



全国高校实验室工作研究会会刊

中文核心期刊

中国科技核心期刊

RCCSE中国权威学术期刊

第38卷 第7期

总第281期 (月刊)

Vol. 38 No. 7

Serial No.281 (Monthly)

7

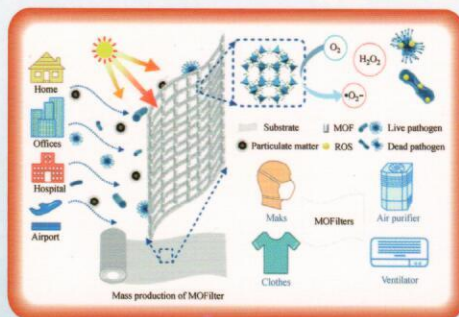
2019

# 实验室研究与探索

Research and Exploration in Laboratory

## 贺普科技

HOPE SCIENCE TECHNOLOGY



封面故事  
COVER STORY

空气综合净化和个人防护示意图

STAP Signal · Test · Analysis · Process

信号·测试·分析·处理

专业提供应力应变测试、信号采集分析、振动冲击噪声测试、动静力学特性研究、残余应力测试等领域测试仪器、试验方案及测试服务



ISSN 1006-7167



07>



电话: 025-5888 3423

网址: www.njhope.com

地址: 南京市江北新区南京工大科技产业园



南京贺普科技有限公司  
NANJING HOPE TECHCO.,LTD

因为专注·所以专业



# 实验室研究与探索 (月刊)

SHIYANSHI YANJIU YU TANSUO

第38卷第7期总第281期

1982年创刊

2019年7月出版

中华人民共和国教育部 主管  
高等学校实验室工作研究会会刊

中文核心期刊  
中国科技核心期刊  
RCCSE 中国权威学术期刊  
中国高校特色科技期刊  
中国高校优秀科技期刊  
《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊  
全国高校优秀编辑质量科技期刊  
华东地区优秀期刊  
上海市高校优秀科技期刊

主 办:上海交通大学  
主 编:蒋兴浩  
编辑出版:《实验室研究与探索》编辑部  
地 址:上海市华山路1954号  
上海交通大学教学三楼456、457室  
邮 编:200030  
电话:(021)62932952 62932875  
广告热线:(021)62933165(带传真)  
在线投稿网址:<http://sysy.cbpt.cnki.net>  
电子信箱:sysy@mail.sjtu.edu.cn(办公用)  
sysydk@163.com(订刊)  
sysygy@163.com(广告用)  
网 址:<http://sysy.cbpt.cnki.net>  
印 刷:上海纯德印务有限公司  
广告经营许可证:3101045000324  
国际标准连续出版物号:ISSN 1006-7167  
国内统一连续出版物号:CN 31-1707/T  
国际期刊编码:CODEN SYTAAZ  
发行范围:国内外公开发行  
邮发代号:4-834 定价:22.5元/册

## 敬告作者与读者

本刊已入选下列网站、数据库及检索系统  
提供信息服务。若有不同意者请告知本刊,本  
刊所付稿酬已包含刊物上网服务,不再另付。

- 《中国学术期刊(光盘版)》
- 《中国期刊网》
- 《万方数据——数字化期刊群》
- 《中国核心期刊(遴选)数据库》
- 《中国学术期刊综合评价数据库》
- 《中文科技期刊数据库》
- 《中文电子期刊服务》
- 《中国学术期刊文摘》(中文版)
- 俄罗斯《文摘杂志》(AJ, VINITI)
- 美国《化学文摘》(CA)
- 美国《剑桥科学文摘》(CSA)
- 美国《乌利希国际期刊指南》(UIPD)
- 英国《INSPEC》数据库
- 美国《史蒂芬斯数据库》(EBSCOhost)

期刊基本参数:CN31-1707/T\*1982\*m\*A4\*290\*zh\*P\*22.50\*7150\*67\*2019-07

## 目 次

### · 校长·名人访谈·

- 实验室是创新的源头(三)——访中国科学院院士北京大学程和平教授  
夏有为 1

### · 实验技术·

- 四旋翼飞行器动态粒子群优化算法的PID控制技术... 胡文华,曹仁赢,温泽之,等 4  
土壤重金属铬的高光谱估算模型... 贺军亮,崔军丽,李仁杰 8  
CNT@MOFs基复合相变材料的制备及性能... 王静静,孙建林,高鸿毅,等 12  
瑞利分布调制光的反射式关联成像... 张颖涛,李洪国 16  
盐-水相平衡制备硫酸钾综合实验... 李季,杨秀山,田文,等 19  
超分子复合材料的染料吸附性能综合实验... 杨修洁,张鹏,胡若娜,等 22  
矩形薄板的参数共振失稳理论与试验... 钟子林,刘爱荣 26  
基于非参数逆向思维的参数推断设计与模拟实验... 吕书龙,刘文丽,梁飞豹,等 34  
齿轮传动综合实验系统设计及教学实践... 王荣先,张莉洁,张旦闻 39  
共焦双曲柱面电极的电场及其数值模拟... 王福谦 42  
高氢金属钛中氧含量测定方法... 韩丽辉,张盈 46  
陶瓷基复合材料单钉沉头连接结构挤压性能试验... 张卓越,余音 52  
低压大流量气液两相混合器雾化性能实验... 刘子龙,陈琴珠,王学生,等 57

### · 仪器设备研制与开发·

- 低成本功能可扩展虚拟示波器研制及验证... 姜斌,李丰璞,包建荣,等 62  
增强型地热系统热流固化耦合模拟装置研制... 张博,刘恒伟,窦斌,等 68  
基于3D打印的复杂井筒模拟岩样制作... 贾朋,孙峰,薛世峰,等 73  
基于Kinect体感识别的自平衡车交互系统... 李佳怡,刘东旭 77

### · 专题研讨——虚拟仿真实验(71)·

- 基于MDK软件的微控制器时钟系统设计与虚拟仿真... 漆强,刘爽 80  
钢铁生产全流程虚拟仿真实验教学平台的建设与应用  
吕庆功,牟仁玲,许文婧,等 83  
停车场ETC收费车道的配置仿真研究... 马飞虎,金依辰,罗梓铭 88  
基于全序排列帝国主义算法的多目标无功优化仿真研究  
陈功贵,曹佳,刘耀,等 94  
路由信息协议虚拟仿真系统设计... 李冬霞,陈佩,金恒丰 100  
基于动态可信度的QoS路由优化与仿真... 余思东,黄欣,潘绍明 106

### · 计算机技术应用·

- 基于ADS的传输线时域分析实验... 潘玉剑,罗国清 111  
基于深度学习的人脸识别考勤管理系统开发... 李雄,文开福,钟小明,等 115  
基于OpenFlow的互联网视频组播转单播SDN研究... 王丽娜,侯健敏,郑良立,等 119  
基于GNS3的RIP路由协议仿真... 郝贤云 124  
共享时代下高校高性能计算系统的设计与实践... 姚舸 130

### · 实验教学示范中心建设·

- 能力培养的机能学实验教学体系探索与实践... 徐静,孙艺平,刘克敏,等 136  
有机化学实验教学绿色化改革的研究与实践... 王红,刘秋平,王海滨,等 139  
齿轮精度检测虚拟仿真实验教学平台研发与应用... 苗森,王志琮,刘津彤,等 145  
船舶与海洋工程国家级实验教学中心改革建设探索... 郭春雨,孙聪,赵大刚,等 148

### · 实验教学与创新·

- 面向卓越工程师培养的创新教学实践... 王燕华,陆金钰,吴刚,等 151  
本科化学基地人才培养策略与成效... 房川琳,熊庆,苏燕 155  
两相流与泄漏实验装置的教学实验设计... 胡其会,王冬旭,李玉星,等 159  
培养新能源材料与器件本科专业创新人才的教育实践  
曾荣华,潘俊贤,林耿忠,等 164  
基于液相色谱质谱联用技术的实践应用型课程探索... 李静,阳萌,刘艳红,等 167  
材料工程基础省级精品课程实践教学平台建设... 陈杰,陆树河,廉晓庆,等 170  
电力电子技术多元化创新型教学模式探索... 王凯,周圣哲,李玉浩,等 173  
本科毕业论文质量管理体系及其信息化建设探究... 王守住,胡亮,高淑贞,等 176  
软件测试课程实验教学体系设计与实践... 辜萍萍 180  
分级延伸教学模式在生化教学实验改革中的尝试... 李华,孙书洪,亓树艳,等 185  
大学物理实验与理论融合教学的探索... 郭袁俊,于景侠,霍中生,等 188



# 低成本功能可扩展虚拟示波器研制及验证

姜斌<sup>a</sup>, 李丰璞<sup>a</sup>, 包建荣<sup>b</sup>, 刘超<sup>b</sup>, 郭春生<sup>a</sup>

(杭州电子科技大学 a. 通信工程学院; b. 信息工程学院, 杭州 310018)

**摘要:**针对虚拟示波器扩展性差、价格昂贵等问题,采用压缩感知信号处理技术,并将意法半导体 32 位系列微控制芯片、现场可编程门阵列等模块与微机相结合,研制了低成本功能可扩展虚拟示波器。该虚拟示波器具有 50 MB 带宽、100 MS/s 采样频率,在具备传统示波器的波形显示与测量功能的同时,还具备信号发生器、频谱分析、幅频测量等灵活可编程的软件扩展功能。相比现有虚拟示波器,其具备功能多、成本低、扩展性强及便于携带等优势。

**关键词:**虚拟示波器; 压缩感知; 频谱分析; 幅频测量

**中图分类号:**TH85; G642.0 **文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7167(2019)07-0000-00



## Development and Verification of Low-Cost Scalable Function Virtual Oscilloscope

JIANG Bin<sup>a</sup>, LI Fengpu<sup>a</sup>, BAO Jianrong<sup>b</sup>, LIU Chao<sup>b</sup>, GUO Chunsheng<sup>a</sup>

(a. School of Telecommunication Engineering; b. School of Information Engineering,  
Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To overcome currently existing problems of poor scalability and high price of virtual oscilloscopes, a virtual oscilloscope is developed by using compressed sensing signal processing technology and STM32, field programmable gate array (FPGA) and other modules combined with personal computers (PCs). It has 50 MB bandwidth and 100 MS/s sampling frequency. It is connected to a PC via a high-speed universal serial bus (USB) interface. Besides the waveform display and measurement functions of traditional oscilloscopes, it also has flexible and programmable software extensions, such as the signal generator, the spectrum analysis, and the amplitude-frequency measurement. Compared with the existing virtual oscilloscope, the developed virtual oscilloscope has many advantages, such as various functions, low cost, high expandability and easy portability.

**Key words:** virtual oscilloscope; compressed sensing; spectrum analysis; amplitude frequency measurement

## 0 引言

作为常见的电子测量仪,示波器能测量并显示信号波形及相关参数,已被广泛用于各类科学研究及生产实践<sup>[1-2]</sup>。随着集成电路和信息技术的发展,传统示波器波形不稳定、测读易老化而不准确、功能单一等缺点逐渐突显,已无法满足现代科研和测量等诸多应用。其中,国内一些理工类高校实验室常使用国产数字示波器辅助本科教学,其成本区间约为 1 000 ~ 3 000 元,其中,电信类科研实验室使用的一些国外多

收稿日期:2018-11-25

**基金项目:**国家自然科学基金(U1809201);浙江省 2016 年度高等教育教学改革项目(jg20160237);浙江省高等教育“十三五”第一批教学改革研究项目(jg20180471);杭州电子科技大学 2017 年虚拟仿真实验项目专项课题(XNFZ201702);杭州电子科技大学 2014 年度教学模式改革试点课程项目(A0801220)

**作者简介:**姜斌(1980-),男,浙江衢州人,高级实验师,主要研究方向为无线通信、通信实验仪器。

Tel.:13093705327;E-mail:jiangbin@hdu.edu.cn

功能示波器价格高达万元,成本高昂,购买不易<sup>[3]</sup>。

虚拟示波器主要将计算机和现代测量技术融合,使用软件代替传统示波器部分硬件功能,利用计算机显示器代替传统示波器物理面板<sup>[4]</sup>。相比传统示波器,虚拟示波器在波形显示,功能多样化,成本控制等方面都更具有灵活可配置及低成本等优势<sup>[5]</sup>。但现有的虚拟示波器仍存在成本较高,信号处理接口不公开,难以扩展信号处理算法而无法适应不同测试场景等缺陷。基于此,本文使用压缩感知(Compressed Sensing,CS)信号处理技术,并将STM32单片机、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)等模块与个人微机(Personal Computer,PC)结合作为硬件平台,研制了具有50 MB带宽,100 MS/s采样频率的低成本功能可扩展虚拟示波器。该示波器在优化了传统示波器的信号波形显示、测量等功能的基础上,还实现了频谱分析、扫频输出及幅频测量等信号特征显示的扩展功能,具有配置灵活,功能多,成本低廉,便携性好等优势,便于教育界和工业界的大批量推广应用。

## 1 虚拟示波器结构与应用场景

该虚拟示波器的整体布局由高速通用串行总线(Universal Serial Bus,USB)数据采集模块与PC软件信号处理端两部分构成。高速USB数据采集模块采用STM32单片机与FPGA模块为核心组成的集成式结构。其中,FPGA模块负责高速数字信号处理,包括高速数据采集和缓存;STM32单片机为高速USB数据采集模块的主控制器,主要完成了数据流控制与传输并通过控制USB接口完成数据采集模块与PC软件信号处理端的对接。PC软件信号开发使用微软公司的Visual Basic 编程语言,一方面通过高速USB接口接收下位机发送的波形信号,利用软件编程完成各波形显示、测量以及变换,实现虚拟示波的窗口化显示;另一方面向数据采集模块发送各类指令,使虚拟示波器实现信号发生器、频谱仪、扫频仪等新型功能。该虚拟示波器的典型应用场景如图1所示。

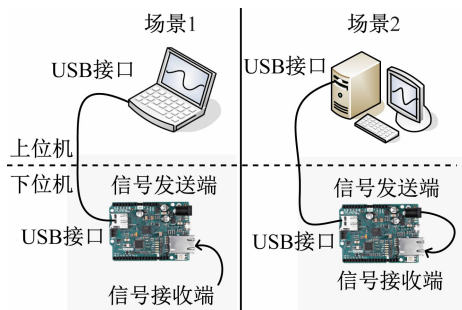


图1 虚拟示波器应用场景图

场景。左侧所示为下位机与便捷式PC相连构成的虚拟示波器。数据采集模块未封装体积约为 $10\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ,不到传统示波器体积的5%,其便携性相比传统示波器有质的提升<sup>[6]</sup>。该下位机与便携式电脑的组合适用于个人携带,可应用于各类现场测试和生产实践,并极大降低了运输及人力成本。右侧为实验室科研及教学应用场景,本新型虚拟示波器同时具备信号发生功能,集成下位机于PC上位机相结合可同时实现示波器功能及信号发生器功能,可同时代替传统示波器以及传统信号发生器,集成下位机制造成本低廉,大大节省了电信类实验室科研和教学的费用成本。

## 2 硬件结构设计

虚拟示波器的硬件模块框图如图2所示。其中,数据采集模块主要包括了模拟信号预处理接口芯片、高速AD/DA转换器、STM32核心处理器、FPGA信号处理芯片、高速USB接口芯片及其配套的电源管理等外围芯片与线路。

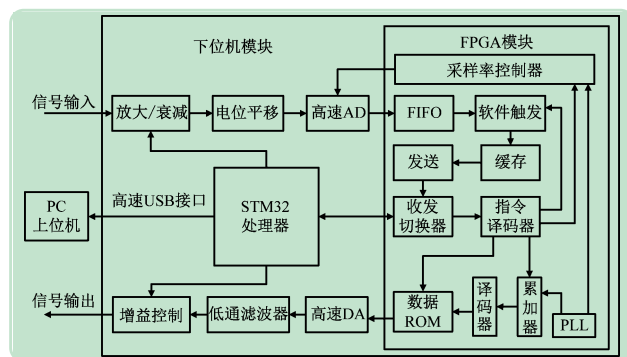


图2 虚拟示波器硬件模块设计框图

### 2.1 模拟信号预处理接口

硬件模块由集成运放电路OPA2356芯片和模拟开关CD4053芯片组成,并实现两个功能。首先,对该系统示波器功能中的输入信号做预处理,通过分压电阻及旁路电容对输入信号滤波,实现信号的放大、衰减和电位平移,从而使得输入信号位于AD采集范围之内,避免波形失真;其次,对该系统信号发生器功能中的信号输出处理,该模块接收到高速DA转换器发出的模拟信号后,先通过低通滤波处理,再根据STM32给出的指令完成信号的放大或衰减,最后将模拟信号输出。

### 2.2 高速AD/DA转换器

高速AD转换模块利用压缩感知算法,压缩进入AD芯片的信号,降低了信号最小采样频率,从而提高AD采样效率。同时,降低芯片功耗和成本。AD芯片选择满足采样频率 $\geq 100\text{ MS/s}$ 的低功耗芯片。DA转换器模块负责完成信号发生器功能中的信号转换工

作,该模块由2个四位T形电阻网络串联组成,具体包括电阻网络、缓冲寄存器、模拟开关以及运放电路4部分,将FPGA模块发出的数字信号转为模拟信号,完成信号发生器的波形输出。

### 2.3 STM32 核心微控制器

模块主体为一块STM32集成芯片,该集成芯片拥有多个功能模块,使用各模块自带的固件库大大简化了设计开发难度且降低了成本,使用STC-ISP烧写软件,将通过Keil编写的固件程序下载至STM32中<sup>[7]</sup>。当系统实现示波器功能时,STM32芯片控制运放电路对进入AD转换器的模拟信号放大、衰减等处理,使其不超过采集范围,然后接收经过AD模块以及FPGA模块处理的信号并通过高速USB模块将信号传输至上位机。当系统实现信号发生器功能时,STM32通过高速USB模块接收上位机发出的指定波形数据,再将该数据发送给FPGA模块,通过DA转换器以及模拟信号处理模块后输出。

### 2.4 FPGA 信号处理芯片

如图2所示,为了同时实现虚拟示波器、信号发生器以及扫频仪等功能,需在FPGA中开辟多个功能区域,实现采样频率控制、先进先出(First Input First Output, FIFO)数据缓冲、锁相环(Phase Locked Loop, PLL)时钟同步及只读存储器(Read-Only Memory, ROM)存储。当系统实现示波器功能时,模拟信号经AD转换器变为数字信号进入FPGA模块中的FIFO数据缓冲区,再根据触发条件将所需数据传给STM32。同时,FPGA模块对高速AD转换器下达采样频率数据指令。当系统实现信号发生器功能时,FPGA模块将STM32波形数据写入ROM表。同时,对PLL时钟模块的频率数据累加及译码。最后,FPGA模块将ROM表中的波形数据按一定频率发给DA转换器。

### 2.5 高速USB接口

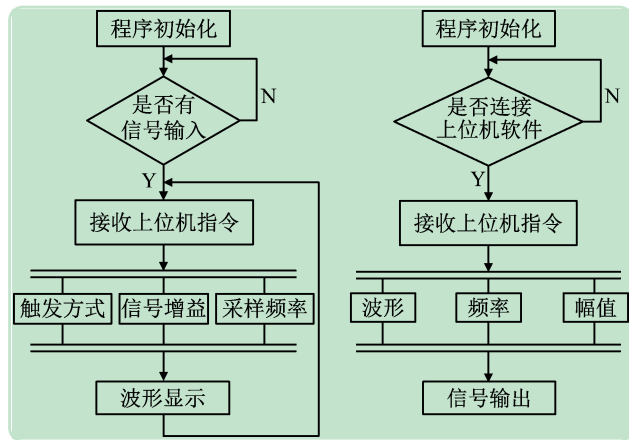
STM32芯片内置一个兼容全速USB(12 MB/s)的设备控制器,且端点可由软件自由配置<sup>[8]</sup>。高速USB接口模块实现了数据采集模块与PC软件信号处理端的实时数据交换,根据本集成架构特性,设置其传输带宽为50 MB。同时,下位机USB端口采用MiniUSB接口,压缩了下位机体积,提高了便携性。

## 3 软件系统设计

### 3.1 后端程序设计

下位机固件(Firmware)程序采用Keil编程软件编写。图3所示为下位机固件程序流程图。其中,图3(a)为示波器功能流程图,下位机根据上位机指令,以指定采样频率对接收信号采样,并按指定触发方式将波形输至上位机。同时,也可对信号实现一定增益。其中,触发方式有单次,多次及连续触发3种,且信号

增益效果区间为0.01~1 V/div,以满足各场景需求。图3(b)为信号发生器功能流程图,下位机按照指令,以一定波形、频率和幅值输出波形信号。



(a) 示波器功能

(b) 信号发生器功能

图3 下位机固件程序流程图

信号处理部分则采用最新的CS算法,使输入信号实现功率压缩,降低了信号最小采样频率,从而加速了AD转换效率,且减少了FPGA缓存空间。压缩感知的应用流程如图4所示。

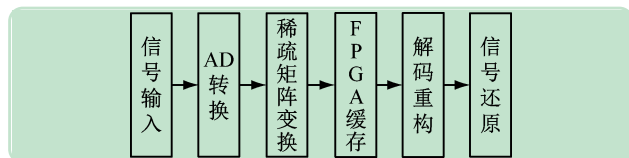


图4 压缩感知流程图

设待测信号先经AD变换至维度为 $1 \times N$ 的离散实值信号向量 $X$ ,再经稀疏矩阵变换将 $X$ 表示为一组稀疏基 $\Psi^T = [\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_m, \dots, \Psi_M]$ 的线性组合,且有:

$$X = \sum_{k=1}^N \Psi_k \alpha_k = \Psi \alpha \quad (1)$$

式中: $\alpha_k = \langle X, \Psi_k \rangle$ ;  $\alpha$ 与 $X$ 是 $N \times 1$ 矩阵; $\Psi$ 是 $N \times N$ 矩阵。当 $X$ 在某组基 $\Psi$ 上仅有 $K \leq N$ 个非零系数 $\alpha_k$ 时,称 $\Psi$ 为信号向量 $X$ 的稀疏基。该公式将 $X$ 投影变换至稀疏投影区间,减小了信号功率,经稀疏变换压缩的信号输入FPGA缓存模块,即可极大减少储存需求,降低成本。接着,通过稀疏向量计算: $\otimes = \Psi^T X$ ,得出压缩采样的观测部分,并解码重构信号。该过程主要围绕观测矩阵 $\phi$ ,其选择是为了得到 $M$ 个观测值: $y_j = \langle \Theta, \phi_j \rangle (j=1, 2, \dots, M)$ ,以确保重构完整 $X$ ,获得的观测向量

$$Y = \phi \Theta = \phi \Psi^T X = A^{CS} X \quad (2)$$

式中: $A^{CS} = \phi \Psi^T$ ,且 $A^{CS}$ 为CS信息算子。该公式也可表示为 $X$ 经矩阵 $A^{CS}$ 实施非自适应观测。最后,利用



0—范数优化问题求解  $X$  的精确或近似逼近值,完成信号的还原<sup>[9-10]</sup>:

$$\left. \begin{aligned} \min & \|\Psi^T X\|_0 \\ \text{s. t. } & A^{CS} X = \phi \Psi^T X = Y \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

### 3.2 前段软件设计

上位机软件实现了该虚拟示波器的可视化操作以及多功能开发,其开发平台为 VB,易于实现窗口化、模块化设计<sup>[11-12]</sup>。上位机软件至下而上可分为 USB 驱动模块、功能实现模块以及 UI 模块。USB 驱动模块调用 STM32 自带的 USB 接口相关程序库,以实现在 Windows 操作系统下的自动安装,USB 的数据链采集与分析流程如图 5 所示。

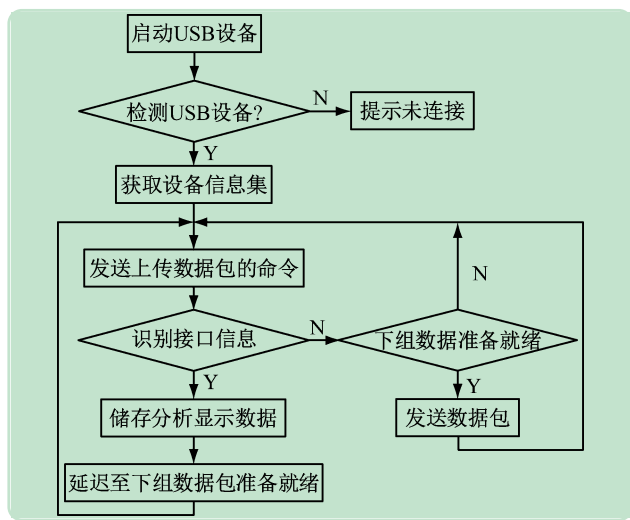


图 5 USB 数据链采集与分析流程图

虚拟示波器的功能实现模块如图 6 所示。上位机通过 VB 编程实现以下 5 类数据处理:信号源设置、波形/参数显示、数字信号采样、数据存储/读取、快速傅里叶变换,通过信号源设置对下位机下发相关指令(波形、频率、幅值)以实现该系统的信号发生器功能;通过对接收信号采样、数据存储/读取及波形/参数显示处理,以实现示波功能;通过对采样波形信号的快速傅里叶变化实现频谱仪功能,实现功能拓展,完成

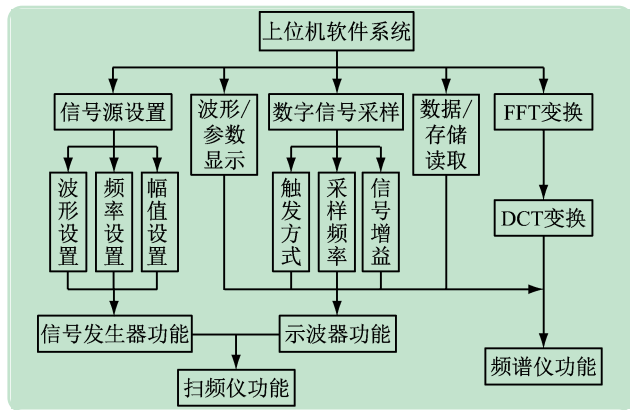


图 6 上位机软件功能流程图

DCT 变换;此外,将下位机信号发生器的信号输出端口与示波器信号输入端口相连接,同时上位机通过信号源设置,使下位机发出频率可变的扫频信号,再利用示波器功能测量信号,输出对应的幅值变化,绘制成幅频特性曲线,从而实现该系统的扫频仪功能。

### 4 虚拟示波器样机测试及效果

本文主要通过对待测信号的频率响应测试,验证压缩感知对该示波器波形显示的影响。如图 7 所示,输入一个随机复频信号,将未使用压缩感知的信号与通过压缩感知压缩还原的信号频率响应对比,其频率响应基本一致。压缩感知使得该虚拟示波器的采样频率范围提高了 25% ~ 30%,采样速度提高了近 35%。因此,除了极大地增加了 AD 芯片采样效率,还释放了 FPGA 缓存空间,降低了制造成本<sup>[13-14]</sup>。

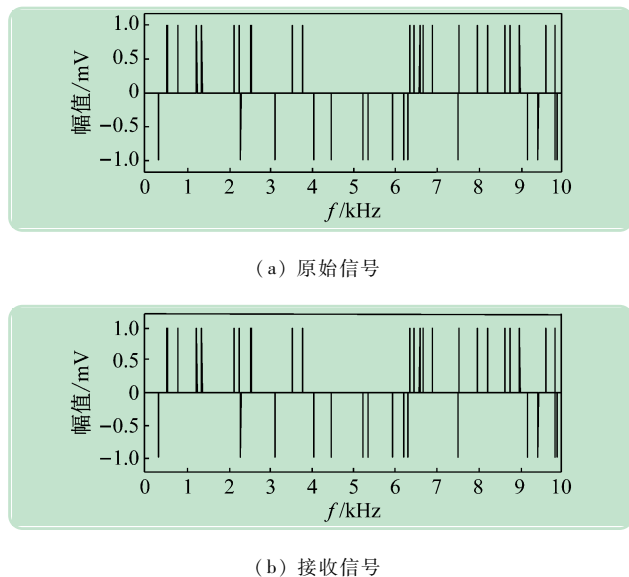


图 7 CS 技术频率响应图

压缩感知提高了 AD 采样效率,但使 FPGA 的输入与输出时钟域不同步。另外,为了防止 FPGA 数据溢出,在 FPGA 模块中使用异步 FIFO 结构。异步 FIFO 结构实现了对数据流的缓冲,使得速率较高,间隔较大的写入数据变得平滑均匀,减少了空信号出现,增大了信号突变容错率,从而有效防止了信号数据的溢出和丢失<sup>[15]</sup>。

通常,高功耗会使 USB 数据采集器因温度过高而无法长期工作。为了保证该虚拟示波器长时间稳定运行,在 USB 传输模块中,使用了门控时钟屏蔽技术及动态调频技术,以降低功耗。门控时钟屏蔽技术使虚拟示波器在运行指定功能时,可断开不相关模块的时钟和电源,且激活必要的运行模块,从而降低静态功耗。动态调频技术根据各芯片工作的不同状态,调节各模块运行频率和电压,降低了系统运行动态功耗<sup>[16]</sup>。

为防止该虚拟示波器产生电磁干扰 (Electromagnetic Interference, EMI) 且减少静电放电 (Electrostatic Discharge, ESD) 现象,下位机印制电路板信号走线皆于同一层,且靠近电源层,实现电磁屏蔽;电源层使用低数值电感,减少瞬态信号,降低共模 EMI;在芯片引脚间增加了特定分压电阻和二极管等元件组成的 ESD 保护电路,在确保芯片正常工作的同时,防止静电产生。

经过样机实验测试,获得该虚拟示波器的参数结果如表 1 所示。

表 1 低成本可扩展虚拟示波器的验证参数表

| 测试参数                       | 技术指标    | 实测结果     |
|----------------------------|---------|----------|
| 带宽/MB                      | 50      | 达到要求     |
| 采样频率/(MS·s <sup>-1</sup> ) | 100     | 达到要求     |
| 信号时延/ms                    | ≤1      | 验证≤50 μs |
| 功耗/W                       | ≤3.5    | 实现低功耗    |
| 抗干扰                        | 无杂波干扰   | 无明显干扰    |
| 防静电性能                      | 电路板电磁屏蔽 | 效果较好     |

前端用户界面设计参考传统数字示波器界面,多以按钮形式呈现,达到实现简洁、直观的交互体验。图 8 所示为虚拟示波器的主界面,左侧为波形显示窗口。当前波形窗口展示了由该示波器自身信号源产生频率为 1 kHz 的调制波。右侧为功能控制区域,集成了示波器、信号发生器、频谱仪以及扫频仪功能。图 9 所示为信号发生器及频谱仪功能界面,信号发生器功能支持多种波形输出。而频谱仪界面左侧显示了频域波形,右侧提供了基波数据以及屏幕测读功能。图 10 所

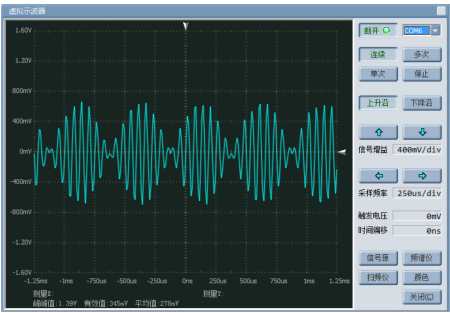


图 8 虚拟示波器主界面

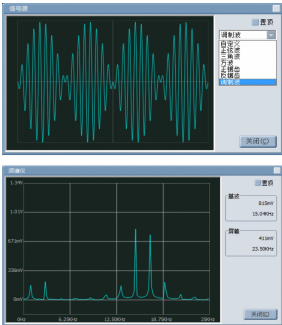


图 9 信号发生器及频谱仪功能界面

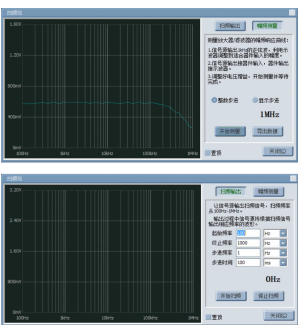


图 10 扫频仪功能界面

示为扫频仪功能界面,扫频仪具有扫频输出和幅频测试两种功能,满足了不同应用场景。图 11 为该新型多功能虚拟示波器的样机演示图。

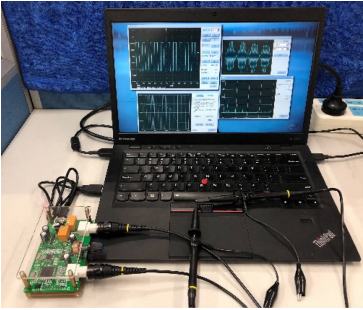


图 11 样机测试效果的展示

由于 AD 芯片量化器为 8 bits,该虚拟示波器的垂直分辨率上限无法改变。故对采样信号用平均及高分辨率运算,增加了其噪声失真比,提高了系统整体有效位数,优化了波形显示分辨率。平均算法即在捕获周期信号时,先设定一个平均次数  $N$ ,然后采样  $N$  段触发位置相同的信号。最后,经平均运算得到最终波形,并输出。该方法降低了随机噪声且未减少带宽,进而增加了噪声失真比。而高分辨率算法对固定时间间隔内的  $M$  个采样点进均计算,对波形平滑处理,极大地提高了分辨率。经测试通过分辨率优化处理,使整体系统有效位数从 8 位增加到接近 12 位,分辨率性能提升了约 50%。

5 结 语

本文研制的采用 CS 信号处理技术的虚拟示波器,在优化了示波器基本波形显示、测量等功能基础上,还实现了频谱分析、扫频输出及幅频测量等信号特征显示的扩展功能,具有配置灵活,功能多,成本低廉,便携性好等优势,便于教育界和工业界的大批量推广应用。同时,该系统在软件方面仍存在灵活的扩展空间。其在稳定性,测量精度及功能复杂度等方面,还可通过软件编程及改进而进一步扩展。

参考文献 (References):

[1] 胡 力. 基于虚拟仪器的移动互联开放实验室探索[J]. 实验室研究与探索,2016,35(10):264-267.

[2] 赵吉祥,张秉仁,尹超平. 基于 VIIS-EM 的虚拟示波器设计[J]. 实验室研究与探索,2013,32(10):76-79.

[3] 王 莉,杨 鹏. 基于 LabVIEW 的虚拟示波器的设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2010,29(1):62-64.

[4] 冯静亚,于 强,吕朝晖,等. 虚拟示波器的软件设计与应用[J]. 计算机工程与设计,2007,28(1):211-213.

[5] 于永芳,王毓顺,许中运,等. 基于 LabVIEW 的虚拟波形发生器和示波器的设计[J]. 工业控制计算机,2017,30(3):34-34.

[6] 张 博,李 黎,何海龙,等. 基于 WPF 的虚拟示波器设计[J]. 火控雷达技术,2018(2):39-41.

[7] 李同立. 基于 VC++ 的虚拟示波器软件设计[J]. 软件导刊,

2013(11):56-59.

[ 8 ] 苏神保. 探讨数字示波器在电子类专业实践教学中的应用[J]. 山西电子技术,2017(1):84-86.

[ 9 ] Donoho D L. Compressed sensing [ J ]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(4): 1289-1306.

[ 10 ] Lustig M. Compressed sensing MRI [ J ]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2): 72-82.

[ 11 ] 朱锦新. 基于软件开发思想的 VB 案例教学法 [ J ]. 林区教学, 2012(11):82-84.

[ 12 ] 刘勋丰,邱文涛,陆铭慧. 基于 VB 的虚拟示波器的研究与设计 [ J ]. 南昌航空大学学报(自然科学版),2015(2):45-50.

[ 13 ] 吕德东,刘畅,朱晓辉. 基于 FPGA 的虚拟示波器的设计和实现 [ J ]. 电子设计工程, 2018(14):56-57.

[ 14 ] 刘王飞,方开红. 虚拟示波器的设计与实现 [ J ]. 工业控制计算机,2008,21(11):9-10.

[ 15 ] Nane R, Sima V M, Pilato C, *et al.* A survey and evaluation of FPGA high-level synthesis tools [ J ]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2016, 35(10):1591-1604.

[ 16 ] Han J, Xuelan H E, Wei Y. Design and implementation of high-speed data acquisition and recovery system [ J ]. Optical Instruments, 2014, 36(1):36-39.



# 构建智慧型实验室管理

## 》实验室综合管理平台「LIMS」

### 校、院/中心二级管理架构



## 》校园可视化综合信息系统「VIIS」



上海万欣计算机信息科技有限公司

公司总部：上海市虹口区花园路128号7街区A座3001室

华中运营中心：湖北省武汉市洪山区街道口群光中心1118室

联系电话：021-36368160/70/80/90 (上海)

027-87772089 (武汉)

网址：<http://www.wanxinsoft.com>