段,缺乏相应的实践论证;另一类将通信、信号处理算法写入模块化器件<sup>[4]</sup>(如 FPGA)中以完成各个通信环节的工作,这类系统从实践角度论证了通信理论的可行性,但此类实验平台的弊端在于器件的运行速度有限,而且一旦实验方案改变,需要重新擦写器件中的算法,缺乏灵活性。计算机和仪器的结合

是当前实验仪器发展的一个方向<sup>[5]</sup>。为此,本文设计了一套高效率、自动化的数字通信实验平台,将 MATLAB 作为软件平台通过程序指令控制实验仪器完成数字通信实验过程。为验证系统能有效工作,测试了 OFDM 数字通信<sup>[6]</sup>链路。系统在统一的平台内实现了真正的一键操作,简洁高效,具有较高的实用价值。

## 1 实验平台硬件设计

本文设计的通信实验平台采用一台安装了 MATLAB 的计算机作为中央控制台,采用型号为 DG1062Z 的信号发生器作为发射机,产生射频信号;采用型号为 DS1054Z 的

收稿日期:2017-03

\* 基金项目:国家自然科学基金(61401266,61671011,61501289,61571282,61420106011)、上海科委扬帆计划(14YF1408900)资助项目

数字示波器作为接收机,这两个器件皆支持可编程仪器标准命令 (standard commands for programmable instruments, SCPI), 并且可以和计算机实现数字通信。此外,该平台采用 HSPY-60-03 数字可编程电源给平台中的有源器件供电,该电源采用串口方式与计算机通信, MATLAB 可通过串口控制电源的输出电压和读取输出电流;最后发射机和接收机之间需要连接一路信号用于同步,以定位接收信号的帧头。该实验平台的硬件系统如图 1 所示。

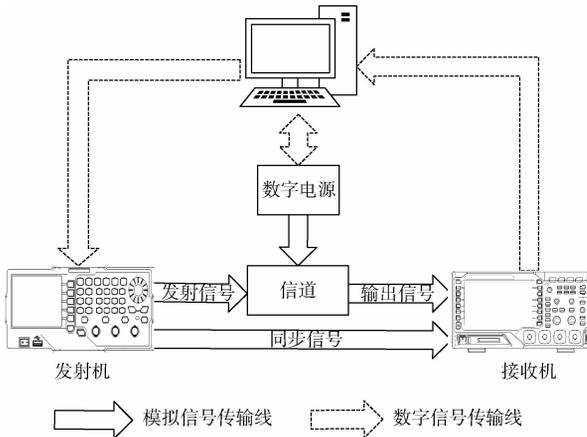


图 1 实验平台硬件框架图

### 1.1 硬件系统中的主要硬件设备

作为发射机的 DG1062Z 是一款集函数发生器、任意波形发生器、噪声发生器、脉冲发生器、谐波发生器、模拟/数字调制器、频率计等功能于一身的多功能信号发生器。该设备支持 LAN、USB、GPIB<sup>[7]</sup> 多种连接方式与 PC 连接,本文选用 USB 连接方式。

作为接收机的 DS1054Z 是一款多功能、高性能数字示波器,具有极高的存储深度、超宽的动态范围、良好的显示效果、优异的波形捕获率和全面的触发功能。该设备同样支持多种与 PC 之间的数字连接方式。

作为数字电源的 HSPY-60-03 可为实验平台中的有源器件供电,它是一种可编程数字电源,支持 Modbus-RTU 传输协议,采用 RS232 或者 RS485 传输标准与计算机进行串口通信<sup>[8]</sup>。本实验台选用 RS232 接口。

### 1.2 硬件系统同步机制

计算机从接收机内存中采集数据,为了在 PC 端对接收信号进行信号同步处理,必须找到信号的帧头,理论上可以通过在发射信号中加入训练序列,然后在接收端执行相关同步<sup>[9-10]</sup>。本实验平台采用了更高效的同步机制:

1) 发射机 DG1062Z 自动输出源信号和同步信号(该同步信号与发射机前面板的源信号同步发出,是占空比为 50% 的方波,脉冲宽度和源信号的长度相等,在前半个周期为 TTL 高电平);

2) 接收机将同步信号作为触发信号,只需找到同步信

号的上升沿即可找到传输信号的帧头。

发射机和接收机之间的硬件同步连接方式如图 2 所示。

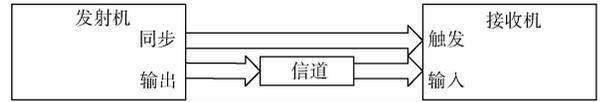


图 2 硬件同步连接图

## 2 实验平台软件设计

本实验平台软件设计的目标在于建立一套基于 MATLAB 的自动化数字通信实验系统。MATLAB 是日常学术研究采用的主要信号处理工具,若能用 MATLAB 程序控制实验平台中所有的可编程设备,不仅可以实现对于整个实验系统自动化控制,还可以将实验采集的数据直接应用到后端的信号处理中,从而提高整个实验平台的自动化程度和效率。

软件环境配置包括以下内容:

- 1) 在 PC 上安装 MATLAB7.0 以上版本;
- 2) 在 PC 上安装硬件的 USB 驱动;

3) 在 PC 上安装 NI 的虚拟仪器软件结构 (virtual instrument software architecture, VISA) 函数库,可从 NI 网站下载。

基于软件环境配置,平台软件设计主要包括基于 MATLAB 的发射机控制程序、接收机控制程序、电源控制程序 3 个接口程序的编写。软件系统的框架如图 3 所示。

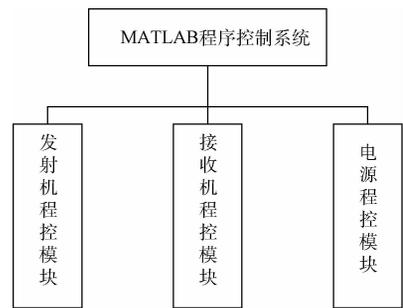


图 3 软件系统框架

### 2.1 VISA 和 SCPI

本实验平台在 MATLAB 上调用 VISA 函数库实现 PC 与发射机、接收机的通信。VISA 是 VXI plug&play 联盟制定的 I/O 接口软件标准及其规范的总称。VISA 库提供用于仪器编程的标准 I/O 函数集合,是计算机与仪器的标准软件通信接口,计算机通过它来控制仪器。作为通用 I/O 标准,VISA 提供了统一的设备资源管理、操作和使用机制,它独立于硬件设备、接口、操作系统和编程语言,具有与硬件结构无关的特点。VISA 的这一特性使之适用于各种仪器接口,无论仪器使用串口还是其他任何一种总线,诸

如 GPIB、VXI、PXI 和 LXI 等,都具有相同的操作函数,从而实现了控制操作上的统一<sup>[11]</sup>。

本实验平台采用的发射机和接收机均支持 SCPI 指令集。SCPI 于 1990 年面世,是一套用于控制可编程测量仪器的标准语法和命令集合,定义了控制仪器的语法、命令结构以及数据格式,SCPI 命令是 ASCII 字符串,通过物理传输层传入仪器。

## 2.2 发射机程控模块

DG1062Z 支持 SCPI,可以在 MATLAB 中调用 VISA 接口将 SCPI 控制指令和波形数据写入信号发生器,以实现对发射机的程序控制。故需要在 MATLAB 上编写一个函数,考虑到本实验的设计需求,此函数实现以下功能:

- 1) 将波形数据写入信号发生器;
- 2) 设置发射机相关参数,如初始相位、采样率等;
- 3) 控制发射机输出端口的打开与关闭。

本文设计的 MATLAB 函数对发射机的程序控制流程如图 4 所示。

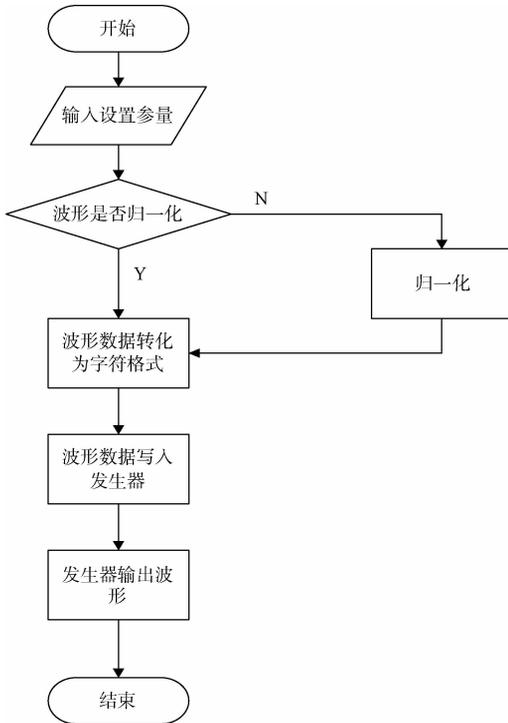


图 4 MATLAB 对发射机的程序控制流程

## 2.3 接收机程控模块

作为接收机的 DS1054Z 同样支持 SCPI,PC 借助 VISA 接口与其通信。接收机是本实验平台中极其重要的数据采集工具,接收机的程序设计包括两个部分:接收机自适应调节和接收信号的数据采集。

- 1) 接收机自动调节的软件实现

利用传统示波器进行数据采集时,通常要手动调校示波器使其能够清晰地显示接收信号。在实验中,经常需要

进行多次信号发射和采集操作,若每次都手动调节示波器,需要投入大量人力和时间,效率十分低下。事实上,利用 VISA 接口和 SCPI 标准命令对数字示波器进行程序控制,是可以实现设备的自动调节的<sup>[12-13]</sup>,本文编写了一个 MATLAB 函数以调节数字示波器,其程序流程如图 5 所示,该函数实现了接收机的自动调节,使实验流程更加自动化和智能化,提高了工作效率。

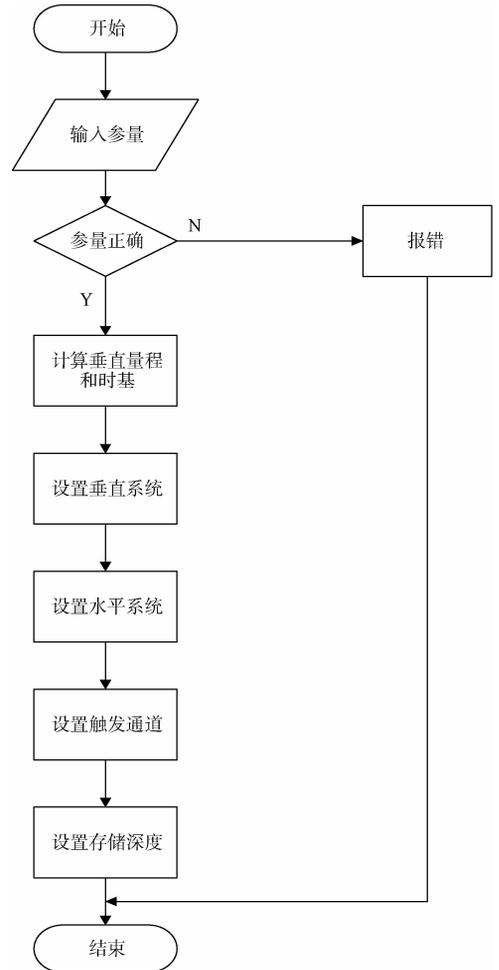


图 5 MATLAB 对接收机的自动调节控制流程

其中水平系统中的水平时基的设置须根据发射信号的时间长度进行设定,计算公式为:

$$\hat{T}_b = n \cdot \frac{T_l}{12} \quad n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中:  $\hat{T}_b$  表示预估时基,因为数字示波器的时基取值是离散的,是按照 1, 2, 5 离散取值的,例如计算得到  $\hat{T}_b = 2.4$ , 那么数字示波器会直接将时基设定为 5;  $n$  表示示波器预期显示的周期数,  $T_l$  表示信号长度。

- 2) 接收信号采集的程序设计

信号采集程序的功能是利用 VISA 接口将接收机内存中的 OFDM 波形数据和同步信号的数据读取到主机的 MATLAB 中,以供信号处理之用。采集模块的程序流程

如图 6 所示。图 6 中的输入参量设置,包括信号采集的次数、信号采集的时间长度、信源通道参量和触发通道参量,按照图 2 所示的硬件同步连接方式, MATLAB 将从接收机的信源通道(接收信号输入通道)读取接收信号,从触发通道读取同步信号。

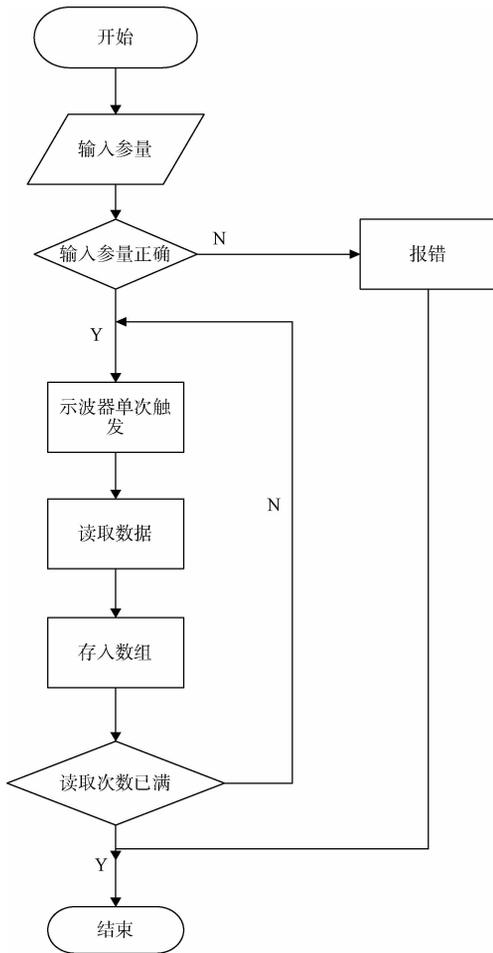


图 6 MATLAB 采集接收机信号流程

## 2.4 电源程控模块

若采用本实验平台进行通信实验时需要用到有源器件,那么必然需要电源为器件供电,本实验平台采用了型号为 HSPY-60-03 的电源,作为一款可编程数字电源,它支持 Modbus-RTU 传输协议,可利用串口与计算机通信。Modbus 是由 Modicon(施耐德电气公司的一个品牌)在 1979 年发明的,是全球第一个真正用于工业现场的总线协议<sup>[14]</sup>。Modbus 网络是一个工业通信系统,由带智能终端的可编程序控制器和计算机通过公用线路或局部专用线路连接而成。其系统结构既包括硬件、亦包括软件,可用于各种数据采集和过程监控。Modbus 网络只有一个主机,所有通信都由它发起。该网络可支持 247 个之多的远程从属器件。

借助该电源的程控特性,可以在主机的 MATLAB 上

完成电压输出值设定、实际输出电压值和实际输出电流值的数据采集,从而实现了有源器件的功耗监测。本实验平台的电源控制程序是基于 Modbus-RTU 协议编写的,该协议的消息帧的结构如表 1 所示。当通讯命令由发送设备(主机)发送至接收设备(从机)时,符合相应地址码的从机接收通信命令,并根据功能码及相关要求读取信息,如果循环冗余校验<sup>[15]</sup>(cyclic redundancy check, CRC)无误,则执行相应的任务,然后把执行结果(数据)返还给主机。返回的信息中包括地址码、功能码、执行后的数据以及 CRC 校验码。如果 CRC 校验出错就不返回任何信息。

表 1 Modbus-RTU 消息帧

数据格式	地址码	功能码	数据区	CRC 校验
数据长度	1 字节	1 字节	N 字节	16 位 CRC 码(冗余循环码)

根据实际实验需求,在 MATLAB 中所编写的电源控制程序,实现了以下功能:

- 1) 建立串口连接
- 2) 控制电源输出开合
- 3) 设定输出电压值
- 4) 扫描和更改电压源地址
- 5) 读取电压源实际输出电压和实际输出电流值

该控制程序实际上是一套完整的 MATLAB 函数集,可相对独立灵活地实现上述功能。

## 3 实验平台测试

### 3.1 实验方案

本文将在此实验平台上测试 OFDM 信号的通信流程,并通过观察信号的时域波形和解调后的符号星座点分布来检测此平台在数据采集、过程控制、数字信号处理方面的实际性能,实验平台运行场景如图 7 所示。

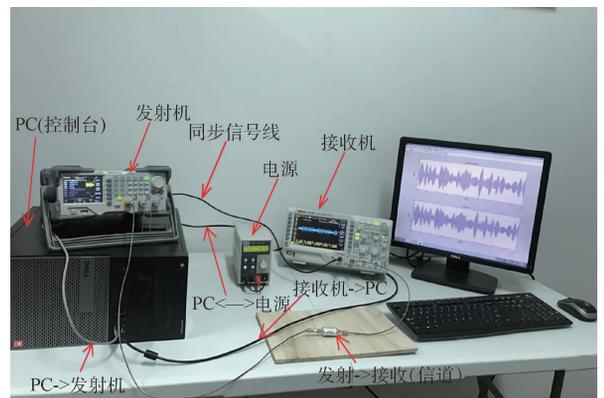


图 7 实验平台工作图

实验的具体步骤如图 8 所示, MATLAB 作为中央控制台和数据中心, MATLAB 在生成 OFDM 信号(OFDM 相关参数设置如表 2 所示),然后为其加入加性高斯白噪

声,接着 MATLAB 将混入噪声的 OFDM 信号发送至信号发生器,并命令发生器发射信号,信号在由同轴电缆和衰减器构成的信道中传输,最终传输到接收机中。MATLAB 可以随时发出指令以采集接收机中信号,最终信号经过 MATLAB 进一步处理后得到解调符号的星座点分布。

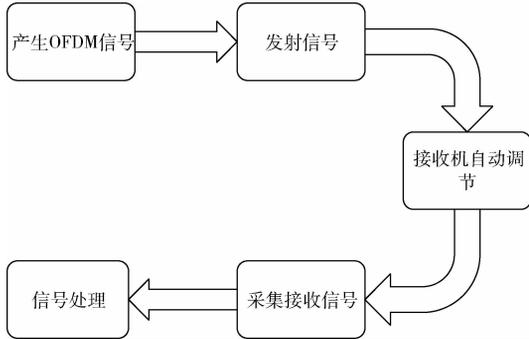


图 8 实验流程

表 2 OFDM 信号参数设置

子载波数	带宽	调制方式	载波频率
16	1.6 MHz	16-QAM	10 MHz

### 3.2 实验结果

按照以上的方案进行实验,将相关参数设定输入已编写好的 MATLAB 程序后,MATLAB 程序控制信号发生器发射信号,自动调整接收机然后采集接收机中的信号。MATLAB 会将采集的信号和最初生成的 OFDM 信号(不含噪声)对比图显示出来(图 9),然后解调采集的 OFDM 信号,并画出符号的星座点分布(图 10)。由于受到噪声的影响,解调得到的符号星座点在原发射符号的星座点附近抖动,这符合实验的预期效果。该结果表明,此实验平台可充分利用软硬件资源进行数据采集、过程控制和信号处理,高效完成 OFDM 信号的调制、发射、接收、解调等各环节的工作,达到了预期的实验目标。

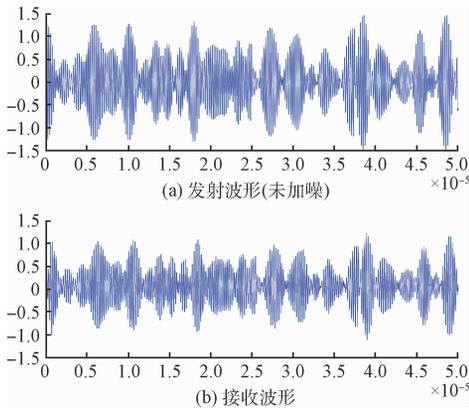


图 9 OFDM 发射波形与采集的接收波形的对比

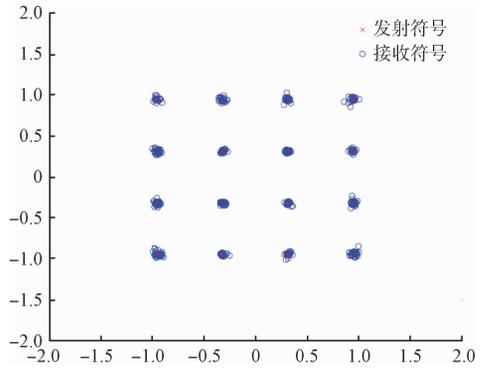


图 10 OFDM 接收信号解调后的星座图

## 4 结 论

本文设计了一种高效自动化的通信实验平台,实现了计算机和实验仪器的数字连接,是一套集信号产生、信号接收、数据采集、过程监控、数字信号处理多项功能于一体的完整的数字通信实验平台,它实现了上述功能的程序控制,提高了实验平台的操作效率和工作性能,同时赋予使用者二次开发的权限,具有很高的灵活性和实用价值。OFDM 信号的通信实验验证了该实验平台的实用性,但它的功能并不局限于此,平台中的实验仪器都具有完整的接口程序,使用者可以根据自身的实验目标,制定合理的实验方案,在此基础上进行二次开发,从而满足不同的应用需求。

## 参 考 文 献

- [1] 周荣花, 卢继华. 数字通信实验软件平台的 GUI 设计与实现[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(5):74-77.
- [2] 高颖, 冯浩, 张顺, 等. 基于 Simulink 的模拟与数字通信系统建模与仿真[J]. 现代电子技术, 2013, 36(7):64-67.
- [3] 孙爱晶, 刘毓. 基于软件仿真的通信原理实验教学[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(1):141-143.
- [4] 孟绍良, 张海柱, 刘述防, 等. 基于 FPGA 的直序扩频通信系统设计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17(6):106-109.
- [5] 严中毅, 李凯. 测量仪器与现代微电子、计算机和软件技术的融合[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5):631-637.
- [6] 孙恒坤, 任亚超, 周雪纯. 基于 MATLAB 的 OFDM 系统仿真及误比特率分析[J]. 中国新通信, 2015(1): 117-118.
- [7] 齐永龙, 宋斌, 刘道煦. 国外自动测试系统发展综述[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(12):1-4.
- [8] 王战军, 沈明. 基于 MATLAB GUI 的串口通信编程实现[J]. 现代电子技术, 2010, 33(9):38-40.
- [9] 袁长青, 于江, 张进波, 等. OFDM 系统同步技术研究

- 究[J]. 中国无线电, 2016(8):44-45.
- [10] 田野, 刘菲菲, 付垚, 等. 利用重复结构训练符号的 OFDM 同步算法性能分析[J]. 沈阳理工大学学报, 2011, 30(5):1-5.
- [11] 邱畅, 李龙, 郑艳梅. 基于 LXI 总线 PCI 接口的软件设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(5):100-103.
- [12] 赖彪, 贾惠芹. 基于 VISA 标准的示波器程控方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(3):41-43.
- [13] 刘天舒, 金从军. 基于 VISA 和 SCPI 的自动校准程序开发[J]. 现代防御技术, 2013, 41(3):175-179.
- [14] 蒋道兵. 现场总线技术在工业数据采集中的应用[C]. 第六届电磁测量与仪表学术发展方向主题研

讨会, 2015:195-197.

- [15] 乔秉龙. CRC 编码与检错性能分析[J]. 电脑开发与应用, 2012, 25(10):33-34.

### 作者简介

**王星光**, 1990 年出生, 硕士, 主要研究方向为 OFDM 通信、自动化仪器、中继链路的能效优化等。

E-mail:sterrywang@163.com

**王涛**(通讯作者), 1980 年出生, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向绿色高效无线通信网络优化设计等。

E-mail:twang@shu.edu.cn