

文章编号: 2095-4980(2014)06-0884-06

基于网络的数字示波器远程集中控制软件平台

苏春晓¹, 王 鹏¹, 杨存榜^{1*}, 于瑞珍¹, 刘诸桂², 刘 巍², 郭 丰²

(1.中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621999; 2.成都纵横科技有限责任公司 研发中心, 四川 成都 611731)

摘 要: 为了实现对多种型号数字示波器的集中控制, 提高大型实验中示波器数据采集效率, 采用统一的层次化系统结构, 将系统分为设备层、硬件设备驱动层、设备抽象层、FEP(前端处理器)设备服务层、应用服务层和表示层, 实现了基于网络的不同型号数字示波器远程集中控制软件平台。对于新型的数字示波器及数据采集(DAQ)板卡、科学级 CCD 相机等其他诊断设备, 只需要开发一个驱动接口即可加入到系统中, 易于扩展设备。

关键词: 集中控制; 数字示波器; 数据采集; 测试诊断

中图分类号: TN345; TP 274⁺.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA201406.0884

A web-based remote integrated control platform for digital oscilloscopes

SU Chun-xiao¹, WANG Peng¹, YANG Cun-bang^{1*}, YU Rui-zhen¹, LIU Zhu-gui², LIU Wei², GUO Feng²

(1.Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China;

2.Development Center, Sichuan Jovian T&C Technologies Co., Ltd, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of data acquisition in large-scale scientific experiment, a web-based integrated control software platform is developed to realize the remote centralized control for various types of digital oscilloscopes. A unified hierarchical system structure is proposed to reduce the developing difficulty and increase the extensibility, which divides the system into six layers—the device layer, the hardware device driver layer, the device abstraction layer, the FEP(Front End Processor) device service layer, the application service layer and the presentation layer. The new type of digital oscilloscope can be added to the integrated control software platform easily by developing a driver interface, and it is the same to other diagnostic equipments, such as DAQ(Data Acquisition) card and scientific grade CCD(Charge coupled Device) camera. The application of this system shows that, the system integration method introduced in this paper is suitable for large-scale physics experiment data acquisition and control system, and the web-based integrated control software platform can improve the operation efficiency of experiment significantly.

Key words: centralized control; digital oscilloscope; data acquisition; diagnostic test

在许多大型物理实验中, 常常需要用到大量不同型号的数字示波器。此前开发的基于通用接口总线(General-Purpose Interface Bus, GPIB)的泰克 684/694 系列数字示波器的计算机集中控制数据采集系统, 可以在实验后按照实验课题、电缆序号等信息自动命名每通道数据文件并在本地计算机和网络服务器上存储实验数据, 能够记录外接衰减器参数并对数据直接进行校正, 显著地提高了数据获取效率; 同时, 通过采用高效的通道输入状态程控技术, 大大降低了因为探头高压打火造成的示波器损坏几率, 取得了良好的经济效益。

随着测试诊断的示波器升级到更高性能的多种型号数字示波器, 目前面临不同厂家的示波器数据采集程序不能集成, 针对应用需求添加新功能比较困难等问题。随着实验的深入, 数字示波器的数量和种类还会不断增加。因此, 为了方便实验数据采集的集中控制和管理, 有必要为不同厂家多种型号的数字示波器建立统一的集中控制软件平台, 从而提高实验效率。

收稿日期: 2013-10-29; 修回日期: 2014-06-23

基金项目: 中国工程物理研究院信息化专项基金资助项目

*通信作者: 杨存榜 ycb@caep.cn

1 系统设计

为了降低系统设计的复杂性, 增加系统设备的易扩展性, 将基于网络的数字示波器远程集中控制软件平台抽象为多级分层结构。为了保证不同功能不会混杂在同一层中, 同时避免由于层数太多造成整个体系结构过于庞大, 系统分层结构模型如图 1 所示, 将系统组织成相互叠加的 6 层, 从底向上分别为设备层(Device Layer)、硬件设备驱动层(Hardware Device Driver Layer)、设备抽象层(Device Abstract Layer)、FEP 服务层(FEP service layer)、应用服务层(Application Service Layer)、表示层(Presentation Layer), 即客户端(User Interface)。

设备层为各种型号相互独立的数字示波器, 系统控制设备扩展后, 也可以是其他类型的数据采集仪器设备或者数据采集插件模块, 是控制软件平台的控制对象和数据采集的执行人。

硬件设备驱动层提供设备驱动。一般情况下采用各设备厂家提供的驱动程序库, 也可使用某种设备的通用驱动, 上层实体通过调用设备驱动指令实现对设备的硬件级控制。

设备抽象层提供 FEP 服务层获取设备访问的接口, 进而对具体设备进行控制。为了兼顾后续设备的接入和硬件设备的多样性, 需要通过对数据采集设备的一致抽象, 达到系统可扩展性要求, 并为上层对设备进行统一初始化及管理提供可能。

FEP 服务层提供远程计算机访问接口, 并提供设备获取与管理功能。

应用服务层实现对系统中配置的多个 FEP 的统一管理, 为客户端提供服务。

表示层即客户端应用程序, 采用 B/S 模式, 通过 IE 从服务器端下载页面程序, 在客户端运行。

该平台中, 系统软件由除硬件设备层外的其余 5 层构成, 其中硬件设备驱动层、设备抽象层、FEP 服务层在 FEP 前端控制服务程序中实现。

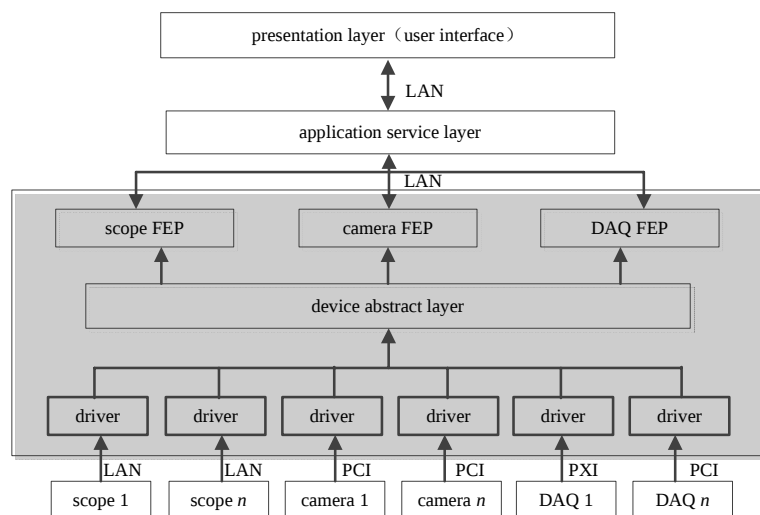


Fig.1 Hierarchical system structure

图 1 系统分层结构图

2 系统实现

2.1 软件模块划分和部署方式

系统划分为 3 个部分, FEP 前端控制服务程序、应用服务程序和客户端程序。

FEP 前端控制服务程序包含系统分层结构图(图 1)中的硬件设备驱动层、设备抽象层、FEP 服务层, 提供设备访问服务以及设备管理的能力。

应用服务程序实现分层结构中的应用服务层, 用户管理在本程序端实现, 通过将示波器分组, 不同用户具有不同示波器分组控制权限, 以避免仪器竞争性使用。

客户端程序提供系统登录和交互操作界面。数字示波器集中控制主程序界面与功能, 结合实验运行特点, 设计合理的用户界面与运行流程; 尽可能减少用户鼠标点击和键盘输入操作, 实现示波器参数设置群发群控和参数的保存与读入, 降低运行出错几率。

当前同类装置上的控制系统多采用分布式技术^[1-2], 结合本系统实际应用需求, 确定本系统采用分布式控制结构, 系统部署方式见图 2。整个系统配备一个 Web 服务器(Web server, 应用服务层), 根据示波器数量及测量

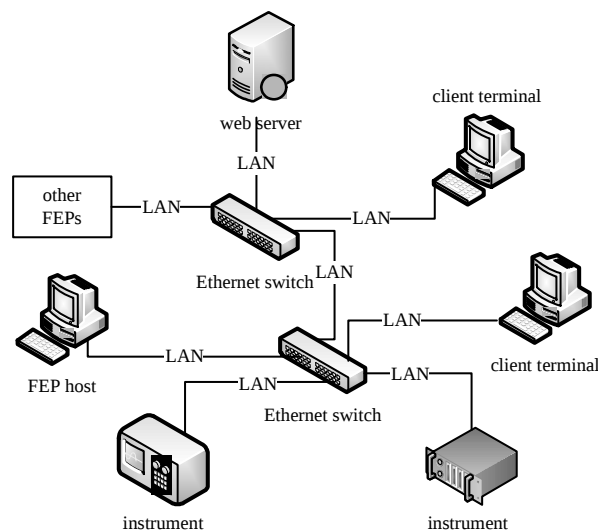


Fig.2 Deployment of the integrated control software platform

图 2 系统结构图

分组情况配备一个或多个 FEP 前端控制服务程序, 配备多个用户控制终端(Client terminal, 有 IE 浏览器的标准 PC 机)。用户可在局域网任意位置上远程控制示波器。

2.2 实现技术

2.2.1 示波器控制硬件接口

早期的数字示波器控制硬件接口仅支持 RS-232 串口或者 GPIB 接口, 数据传输速度低, 控制距离短, 可控制设备数量少。随着硬件技术发展, 数字化示波器控制硬件接口支持以太网口、GPIB 或者 USB 接口。目前高性能数字示波器一般配置有以太网控制接口, 个别型号加配 GPIB 接口。考虑到数据传输速度、可控制设备数量, 示波器控制硬件接口选择以太网接口。软件开发仅按照以太网接口考虑, 对于早期采用 GPIB 或者 USB 接口的设备, 采用接口转换设备实现控制。

2.2.2 示波器控制软件接口

早期的数字化示波器控制软件接口一般是以库函数的方式提供, 各厂家接口均不统一。虚拟仪器软件体系结构(Virtual Instrument Software Architecture, VISA)协议制定以后, 已被广泛应用在各种数字化、网络化的自动测试系统中^[3-4], 各设备厂家也陆续支持 VISA 协议。但仍有许多型号的示波器不支持 VISA 协议, 如大型物理实验中大量使用的力科数字示波器, 其远程控制软件接口基于 ActiveX 技术。从可靠性出发, 示波器控制软件接口首选厂家提供的控制协议。安捷伦数字示波器和泰克新型的数字示波器采用 VISA 协议, 力科数字示波器采用 ActiveDSO 接口(示波器端称之为 TCP/IP)。

为了支持多用户分组控制示波器, 在 FEP 端为每台示波器建立一个线程, 从而方便进行权限控制, 避免示波器操作竞争, 同时可以提高数据存储速度。在进行多台示波器联调时发现, 力科示波器在保存数据时容易出错。调试发现力科的 ActiveDSO 接口协议不支持并发操作, 不能满足示波器分组群控的需求。

解决力科示波器并发控制不兼容问题有 2 种方法: 更改系统结构, 放弃并发操作, 或者更换为支持并发操作的 VISA 控制协议。因更改系统结构工作量太大, 且放弃并发操作会降低系统性能, 因此考虑更换控制协议。通过固件升级, 使力科示波器可以支持 VISA 协议(示波器端称之为 LXI)。因此, FEP 前端控制服务程序中示波器设备驱动统一采用 VISA 协议。

确定了示波器控制软件接口协议采用 VISA 协议后, 需要进一步确定采用何种 VISA 库作为底层硬件驱动。如果每个 FEP 只控制一个厂家的示波器, 则在 FEP 端安装对应厂家的 VISA 库即可。考虑到实际应用时示波器配置的灵活性, 应允许一个 FEP 控制多个厂家的示波器, 因此必须考虑 VISA 库的兼容性。本系统选择兼容性较好的安捷伦 VISA 库作为底层硬件驱动。

2.2.3 系统软件及模块间通信

基于软件应用普及性、平台统一性、研发编码方便性, 选择了微软系统软件与编程开发工具。客户端程序支持 XP、Win7 操作系统下的 IE 浏览器, FEP 前端控制服务程序采用 XP, Win7, Server2008 操作系统, 应用服务程序运行在 XP, Win7, Server2003/2008 等系统下的 IIS 之上。

系统平台软件采用 Visual Studio 作为开发工具。本系统基于 .NET 架构, FEP 前端服务程序和应用服务层采用 C#语言实现。FEP 前端控制服务程序设计为远程组件, 采用了 .NET Framework 分布式技术 .NET Remoting, 采用了 TCP 传输协议。

表示层(客户端)实现方式的选择是基于实验环境下网络环境和设备远程控制时的数据传输量及交互频度的考虑。C#实现的页面程序运行时, 在客户端不能缓存网页中的变量参数, 必须实时提交到服务器端。RIA(Rich Internet Applications, 富因特网应用程序)类开发工具编写的网页程序可以在客户端缓存网页中的变量参数, 从而可以实现一个比基于 HTML 的响应速度更快且数据往返于服务器的次数更少的用户界面。Adobe 的 Flex 和微软的 Silverlight 是两家主要的 RIA 技术力量, 另外 javaFX 也支持 RIA, 但 java 程序的界面丰富性逊于 Flex 和 Silverlight。考虑到本系统主要基于 .NET 开发, 而 Silverlight 是基于 .NET 的一个插件, 支持跨平台和跨浏览器, 因此, 选择以 Silverlight 实现表示层(客户端)。

FEP 前端控制服务程序、应用服务程序、客户端程序之间的通信, 采用 Windows 通信接口(Windows Communication Foundation, WCF)技术。WCF 是针对 ASMX, .NET Remoting, Enterprise Service, WSE, MSMQ 等技术的整合。不同的应用程序, 可采用最合适的协议与应用服务层通信。应用服务程序与客户端程序之间采用 .NET Remoting 技术(基于 TCP 通道), 通过 Silverlight 实现双向通信。各型号示波器按统一格式包装, 通过统一的上层接口调用来驱动不同硬件指令集和参数集的示波器^[4-8], 从而实现不同示波器底层控制模块的注册插入, 实现仪器相关的不同控制界面的插入。

3 系统软件功能说明

3.1 FEP 前端控制服务程序

FEP 前端控制服务程序是一个控制台应用程序, 用户可以通过输入命令来执行设备配置、管理、数据保存等功能。它会将配置的 FEP 远程控制对象宿主, 并激活配置的远程对象, 激活过程中会执行设备初始化工作, 完成之后客户端计算机就可直接通过 FEP 前端控制服务程序访问到其管理的设备, 服务后台会管理设备的连接工作, 如果设备掉线, 会主动请求设备重新连接, 如果设备支持重连, 则能够重新连接应用设备。FEP 前端控制服务程序界面如图 3 所示, 执行 config 命令调取 FEP 服务参数配置工具, 如图 4 所示, 即可进行 FEP 远程对象及设备添加等。

系统中要添加一台示波器, 必须经过 2 个步骤: 1) 添加注册设备; 2) 添加连接设备。由于各型号的示波器命令和参数集各不相同, 因此, 必须注册该类型的设备到 FEP 服务程序中。本系统采用 TCP VISA 格式的连接符, VISA 库是通过连接符区分各设备的, 因此添加连接设备主要是设置该示波器的连接符。

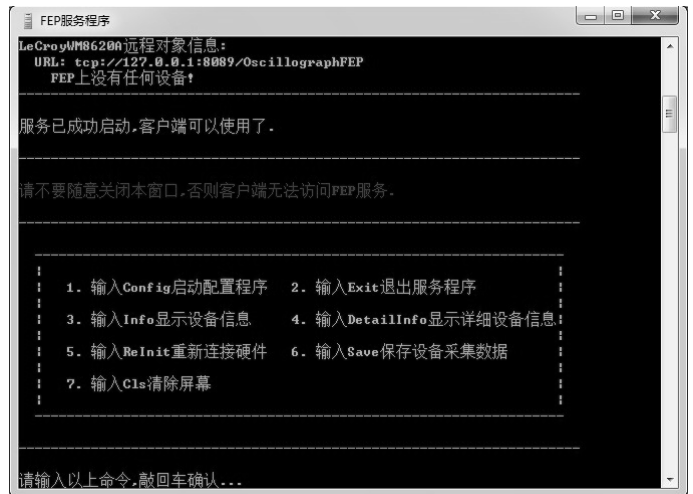


Fig.3 Console interface of the FEP service program
图 3 FEP 前端控制服务程序界面



Fig.4 FEP parameter configuration tool
图 4 FEP 服务参数配置工具

3.2 应用服务程序

应用服务层配置在 Web 服务器上, 为用户控制终端提供服务。在底层数据采集 FEP 和用户控制终端之间提供缓冲和用户权限服务, 保证数据采集的安全可靠。所有用户控制终端对底层 FEP 的操作请求, 经过 Web 服务器进行权限验证、操作合并后发往底层 FEP, 进行实际的硬件操作和状态检索。数据采集需要的 Web 页面程序驻留在 Web 服务器中, 供用户调用。

Web 服务器中的应用服务层主要包含文件访问服务和 WCF 服务中间层。

文件访问服务主要目的是在关闭文件共享服务环境下提供远程文件访问服务支持, 启动文件服务器后, 客户端计算机可以连接上文件服务器, 访问服务器上的文件以及写入文件, 文件服务器与客户端采用 .NET Remoting 技术进行连接。文件访问服务是一个控制台应用程序, 文件访问服务包含 3 个远程服务对象, 用于完成文件读取、文件写入, 以及目录服务功能。

WCF 服务中间层包含了设备访问服务、文件访问服务、网络通信服务等 WCF 服务中间层。

3.3 客户端

客户端(表示层)需要运行 Silverlight 安装包, 以便提供 Silverlight 运行时支持。程序窗口左边显示的是系统所有可用示波器, 窗口右半部分左上角显示的是客户当前分组操作的示波器。当前操作的示波器屏幕截图显示在窗口右半部分上边。示波器屏幕截图的获取与呈现, 给操作者带来强烈的真实感。

程序窗口下半部分,显示的是示波器主要参数设置按钮和系统功能按钮。在此区域,可以设置每一台示波器各通道的量程(垂直参数)、时基参数、触发模式等参数。可以按分组一次性完成示波器参数保存、设置、数据存储等功能。图 5、图 6 分别是客户端力科示波器控制界面和安捷伦示波器控制界面。

程序可以存储按照衰减器衰减系数进行校正后的波形数据文件。

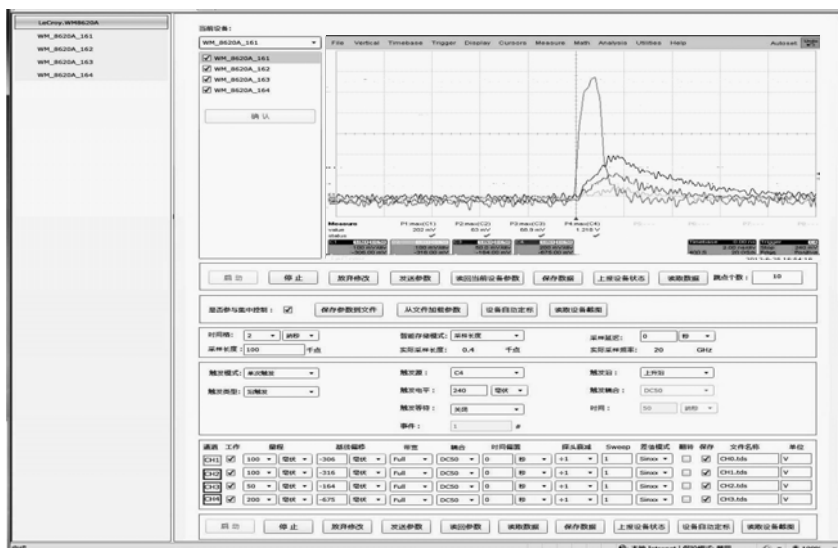


Fig.5 LeCroy oscilloscope control interface of the client program
图 5 客户端程序力科示波器控制界面

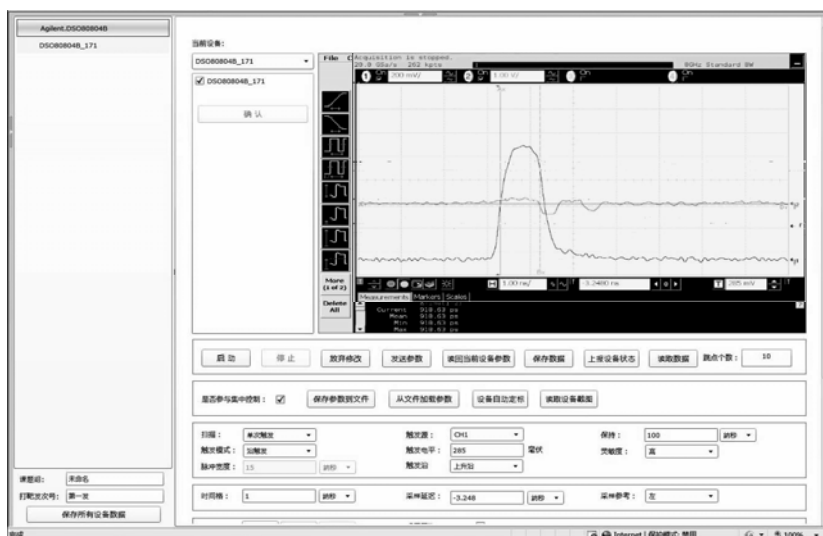


Fig.6 Agilent oscilloscope control interface of the client program
图 6 客户端程序安捷伦示波器控制界面

4 系统应用与结论

基于网络的数字化示波器远程集中控制软件平台实现了多个品牌、多个型号示波器在一个统一的界面中的集中控制、数据获取、示波器屏幕截图自动获取,提高了实验效率和数据存储速度。本系统主要优点表现在以下方面:1) 示波器参数群发群控,可以保存和载入配置文件,最大限度减少操作人员的动作次数,减少操作失误,提高了实验数据获取成功率;2) 示波器数据文件可一次性保存,不需要逐个通道保存数据文件;3) 自动保存多台示波器屏幕截图,较人工保存速度快且不易出错;4) 可以存储按照衰减器衰减系数进行校正后的波形数据文件;5) 示波器可分组操作;6) 较高效率的示波器通道通断控制,较少探头高压打火损坏示波器的几率;7) 基于网络的集中控制,减少了使用优盘等存储介质获取数据导致的病毒传播。

基于网络的数字化示波器远程集中控制软件平台不仅可以实现现有多品牌多型号数字化示波器集中控制和数据采集,而且具有灵活扩充能力,可以在不修改主程序的情况下,通过加入新型示波器驱动程序、控制插件而实现对新型示波器的控制。如果新加入的示波器完全兼容 VISA 协议,则以统一格式封装该示波器的命令集和参数集实现新的 FEP 前端控制服务程序,并在 FEP 前端控制服务程序中进行配置后,就可以加入系统中运行。经过多次实验室调试和物理实验调试,实际运行中对多台安捷伦示波器、泰克示波器、力科示波器进行了集中控制,验证示波器参数群发群控、参数文件保存、参数文件加载、示波器分组控制等功能,获得了正确的实验数据,现已在神光Ⅱ装置和神光Ⅲ原型等多个装置的实验中得到了应用。

参考文献:

- [1] Van Arsdaal P, Reed B, Bettenhausen R, et al. Integrated computer control system[R]. Livermore: Lawrence Livermore National Laboratory, 1997: 198-213.
- [2] 魏仲平, 姚导箭, 赵强, 等. 高功率激光装置集中控制系统关键技术[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2012, 10(2): 225-230. (GUO Zhong-ping, YAO Dao-jian, ZHAO Qiang, et al. Key technologies of integrated control system for high power laser facility[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2012, 10(2): 225-230.)
- [3] 路林吉, 李春森. 虚拟仪器技术概述[J]. 机电一体化, 1999(6): 12-14. (LU Lin-ji, LI Chun-sen. Review of virtual instrumentation technology[J]. Mechatronics, 1999(6): 12-14.)
- [4] 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. (LAI Biao, JIA Hui-qin. Research on the program-controlled method for oscilloscope based on VISA standard[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2011, 30(3): 41-43.)
- [5] Agilent Technologies. 80000B Programmer Reference[M]. [S.l]: Agilent Technologies, 2008.
- [6] LeCroy Corporation. LeCroy X-Stream Oscilloscopes Remote Control Manual[M]. [S.l]: LeCroy Corporation, 2005.
- [7] Tektronix Inc. MSO4000 and DPO4000 series digital phosphor oscilloscopes programmer manual[M]. [S.l]: Tektronix Inc., 2013.
- [8] Tektronix Inc. MSO/DPO5000, DPO7000/C, DPO70000/B/C, DSA70000/B/C, and MSO70000/C series digital oscilloscopes programmer manual[M]. [S.l]: Tektronix Inc, 2010.

作者简介:



苏春晓(1962-), 男, 山西省芮城县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为数据采集和计算机应用技术. email: mark__su@163.com.

王 鹏(1985-), 男, 四川省三台县人, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为计算机应用和集成控制技术.

杨存榜(1965-), 男, 四川省三台县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为核科学技术、自动化技术.

刘 巍(1976-), 男, 四川省仁寿县, 工程师, 主要研究方向为数据采集与集中控制系统开发.

郭 丰(1994-), 男, 辽宁省兴城市人, 工程师, 主要研究方向为数据采集与集中控制系统开发.

于瑞珍(1966-), 女, 山东省昌邑市人, 本科, 工程师, 主要研究方向为计算机应用与仪器控制技术.

刘诸桂(1984-), 男, 江西省永新县人, 工程师, 主要研究方向为数据采集与集中控制系统开发.