

http://www.nit.net.cn/__local/C/EE/E5/AEF522EFB83938A8BD165923DEC_001BEC5E_9976.png

**毕业论文（设计）开题报告**

（含文献综述、外文翻译）



题 目 **信号检测分析系统的设计与实现**

姓 名 宋一得

学 号 3180421011

专业班级 计算机求是181

指导教师 陈根浪

学 院 计算机与数据工程

日 期 2022/3/1

目录

[一、 文献综述 2](#_Toc97496709)

[1 研究背景与意义 2](#_Toc97496710)

[2 国内外研究现状 3](#_Toc97496711)

[2.1 研究方向及进展 3](#_Toc97496712)

[2.2 存在问题 4](#_Toc97496713)

[3 发展趋势和研究展望 5](#_Toc97496714)

[4 参考文献 6](#_Toc97496715)

[二、 开题报告 8](#_Toc97496716)

[1 选题背景和意义 8](#_Toc97496717)

[1.1 选题背景 8](#_Toc97496718)

[1.2 选题意义 8](#_Toc97496719)

[2 项目内容及可行性分析 10](#_Toc97496720)

[2.1 技术可行性 10](#_Toc97496721)

[2.2 经济可行性 12](#_Toc97496722)

[3 研究方法 12](#_Toc97496723)

[4 拟解决的关键问题 12](#_Toc97496724)

[5 预期结果 13](#_Toc97496725)

[6 实施进度计划 13](#_Toc97496726)

[7 参考文献 13](#_Toc97496727)

[三、 外文翻译 15](#_Toc97496728)

[1 研究背景和意义 15](#_Toc97496729)

[2 系统设计 17](#_Toc97496730)

[2.1 虚拟仪器 18](#_Toc97496731)

[2.2 硬件接口单元 20](#_Toc97496732)

[3 研究方法 21](#_Toc97496733)

[4 结果与讨论 22](#_Toc97496734)

[5 结论 25](#_Toc97496735)

[6 参考文献 25](#_Toc97496736)

[四、 外文原文 26](#_Toc97496737)

# 文献综述

## 研究背景与意义

二十世纪七十年代以来,数字技术理论、数字电路、大规模集成电路以及微处理器技术高速发展,尤其是高速模数转换器和半导体存储器的发展。在这样的环境下，数字存储示波器应运而生并迅速发展起来。这种设备随即在科学实验和国防军工装备的瞬态信号检测、分析和实时处理显示领域发挥了重要作用。目前，数字存储示波器已然成为了军工装备的一部分,其研制技术更是成为了国家测试技术现代化的重要标志[1]。

示波器是一种时域电子测量仪器，它因其直观、准确、通用等优点受广泛使用。在如今信息化时代高速发展的背景下，传统示波器很快已经不再能满足新兴技术发展的需要，虚拟示波器正是在这样的环境下诞生的。虚拟示波器与其说是新设备，不如说是一种新技术，除了原有的采集信号的硬件部分，它的分析和显示等功能则是基于计算机软件技术实现的，这种结构无疑大大提高了示波器的灵活性和可扩展性。然而随着系统的信号时钟速度越来越快，虚拟示波器被要求拥有更快的采样率、更大的存储、更高的带宽以及更加丰富多样的强大的波形分析功能 [2-3]。

最初的虚拟示波器大多由美国国家仪器（NI）公司的Lab VIEW软件开发，相对于C、C++等语言，Lab VIEW具有测试测量、控制、仿真等强大功能并具有快速开发、跨平台等优势。然而，在物联网、大数据技术不断改变我们生活的今天，把示波器的重心不应再向硬件部分倾斜，这显然不符合时代发展的趋势。事实上，示波器在物联网领域已经得到了一定的应用[4]。物联网配合人工智能、云计算等技术不仅能更高效地利用计算机解决单机分析能力有限的问题，实现更强大且更便于使用的分析算法，更是可以实现诸如自动诊断，智能报警，从手机或PC就可以随时远程查看管理各节点等功能，这将大大降低人工检测、维护的门槛和成本。

## 国内外研究现状

### 研究方向及进展

从第一台示波器诞生开始，国外在示波器领域就始终出于领先位置。近代以来，以Lecroy、Tektronix为代表的美国公司凭借领先的数字电路技术，研发了拥有加减乘除、快速傅里叶变换（FFT）等功能的数字示波器，在示波器行业处于绝对领先地位。其中Lecroy公司生产的ISO 90000 更是具有多种复杂的数学运算功能以及Matlab的交互式调用。国内大多数示波器公司虽有差距，在部分功能的实现上也能够达到国际先进水平。

对信号进行采集分析需要大量高效算法对原始波形进行各种变换，常见的算法有矩阵运算、特征向量、快速傅立叶变换、小波变换等，其中涉及快速矩阵乘法、微分方程、线性方程组求解等相当复杂的计算过程和离散数学层面的算法优化。我们可以借助Matlab强大丰富的数学运算库来代替传统示波器的方式进行PC上的信号分析[5-6]。

1986 年，美国 NI 公司率先提出虚拟仪器的概念，随后开发了当前虚拟示波器领域最炙手可热的 Lab View软件，仪器产业从数字化仪器开始向虚拟仪器过渡。通信技术、测量技术和计算机技术在虚拟仪器的协调下产生了前所未有的融合，传统仪器的观念发生了巨大的变化，例如，虚拟示波器软件已经不仅仅局限于 C/S 架构，也可以采用B/S 的架构设计[7]。国内的虚拟仪器产业与国外存在较大差距，且发展态势不容乐观。我国计算机、通信电子等产业的起步较晚，对虚拟仪器上的研究更是直到上世纪末才开始，目前我国从事虚拟仪器研究和开发的科研单位数量很少，只是起步阶段。在国外优秀产品的挤压下，我国虚拟仪器的竞争力相当有限，产业发展缓慢，且没有同国际虚拟仪器产业接轨，大部分只是作为国外知名的虚拟仪器厂家的销售代理商，没有自主知识产权[8]。

从前人研究成果来看，K.P.S.Rana等人[9]使用NI LabVIEW和DAQ卡开发了一种混合信号虚拟示波器、Ping Gong等人[10]使用NI LabVIEW和NI USB数据采集卡开发了一种虚拟示波器、Norizam Sulaiman等人[11]使用数字信号处理（DSP）技术设计了一种基于PC的4通道DSO、Wei Jiang等人[12] 用虚拟仪器技术设计了一台示波器。他们的项目使用了LabVIEW、Microsoft Visual C++等技术成功地在个人电脑上开发了颇具特色的虚拟示波器软件，然而他们所作的创新都是建立在加强示波器原有功能的基础上，目前关于推动虚拟仪器与计算机技术进一步结合的相关研究屈指可数。

### 存在问题

表 2.1 国内外示波器数学运算对比图

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 对比型号  数据处理 | 力科Wave Master 8Zi-A | 普源DS6000 系列 | NI-PXIe4496 |
| 数学运算 | +、-、×、/、差分、微分、积分、自然对数、指数、倒数、相位及相位差、功率谱、稀疏性 | +、-、×、/、微分、积分、自然对数、指数、平方根、余弦值、正切值 | +、-、×、/、微分、积分、平均、滤波，追踪 |
| 波形分析 | Matlab，FFT、包络图 | FFT | FFT |

如表2.1所示，台式示波器往往功能参差不齐，对于二次开发功能的支持更是聊胜于无，用互联网时代的眼光来看，传统的台式示波器在扩展性、移植性等方面注定跟不上时代的潮流。

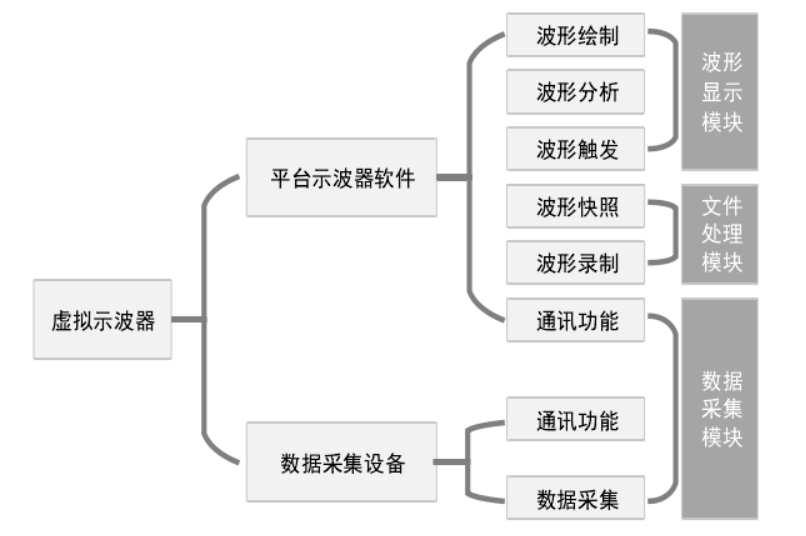


图 2.1 虚拟示波器系统结构设计

图2.1展示了郭琢的课题[8]中关于虚拟示波器系统结构的设计。不同的课题对于虚拟示波器设计的侧重有所不同，但都局限在虚拟示波器实现的架构创新，或是将虚拟示波器迁移到新的平台上，示波器本身移植性差，扩展性低的状况没有得到改变。

Lab VIEW虽然功能强大，但作为一款专业工业软件，其费用并不亲民，更重要的是，依靠一款美国完全自主产权的软件发展必然受到其技术方面的制约，想要在一个领域发展到世界前列必然要摆脱国外的技术垄断，形成一套自主研究、自主开发、自主销售的产业机制。

此外，虚拟示波器软件的易用程度和开发效率也是十分值得考虑的因素。从易用程度上来说，目前大多虚拟示波器都针对信号分析专业人士设计，其软件界面通常都是专业技术名词，且缺少软件帮助功能和软件使用说明，软件使用门槛较高。从开发效率来看，虽然Lab VIEW开发效率高，但始终是站在硬件层面进行软件设计，很难对数据进行更进一步的汇总分析，能否设计出扩展良好的软件更是要打上一个问号。

## 发展趋势和研究展望

示波器经历了数字化到虚拟化的发展历程，然而其以硬件为核心的设计思想没有发生本质变化，计算机技术的引入完全可以为示波器领域带来更大的变革。从计算机专业的角度来看，软件开发应更注重于需求层面的实现，更关注软件本身是否好用，是否解决了用户的痛点，而底层技术的实现细节应置于次优先级的位置。

编程语言的选择、硬件架构的设计、程序设计的平台都应不再是限制因素，我们应该从更宽广的角度展望示波器发展的前景。例如，Lab VIEW价格昂贵，而C++、Matlab语言开发效率低，应用场景有限，那么就可以选择跨平台的高级编程语言如Python，不仅大大提高了开发效率，而且能够非常方便地调用Matlab以及各种信号处理相关的数学运算库，甚至可以融入最新的人工智能算法将信号分析带向一个新的领域。

更进一步的，以发展的角度引入目前流行的物联网大数据技术，完全可能为传统的示波器领域注入一剂新鲜的血液。我以我浅薄的知识斗胆为示波器和物联网的结合做出以下预想：

* 底层方面，不同厂家协议不同，驱动不同，程序移植性差。可以考虑为示波器通信设计一个统一接口，这种规范需要一定的影响力来吸引设备生产厂商根据自家设备的协议提供具体实现，类似数据库开发厂商向Java提供JDBC接口的实现，使得Java可以用统一的接口连接各种数据库。
* 应用方面，单机性能有限，可以考虑将整个系统设计为云中心和边缘设备相结合的分布式系统，分布式的设备可以通过云端统一操作，边缘机器与示波器设备形成一对一的连接，其拥有设备通信、数据存储、传输和简单的数据分析功能并设计一套轻量级的服务架构，我们可以通过远程调用向这个机器对应的设备发出指令。这种边缘机器无需较高的配置，也无需显示器设备，价格低廉、硬件配置较低的微型计算机如树莓派就能胜任。云端可以设计成一个数据汇聚中台，对各节点设备进行远程监控管理，并随时响应异常信号报警。

这样的系统一旦能够建立起来，那么系统扩展升级的成本和人工检测维修的费用将大大降低，数据传输的效率和信息利用的程度将大大提高。将物理世界与虚拟世界紧密联系起来，计算机的作用莫过于此。

## 参考文献

[1] 张慧. 数字存储示波器中的数字信号处理研究. 东南大学, 2006.

[2] 高文娟. 数字示波器高级数学运算功能设计[D].电子科技大学,2013.

[3] Gao Q, Chen S J, Wang X M, et al. Design and Implementation of Multifunctional Virtual Oscilloscope[J]. Communications Technology, 2010.

[4] 杜超,林开伟,陈曼雯,高浩.物联网智能示波器研究与设计[J].物联网技术,2017,7(11):36-39+41.DOI:10.16667/j.issn.2095-1302.2017.11.008.

[5] 石翎熹. 基于Matlab的示波器信号处理系统研究与实现[D].电子科技大学,2017.

[6] 张明照, 刘政波, 刘斌. 应用MATLAB实现信号分析和处理[M]. 科学出版社, 2006.

[7] Ko C C, Chen B M, Chen S H, et al. A large-scale Web-based virtual oscilloscope laboratory experiment[J]. Iee Engineering Science & Education Journal, 2000, 9(2):69-76.

[8] 郭琢. 基于Windows平台虚拟示波器的设计与实现[D]. 吉林大学, 2020.

[9] A K P S R, B S H K. A DAQ card based mixed signal virtual oscilloscope - ScienceDirect[J]. Measurement, 2008, 41(9):1032-1039.

[10] Ping G, Wei Z. Design and Implementation of Multifunctional Virtual Oscilloscope Using USB Data-Acquisition Card[J]. Procedia Engineering, 2012, 29:3245-3249.

[11] Sulaiman N, Mahmud N A. Designing the PC-Based 4-Channel Digital Storage Oscilloscope by using DSP Techniques[C]// Research and Development, 2007. SCOReD 2007. 5th Student Conference on. 2008.

[12] Jiang W, Yuan F. Design of oscilloscope based on virtual instrument technique[J]. IEEE, 2009:284-287.

# 开题报告

## 选题背景和意义

### 选题背景

随着军队信息化建设的不断深入，如何依靠各种先进的技术手段，尤其是运用信息技术的最新成果，来进一步提高通信保障和再生能力，是摆在军队各级通信部门领导面前的当务之急[1]。

在军队信息化的庞大工程中，数据采集是其中重要的一部分，部队运作期间将采集分析大量数据。现有装备虽然能够满足日常测量管理的需求，然而需要专业人员付出大量时间精力，且仍旧可能导致不准确、不及时，数据采集自动化的需求十分强烈。理想情况下，可以设计一套系统能够对重要目标环境实现环境数据自动化采集（温湿度、气体浓度、电流、电压等），使管理者及时掌握设备环境实际情况变化以及设备的运行实际状况。根据现场环境要求，设定各种环境参量的上下限以及各种报警参数，当监测数据达到设定触发条件时，即可产生报警信号并联动视频监控，把现场图像及时传给主控中心和各级分控中心值班人员得到及时处理。对特殊地点、敏感区域通过智能视频监控安全策略，可设定各种事件安全侦测规则，达到某个区域的智能化防范管理[2]。

本项目正是基于这些痛点，在电路故障智能检测系统设计的探索道路中尽我所能做出一些尝试。完善的系统需要投入大量的人力物力资源，本课题旨在针对其中的雷达信号监测系统，拟设计一套可行的解决方案，制作一款可用的信号管理系统。

### 选题意义

雷达信号监测的原理是对雷达使用过程中产生的信号进行采集分析，将采集到的信号与正常信号分别提取其特征进行对比，使用某种算法分析信号是否异常以及异常可能发生的位置[3]。信号采集分析的解决方案早已遍地开花[4-5]，然而传统的方案明显存在几个缺点：

1、设备价格高昂。信号采集分析的主要仪器是示波器，无论是数字示波器还是模拟示波器都价格不菲，尤其是高精度、多功能的工业级示波器，单台机器的价格通常以“万”为单位[6]。

2、较高的技术要求。信号分析通常需要信息工程专业相关人才，功能强大的示波器更需要经验丰富的专业人员才能驾驭，对于专业人才短缺的军队来说是相当大的阻力。

3、人工检测不准确、不及时。纵使采用最优秀的人才也难免出现疏漏，受制于生理限制，人类无法做到永远准确并且随时待命。

4、数据传输繁琐。现有的示波器大多具有数据存储的功能，然而数据的转储往往需要经历安装设备驱动，连接USB口，运行示波器配套软件，通过厂商自定的协议读取并保存为指定的数据格式如csv。这个过程不仅繁琐而且效率低下，支持的文件格式也有限。

可以设想将计算机技术运用于信号检测分析，以软件的方式解决硬件的诸多痛点，不仅能够大大降低系统成本，还能保持系统的不断迭代发展，提高系统的容错率，为技术的发展提供无限的可能。首先，考虑虚拟化技术，用软件的方式实现物理示波器的功能可以大大降低设备成本；基于PC实现的程序可以很大程度上发挥计算机的优势，开发出易用的，用户友好的程序并辅以指导手册，提供在线服务等，能够大大降低用户使用的门槛；人类无法机械地工作，而这正是机器的功能，机器能够24小时监测异常情况，辅以专业人员修正，系统准确率将得到大大提升；计算机结合互联网技术能够轻松解决数据传输的痛点，在系统上搭建可靠的通信网络甚至将系统本身设计为庞大的物联网系统在如今已并非难事，届时数据的传输只需一条小小的指令或简单地按下一个按钮即可获得各种格式的信号数据[7]。

另外，将目前成熟的信息管理系统模式应用于示波器信号数据，能更有效地管理设备采集的数据，便于后续实现历史数据查阅、数据统一分析处理、数据访问权限隔离等功能，这是传统的信号分析系统不可能具备的优势[8]。

由于笔者并非信号专业人士，无法在信号处理分析问题上提供更有效、更切合需要的信号分析算法，因此本项目的另一目的在于设计一套可扩展的，可迭代的，稳定的，易于非计算机专业人士上手的系统架构，为后续提供更丰富的信号分析功能创造环境。项目虽借用信息管理系统模式，但绝不仅仅是简单的基础数据的增删改查。本人拟结合个人相关专业能力，运用合理的程序设计技术和软件开发方法将以上设想成为可能。

综上所述，该项目的主要意义在于将计算机技术应用到了信号分析领域，克服了传统信号检测分析的诸多弊端，为物联网技术在示波器设备上的应用提供了基础，也为深耕于信号分析领域的人士在计算机上的探索捅破了窗户纸。

## 项目内容及可行性分析

本课题的主题为设计并实现信号检测分析系统，以下从项目需求角度分析项目应包含的内容：

1、项目运行环境应为Linux，考虑到信息安全和单机可用性，系统应具备本地存储能力，避免连接到公网。需要具备基础的客户端程序界面。

2、设备自检功能，能自动检测设备连接状态，设备连接到计算机后，程序能自动安装驱动，使设备进入可用状态。

3、显示实时信号波形图像，频谱图像，提供必要的示波器参数和图像参数如电压、时基、示波器采样率等参数的调整功能。

4、信号类别、检测地点、用户等基础数据的管理。

5、提供信号采集按钮，将一定时间内采集到的信号数据持久化存储，分为历史数据和信号库数据。采集的数据自动进入历史数据表，分析正常的数据可导入到标准信号库，分析异常的数据可导入到异常信号库。

6、提供历史数据与信号库数据分析对比的功能，采用信号处理算法计算出两份数据的相关程度，将低于阈值的历史数据标记为异常。

7、页面、数据访问权限隔离，提供管理员角色能对整个系统进行管理。

有关需求1，实际上是需要确定开发的语言、工具等环境。客户端编程工具有很多，出于Linux环境的限制，可以选用流行的跨平台的UI工具Qt进行开发，那么编程语言自然就会选择与Qt配合较好的C++或python。由于我所能获取到的信号分析算法均由python实现，并且出于开发效率的角度，简洁而强大的python是本项目的首选编程语言。

### 技术可行性

按照本人的设想，该项目主要由虚拟示波器软件以及数据管理分析系统两个部分构成，出于开发效率考虑，两个部分又可以结合到同一个程序中实现。以下分别对两部分内容及其技术可行性进行阐述：

#### 虚拟示波器软件

该部分主要实现需求2、3。

首先是设备选型，物理数据的采集必然离不开采集设备，信号采集的主要设备为示波器。传统的示波器在成本、传输、扩展性等方面都存在明显的不足，所幸有一种虚拟示波器硬件可供选择。这种设备没有可视化界面，仅拥有数据采集和传输的功能。这种示波器不仅价格远低于传统示波器，而且体积也仅与书本相当，携带十分方便，更重要的是还具备二次开发功能，一般设备厂商会提供设备通信接口和驱动程序，通过特定的接口在设备内的可擦除存储器(EPROM)或电可擦除存储器(EEPROM)上安装用户编写的由机器指令组成的设备操作固件(Firmware)。笔者已经注意到了GitHub上有开源的相关的电子爱好者编写的固件、驱动程序以及更上层的接口实现组成的软件开发工具包(SDK)，其中就包含了调整示波器设备参数的接口。能站在如此多巨人的肩膀上是计算机工作者的一大幸事[9]。

有关波形图像展示和频谱图绘制的算法我从指导老师处获取并了解了初步的代码实现[10]，完成了算法从最初python matlablib库实现到Qt的迁移。而实时显示功能则是通过异步线程实时读取设备数据，在主线程中按照一定的频率将读到的数据用算法绘制成图像[11]。

#### 数据管理分析系统

管理系统有多种实现方式。例如本项目可以设计为前后端不分离，也可以设计为前后端分离甚至是大规模的分布式系统。理想的实现方式应当是大分布式系统，然而这种结构复杂难点、细节颇多，成本昂贵，并非一朝一夕能够轻易实现，加之本人精力、水平，有限等客观因素限制，技术及经济可行性都需要重新考量。

因此，如上文所说，本项目预计将两个部分结合到同一个程序中以降低系统复杂度，提高开发效率。结构简单也并不是说系统不可靠，相反，简单的系统只要设计了良好的结构，无论在效率、稳定性、扩展性都比复杂系统有更好的表现。

设计优秀的系统并不容易，好在笔者有一定项目编写经验，设计过其中几个项目的系统结构，对于主流框架的实现方式和软件设计模式也有一定深入的学习和理解[12]。虽然笔者能力经验尚浅，但相信在此项目中能尽可能满足所有需求，并在这个过程中提升自我。

### 经济可行性

虚拟示波器的售价一般为300-500人民币，运行环境为Linux，内存一般为8G，CPU一般为4核，网络则暂时没有要求，这种配置一般的PC就能满足。系统所需的编程语言、设备驱动、设备SDK、数据库、UI设计语言、分析算法等均可以由开源代码满足。

## 研究方法

本项目预计主要采用Python、Qt、MySQL、设计模式等技术。

项目的主体框架拟使用Python编写。Python语法简洁，使用灵活，三方库丰富，能够极大程度提高开发效率。

Qt是主流的开源的跨平台的UI开发语言，用户社区活跃，可参考的资料十分丰富，同时能很好地被Python兼容，是首选的界面设计语言。

MySQL是主流的开源数据库，在当前企业级互联网项目中被广泛选用，其综合性能相当优秀，是非常合适的数据持久工具。

软件设计模式是软件开发人员在软件开发过程中经过相当长的一段时间的试验和错误总结出来的面临的一般问题的解决方案。设计模式是一套被反复使用的、多数人知晓的、经过分类编目的、代码设计经验的总结。使用设计模式是为了重用代码、让代码更容易被他人理解、保证代码可靠性。

## 拟解决的关键问题

1、**架构设计。**现有的架构设计通常与硬件结合较为紧密，与项目需求不符，我预计设计一个全新的与管理系统结合的结构。

2、**设备连接。**开源SDK的可用性和调用方式还需进一步实践，能否获取数据是关键。

3、**图像绘制。**需要结合信号分析算法以及一定的并发编程技术，是项目的难点所在。

4、**权限隔离。**项目暂时没有可以依赖的框架，权限隔离功能需要自行实现。

## 预期结果

毕业设计文本一份

信号检测分析管理功能的客户端程序

程序使用说明书一份（电子版）

## 实施进度计划

2022/3/1~2022/3/5：讨论项目结构设计，完成项目初期准备工作

2022/3/6~2022/3/8：项目框架搭建，初步设计并绘制用户界面

2022/3/9~2022/3/13：开发通用工具，完成基础数据的增删改查功能

2022/3/14~2022/3/16：实现基础波形实时展示

2022/3/17~2022/3/19：展示各种信号图像

2022/3/20~2022/3/22：细节优化，项目雏形完成，开始整理文档

2022/3/23~2022/3/27：完成数据备份、恢复功能，项目基本可用

2022/3/28~20224/1：部分结构合理优化，项目部署，系统测试、完善

2022/4/2~2022/5/1：程序发布，完成使用说明书、毕业论文撰写

## 参考文献

[1] 吴彤, 张昌芳, 吴东坡,等. 军队信息化建设的几个基本理论问题[J]. 国防科技, 2010, 031(003):14-19.

[2] 舒毅, 李栋, 任雍,等. 数字示波器在雷达维护维修中的应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2012, 29(2):4.

[3] 彭晓军. 电路诊断技术的新发展[J]. 系统工程与电子技术, 1998, 000(006):78.

[4] Ying Y. Virtual oscilloscope designed for measuring radar signal[J]. Electronic Measurement Technology, 2007.

[5] 杨英, 林连雷, 杨京礼. 雷达信号测量的虚拟示波器设计[J]. 电子测量技术, 2007, 30(12):3.

[6] Bhunia C, Giri S, Kar S, et al. A Low-Cost PC-Based Virtual Oscilloscope[J]. IEEE Transactions on Education, 2004, 47(2):295-299.

[7] 杜超,林开伟,陈曼雯,高浩.物联网智能示波器研究与设计[J].物联网技术,2017,7(11):36-39+41.DOI:10.16667/j.issn.2095-1302.2017.11.008.

[8] 吴炜煜. 工程数据管理系统[M]. 清华大学出版社, 1996.

[9] 杨乐平,吕英军.虚拟数字示波器的设计与实现[J].电子技术应用,2000(07):28-30.DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.2000.07.010.

[10] Daubechies I .The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1990, 36(5):961-1005.

[11] Mahafza, B.R. (2010). Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. https://doi.org/10.1201/9781420066449

[12] 钟茂生, 王明文. 软件设计模式及其使用[J]. 计算机应用, 2002, 22(8):4.

# 外文翻译

**基于虚拟仪器的低成本PC数字存储示波器的设计**

**CHINMAY VILAS SAMAK & TANMAY VILAS SAMAK**

印度泰米尔纳德邦 SRM 科技学院机电工程系学生

**摘要**

具有最小硬件设置的虚拟仪器是工程行业当前的需求，本研究特别关注数字存储示波器的虚拟化，数字存储示波器是最重要和最广泛使用的电子测量仪器之一。使用NI LabVIEW设计了基于 PC 的数字存储示波器，并使用基于ATmega328的开发板Arduino Nano开发了兼容的硬件接口单元。Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A是一种商用DSO，用作函数发生器，并将虚拟示波器的性能分析与同一标准进行了比较。为了分析从标准和虚拟DSO获得的比较结果，分别测试了六种不同的测试信号即直流、脉冲、方波、三角波、锯齿波和正弦波。结果证实了所设计的虚拟示波器的最佳性能，并保证了其在电子测量和仪器领域的潜在应用。

关键词：工程测量；示波器；信号分析；虚拟仪器

## 研究背景和意义

示波器是一种电子测量仪器，可显示相对于时间的电压信号。实际上，它将信号的瞬时电压值绘制为时间的函数。传统示波器使用阴极射线管 (CRT) 显示波形，被称为阴极射线示波器 (CRO)。今天，业余爱好者仍在使用 CRO 来分析连续模拟信号。然而，数字存储示波器 (DSO) 彻底改变了信号分析的过程。 DSO 有一个模数转换器 (ADC)，它将连续的模拟信号转换成离散的数字数据样本，其带宽不超过 ADC 采样率的一半，称为奈奎斯特限制（Nyquist limit） [1]。然后使用数字信号处理器处理此数据并显示在 LCD 或 LED 屏幕上。 DSO 还可以以各种格式保存信号数据，以供后续分析或记录。此外，DSO 可以一次分析信号的多个参数，还可以显示代表相同信号的叠加层和注释，这是其享誉全球的关键因素。

用于精确测量和数据采集的仪器是所有工程领域的核心。然而，传统的测量仪器缺乏灵活性和修改范围，成本更高，尺寸更大，并且需要更多的维护。因此非常需要虚拟仪器，即在软件层面上虚拟设计功能齐全的仪器，只需极少或完全没有硬件组件。虚拟仪器（VI）主要由一台安装了VI应用程序和驱动程序软件的PC和一个硬件接口单元组成，以便将它们与物理世界连接起来。虚拟仪器在视觉外观上通常与实际仪器相似，并且可以使用图形用户界面（GUI）进行操作。

虚拟仪器的最大优势在于，作为软件应用程序，它们的升级不会产生很多问题。 此外，它们降低了实际硬件仪器的成本以及用于生产它们的资源。 此外，可以在一台 PC 上安装多个虚拟仪器，并在需要时使用，而不是随身携带沉重的仪器。 总而言之，虚拟仪器是模块化的、经济效益高的且极其方便的。

虚拟仪器是一项新兴技术，在该领域的一些先前工作已经解决了同样的问题。然而，每种方法，包括我们的方法，在实现所开发仪器的设计和整体功能的硬件和软件利用方面都是独特的。K.P.S.Rana等人[2]使用NI LabVIEW和DAQ卡开发了一种混合信号虚拟示波器。他们指出了DSO无法有效处理频率变化的时间信号的问题，并表示用于此目的的混合信号示波器（MSO）成本非常高；虚拟仪器帮助他们实现了降低成本的目标。Ping Gong等人[3]使用NI LabVIEW和NI USB数据采集卡开发了一种虚拟示波器。他们还讨论了使用虚拟示波器处理的信号的时域分析和频域分析。Norizam Sulaiman等人[4]使用数字信号处理（DSP）技术设计了一种基于PC的4通道DSO。他们使用外围接口控制器（PIC）作为接口设备，使用Microsoft Visual C++开发了软件。Wei Jiang等人[5]使用虚拟仪器技术设计了一台示波器。他们使用LabVIEW设计虚拟仪器，并使用PCI-6024数据采集卡作为接口设备。Chandan Bhunia等人[6]通过设计并行端口数据采集设备和用于显示采集信号的软件包，开发了基于PC的虚拟示波器。他们还建议将这种低成本示波器用于本科生实验室演示和教学目的。

## 系统设计

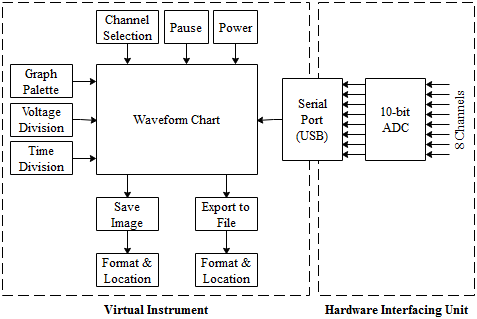


图 拟议系统的框图

所提出系统的总体设计（图 1）可以分为两个子域，即虚拟仪器和硬件接口单元。 虚拟仪器是一个软件包，旨在模仿它所代表的实际仪器，而硬件接口单元在真实世界和虚拟世界之间建立连接。

### 虚拟仪器

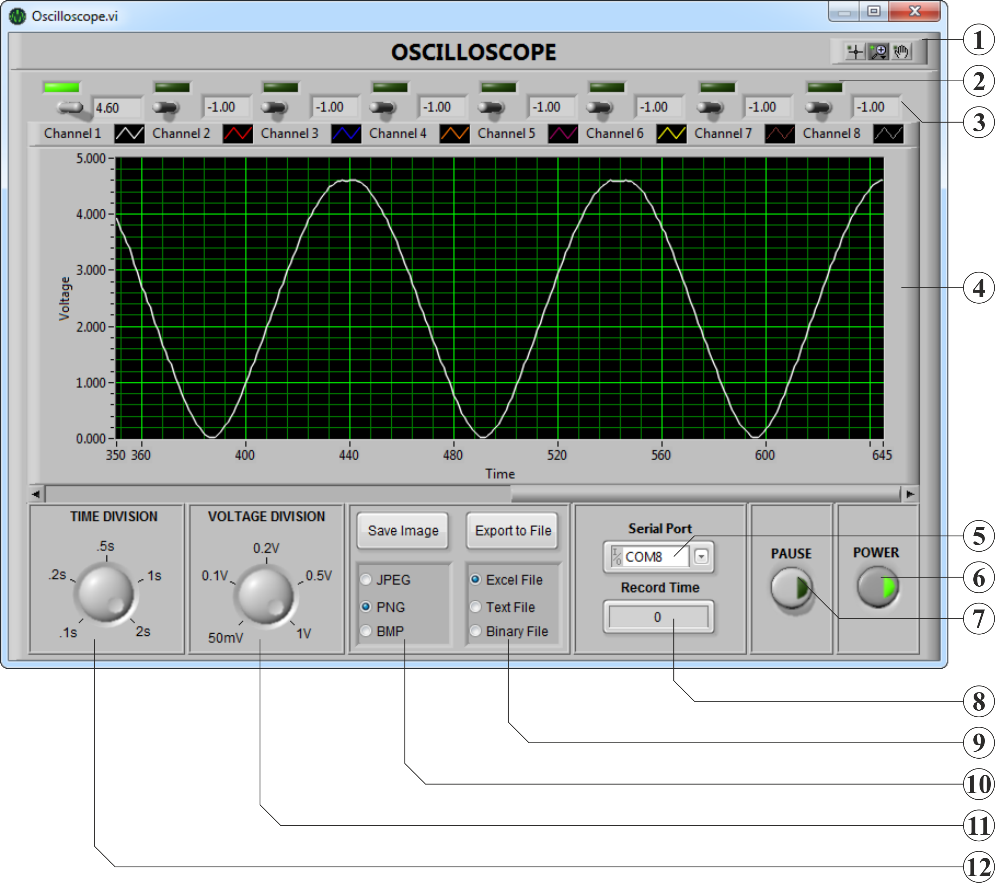


图 虚拟仪器的前面板 (GUI)

虚拟仪器是使用 NI LabVIEW 设计的，虚拟仪器的独立可执行文件被导出为 GUI 应用程序。 图 2 说明了 GUI 或所谓的虚拟仪器前面板，表 1 包含对图 2 中表示的所有标注的描述。

表 1 图2的描述

|  |  |
| --- | --- |
| 标注 | 描述 |
| 1 | **图形调色板**用于移动光标、缩放和平移图形。 |
| 2 | **LED 指示灯**指示通道是否处于活动状态。 |
| 3 | **通道读数**显示瞬时电压值。 |
| 4 | **波形图**显示实时波形。 |
| 5 | **串口**用于选择连接的 COM 端口。 |
| 6 | **电源按钮**用于打开或关闭VI。 |
| 7 | **暂停按钮**用于暂停波形。 |
| 8 | **记录时间**是数据导出的时间。 |
| 9 | **导出到文件**用于将数据写入指定的文件格式。 |
| 10 | **保存图像**用于导出VI的即时图像。 |
| 11 | **电压分割**用于调整垂直分割。 |
| 12 | **时间分割**用于调整水平分割。 |

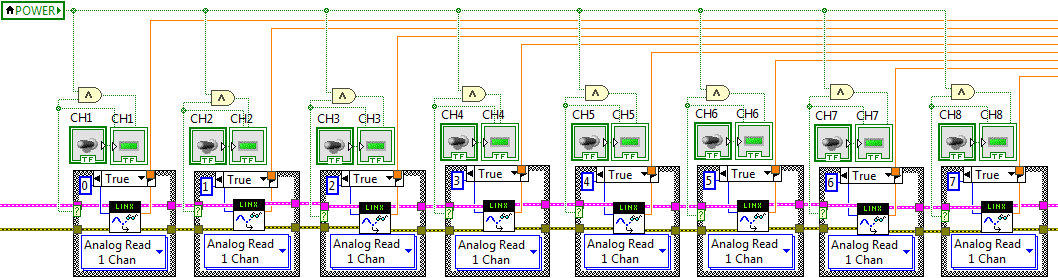


图 数据采集和通道控制的框图

通道控制（图3）允许用户在8个不同的通道之间进行选择，甚至一次选择多个通道，每个通道的状态由前面板上相应的指示灯LED指示。该子系统还负责各个通道的数据采集。

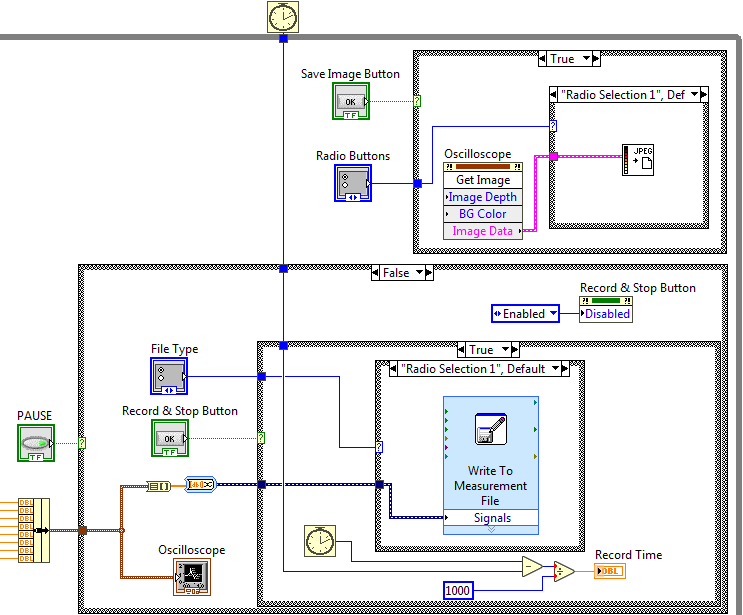


图 波形显示和数据存储控制的框图

图 4 说明了负责显示波形并将数据存储为图像或导出到文件的离散值的子系统。波形图用于以图形方式显示输入信号与时间的关系，图形调色板用于移动光标、平移和缩放显示。该设计支持一次连续查看8个通道的信号，每个通道的瞬时电压值显示在各自的控件旁边；如果一个通道被禁用，其电压值被视为-1.00。

数据存储功能是该虚拟仪器与常规虚拟示波器的区别，正因如此，该设计被视为虚拟 DSO。 数据存储控件允许用户将波形数据保存为图像（JPEG、PNG或BMP），这主要用于记录或将离散值导出到文件（XLSX、LVM或TDMS）以供后续使用第三方软件，如Microsoft Excel、MATLAB等进行分析。在后一种情况下，会显示记录时间以指示数据导出的时间。

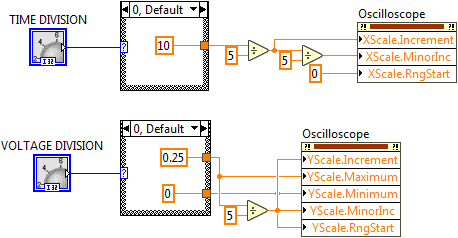


图 时间和电压分配控制的框图

时间和电压分割控制（图5）分别用于改变X轴（时间）和Y轴（电压）刻度。提供合适的比例因子，以便分别获得100ms、200ms、500ms、1s和2s的时间分段和50mV、100mV、200mV、500mV和1V的电压分割。

### 硬件接口单元

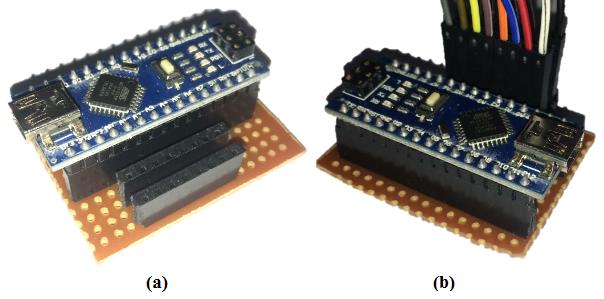


图 硬件接口单元 (a) 不带探头和 (b) 带探头

由于本研究的重点是设计一种经济高效的虚拟DSO，因此硬件接口单元是使用基于ATmega328的开发板Arduino Nano设计的。Arduino的模拟输入配置为8个不同的通道，内置10位ADC用于将输入信号从（0-5） V 数字化到（0-1023）的离散值。采集的数据通过USB通过串行通信传输到PC上的虚拟仪器。

图6（a）显示了没有任何探头的硬件接口单元，以便清晰地显示8个不同通道的连接；上轨用于各个通道的信号线，下轨为GND接地轨。相反，图6（b）显示了连接探针的硬件接口单元。使用8种不同颜色的探针，即白色、红色、蓝色、橙色、紫色、黄色、棕色和灰色来表示各自的通道，并且在设计虚拟仪器的前面板时也遵循相同的颜色惯例。所有的GND探针都是黑色的。

Arduino Nano以16 MHz的时钟频率运行，其ADC设置为125 kHz（公式1）。由于AVR中的每个转换需要13个ADC时钟周期，因此最大采样率仅约为10 kHz（公式2）。

6 MHz/128 = 125 kHz (1)

125 kHz/13 = 9615 Hz ≈ 10 kHz (2)

## 研究方法



图 实验装置

图7显示了用于分析该虚拟DSO性能的实验装置。该装置包括商用标准DSO（Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A[7]）、拟用虚拟DSO的硬件接口单元和运行虚拟仪器的个人计算机（笔记本电脑）（使用NI LabVIEW开发的独立GUI应用程序）。

Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A是一款标准DSO，用作函数生成器来生成6个标准测试信号，即直流、脉冲、方波、三角波、锯齿波和正弦波，每种都具有5 V振幅（TTL逻辑预设）和1.00 Hz频率（直流信号除外），反馈到同一DSO进行实际参数分析。

通过利用Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A的连接，函数生成器生成的相同测试信号通过硬件接口单元同时馈送到该虚拟DSO，并根据其准确显示这些测试信号的能力对其性能进行分析。

为了分析和验证该虚拟DSO与商用标准DSO（Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A）的性能，进行了一项比较研究。

另一组实验包括来自各种标准和非标准源的信号输入。这些信号主要由来自实际工程系统，如移动机器人[8] 的响应组成——传感器数据、控制器输入和输出、反馈信号等。这些信号的采集在参数精度和噪声比方面进行了测试。设计的示波器的整体性能取决于显示波形的准确性和存储数据的分辨率。

## 结果与讨论

该虚拟DSO和标准DSO（Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A）在从实验中获得的输出波形方面表现出非常小的偏差。

表2显示了在标准和虚拟DSO上分析的信号的峰间电压和频率值。请注意，电压轴有 1.3% 的误差，而时间轴没有观察到特别的误差。

虚拟DSO无法分析超过10 kHz的信号，而其对应设备却能分析70 MHz的信号，这是设计的一个限制因素。

表 2 实验结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Signal** | **Keysight DSO** | | **虚拟 DSO** | |
|  | **Vp-p（峰峰值）** | **Freq（频率）** | **Vp-p** | **Freq** |
| **直流** | 80 mV | - | 100 mV | - |
| **脉冲** | 4.54 V | 1.00 Hz | 4.60 V | 1.00 Hz |
| **方波** | 4.54 V | 1.00 Hz | 4.60 V | 1.00 Hz |
| **三角波** | 4.54 V | 1.00 Hz | 4.60 V | 1.00 Hz |
| **锯齿波** | 4.54 V | 1.00 Hz | 4.60 V | 1.00 Hz |
| **正弦波** | 4.54 V | 1.00 Hz | 4.60 V | 1.00 Hz |

图8显示了在商用Keysight Infinivision DSO-X 2002A和建议的基于PC的虚拟DSO上观察到的测试信号。

* 图8（a）显示了在Keysight Infinivision DSO-X 2002A上观察到的具有5 V振幅和2.5 V偏移的直流信号，而图8（g）显示了在该虚拟DSO上观察到的相同信号。
* 图8（b）显示了在Keysight Infinivision DSO-X 2002A上观察到的100µs脉冲宽度、5 V振幅、1 Hz频率和2.5 V偏移的脉冲信号，而图8（h）显示了在该虚拟DSO上观察到的相同信号。
* 图8（c）显示了在Keysight Infinivision DSO-X 2002A上观察到的50%占空比、5 V振幅、1 Hz频率和2.5 V偏移的方波，而图8（i）显示的信号与在该虚拟DSO上观察到的信号相同。
* 图8（d）显示了在Keysight Infinivision DSO-X 2002A上观察到的50%对称三角波，其振幅为5 V，频率为1 Hz，偏移量为2.5 V，而图8（j）显示的信号与在该虚拟DSO上观察到的信号相同。
* 图8（e）显示了在Keysight Infinivision DSO-X 2002A上观察到的振幅为5 V、频率为1 Hz、偏移量为2.5 V的100%对称锯齿波，而图8（k）显示了该虚拟DSO上观察到的相同信号。
* 图8（f）显示了在Keysight Infinivision DSO-X 2002A上观察到的振幅为5 V、频率为1 Hz、偏移量为2.5 V的正弦波，而图8（l）显示的信号与在该虚拟DSO上观察到的信号相同。

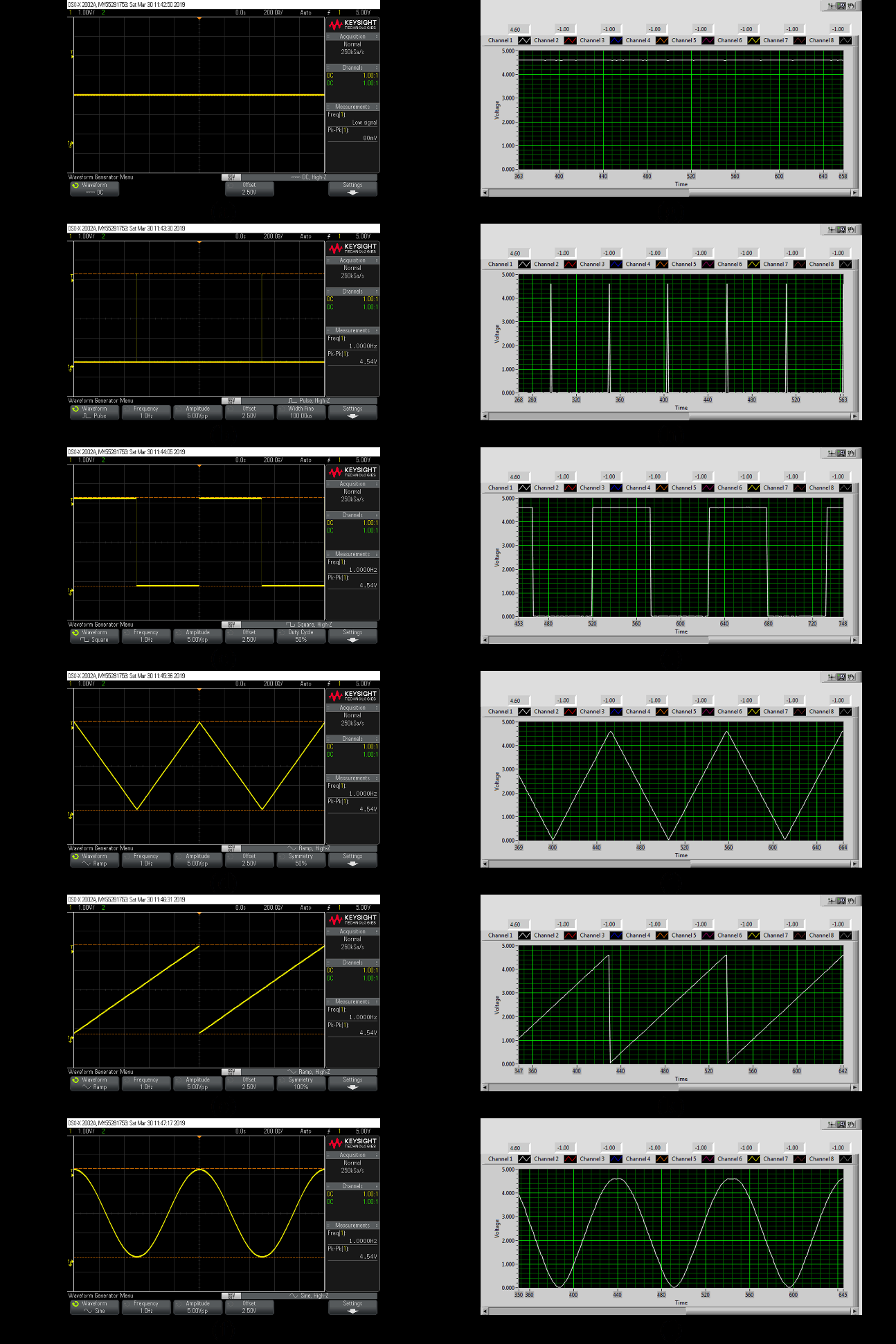


图 比较结果：（a）-（f）Keysight InfiniiVision DSO-X 2002A的输出和（g）-（l）该虚拟DSO的输出

## 结论

设计了一种基于PC的低成本虚拟DSO（虚拟仪器和硬件接口单元），其性能分析显示了对输入信号的最佳响应。所设计的虚拟DSO的容差范围仅为±1.3%；但是，采样率仅限于10 kHz，DSO只能分析0 V和5 V DC之间的电压信号；这两个限制都是由于微控制器的限制造成的。

这项研究的未来工作包括，采用具有高分辨率ADC的复杂数据采集系统，以实现更高的带宽，并获取更大幅度的AC和DC信号，并为虚拟仪器添加更多功能，如触发、时域分析、频域分析、虚拟函数发生器等。

## 参考文献

1. *J. L. Hancock, “Evaluating Oscilloscope Sample Rates vs. Sampling Fidelity: How to Make the Most Accurate Digital Measurements”, American Society for Engineering Education, pp. 1-10, 2011.*
2. *K. P. S. Rana, et al., “A DAQ card based mixed signal virtual oscilloscope”, Elsevier Measurement., vol. 41, pp. 1032-1039, 2008.*
3. *P. Gong and W. Zhou, “Design and Implementation of Multifunctional Oscilloscope Using USB Data-Acquisition Card”, in Elsevier Procedia Engineering, IWIEE, vol. 29, pp. 3245–3249, 2012.*
4. *N. Sulaiman and N. A. Mahmud, “Designing the PC-Based 4-Channel Digital Storage Oscilloscope by using DSP Techniques”, IEEE, SCOReD, Malaysia, 2007.*
5. *W. Jiang and F. Yuan, “Design of Oscilloscope Based on Virtual Instrument Technique”, IEEE, 2nd ICPEITS, pp. 284–287, 2009.*
6. *C. Bhunia, et al., “A Low-Cost PC-Based Virtual Oscilloscope”, IEEE Transactions on Education, vol. 47, no. 2, pp. 295-299, May 2004.*
7. *7. InfiniiVision 2000 X-Series Oscilloscopes – Data Sheet, Keysight Technologies, Santa Rosa, CA, USA, 2018.*
8. *8. C. V. Samak and T. V. Samak, “Design of a Two-Wheel Self-Balancing Robot with the Implementation of a Novel State Feedback for PID Controller using On-Board State Estimation Algorithm”, IJRRD, vol. 8, no. 2, pp. 1-10, 2018.*

# 外文原文

