

# AMOLED 灰阶补偿算法研究

张磊<sup>1,2</sup> 梁监天<sup>1,3</sup> 张雷<sup>1,4</sup> 宗艳凤<sup>1,3</sup> 胡俊涛<sup>1,5</sup> 吕国强<sup>1,5</sup>

(1.合肥工业大学特种显示技术教育部重点实验室 特种显示技术国家工程实验室 现代显示技术

省部共建国家重点实验室 合肥 230009;2.合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009;

3.合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院 合肥 230009;4.中国第一汽车股份有限公司无限油泵油嘴  
研究所 无锡 214063;5.合肥工业大学光电技术研究院 合肥 230009)

**摘要:**为了解决一种小型 AMOLED 显示屏由灰阶丢失导致的图像变形问题,提出了一种 AMOLED 灰阶补偿算法。首先测试不同亮度下 AMOLED 显示灰阶时亮度变化的数据,然后依据测试数据建立亮度变化与灰阶丢失的映射关系,最后使用非线性灰阶压缩的方法对输入图像进行变换,补偿灰阶丢失引起的图像失真。通过软件仿真和硬件测试表明,该算法可以有效地补偿由于 AMOLED 亮度变化而无法正常显示的灰阶的问题,使图像能够正常显示。因此该算法可以保证小型 AMOLED 显示屏在不同亮度下工作时能够正常显示灰阶。

**关键词:** AMOLED;补偿;灰阶;FPGA

**中图分类号:** TN873<sup>+</sup>.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## AMOLED gray level compensation algorithm

Zhang Lei<sup>1,2</sup> Liang Jiantian<sup>1,3</sup> Zhang Lei<sup>1,4</sup> Zong Yanfeng<sup>1,3</sup> Hu Juntao<sup>1,5</sup> Lv Guoqiang<sup>1,5</sup>

(1. Key Lab of Special Display Technology, Ministry of Education, National Engineering Lab of Special Display Technology, National Key Lab of Advanced Display Technology, Academy of Opto-Electronic Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Department of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

3. Department of Instrument Science and Opto-electronic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

4. The Frist China Infinite Nozzle Research Co. Ltd., Wuxi 214063, China; 5. Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** To solve the problem of image deformation on the small AMOLED display, which caused by loss of gray level, a gray level compensation algorithm is proposed. First of all, test data of gray level display is acquired at different luminance. According to the test data, the mapping between brightness change and loss of gray level is established. Finally, using a nonlinear gray level compression method to process an input image, image distortion for loss of gray level is compensated. The software simulation and hardware test result show that the algorithm can effectively compensate abnormal display gray level because of AMOLED display brightness variation, and make it normal display. Therefore, the algorithm is enabling the small AMOLED display to display gray level properly at different brightness.

**Keywords:** AMOLED; compensation; gray level; FPGA enabling

## 1 引言

随着信息技术的高速发展,人们对作为信息输出终端的显示屏要求也越来越高。目前市场上的平板显示屏大多是液晶显示屏 LCD (liquid crystal display, LCD),普遍存在对比度较低、功耗偏大等缺点。AMOLED (active-matrix organic light-emitting diode, AMOLED)显

示屏是一种有源矩阵有机发光显示屏,其中 OLED (organic light-emitting diode, OLED)表明显示屏采用有机电激发光显示技术,AM(active-matrix, AM)表明显示屏采用主动寻址技术,每个像素皆可以连续且独立的驱动发光。这种显示屏具有高对比度、低能耗、大视角等特点<sup>[1-4]</sup>,将逐渐取代传统的 LCD、PDP 等技术成为便携式平板显示产品的主流。作为新型显示领军技术的

AMOLED 已在商用市场获得良好成绩<sup>[5-6]</sup>,并逐步向军用领域进军<sup>[7]</sup>。现有小型 AMOLED 产品的驱动系统设计大多是对 LCD 产品驱动方式的改造,未考虑 OLED 材料的发光特点,不能有效发挥其性能。因此产生了不同亮度下 OLED 像素对相同灰阶输入表现不同的发光特性,导致灰阶丢失使得显示画面出现变形的问题。本文测量了不同亮度下 AMOLED 显示屏灰阶显示变化的数据,在分析测试数据的基础上建立亮度变化与灰阶丢失的映射关系,提出了一种灰阶补偿算法,通过调节输入图像灰阶信号来补偿因亮度变化引起的灰阶丢失。

## 2 OLED 显示特性与灰阶丢失

OLED 显示器件<sup>[8]</sup>是一种利用载流子在电场作用下由正、负电极进入有机固体层复合而发光的现象制成的显示器件,与 LCD 相比,其材料具有核心层厚度薄、温度范围大、可视角度大、功耗低等优点。OLED 按驱动方式分为有源<sup>[9]</sup>(AMOLED)和无源<sup>[10]</sup>(PMOLED)两种。一般小型高分辨率、全彩色 OLED 显示屏大多采用 AMOLED 驱动。OLED 器件有多种方式可以实现不同等级灰阶显示,包括幅值控制法、空间灰度调制法和时间灰度调制法<sup>[11-13]</sup>。时间灰度调制法又分为帧调制和脉宽调制两种方法。脉宽调制方法是一种实现简单且广泛应用的灰阶控制方法。该方法通过调节数据信号脉宽,使用不同宽度表示不同等级的灰阶信息,从而可以使被选通的像素实现不同的灰阶显示。脉宽调制灰阶的等级会因 OLED 不能响应过窄的脉冲宽度而不能正常显示,导致显示图像失真。

一般小型 AMOLED 显示屏采用正负向电压供电,保持负电压不变时,通过改变正电压就可以实现 AMOLED 显示屏亮度的调节。正电压高时显示屏亮度高,反之正电压低时显示屏亮度低。但是当正电压较低时低等级灰阶的调制脉宽过窄,又因 OLED 不能响应过窄的脉冲宽度,而导致这些灰阶不能正常显示,引起灰阶丢失现象。比如在 4.3 寸 AMOLED 显示屏上显示一幅色条图,如图 1(a)所示,色条图分为 3 行分别为红色、绿色和蓝色灰阶。每行分为 10 列,最左侧色条的灰阶为 25 级,以 25 为步长依次向右递增,最右侧色条的灰阶为 250 级。图 1(b)为 4.4 V 正电压供电时 AMOLED 显示色条图的效果,可以看出最左侧的红色、绿色和蓝色 25 级灰阶都不能正常显示。图 1(c)为 5.2 V 正电压供电时 AMOLED 显示色条图的效果。可以看出位于显示器最左侧的 25 级灰阶都可以正常显示。所以 5.2 V 正电压供电时可以正常显示的灰阶,在正电压降为 4.4 V 时就无法显示了,这就导致了在正电压较低即显示屏亮度低时,AMOLED 显示图像的轮廓模糊变形,用户的主观感受下降。

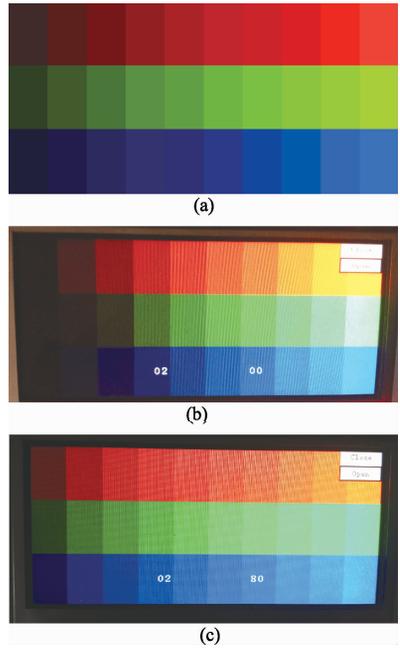


图 1 不同供电电压下 AMOLED 显示效果

## 3 OLED 灰阶补偿算法

### 3.1 灰阶特性测量

AMOLED 显示屏在不同的正电压供电下显示灰阶的特性有所差别,在进行显示补偿前需要测量红绿蓝(RGB)三色通道在不同正电压供电下的最低可分辨灰阶的变化情况。所谓最低可分辨灰阶是最大的不发光灰阶,本文定义灰阶亮度低于  $1\text{cd}/\text{m}^2$  时为不发光灰阶。RGB 三色通道的最低可分辨灰阶是随着电压改变而变化的。为了测量这样变化,首先需要搭建 AMOLED 显示屏驱动电路,且该电路可以调节供电电压。测试平台如图 2 所示。

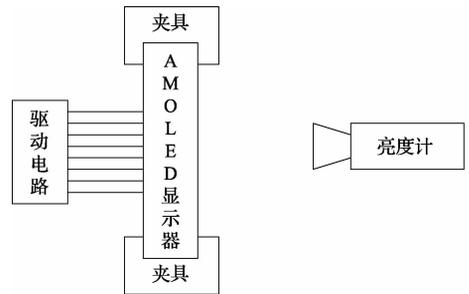


图 2 显示灰阶测试平台

测试平台由 AMOLED 显示屏、驱动电路、夹具和亮度计组成。由于 RGB 三色通道的灰阶特性各不相同,灰阶特性测试需要分 RGB 三色通道分别进行。以红色 R 通道测试为例,其测试步骤如下:

1) 控制驱动电路输出最大正电压, 使 AMOLED 显示屏达到最大亮度;

2) 按从 255 到 0 的顺序, 在 AMOLED 显示屏上依次输出不同灰阶的红色纯场图像;

3) 当 AMOLED 显示屏亮度小于  $1 \text{ cd/m}^2$  就认为此时的图像不可分辨。最低可分辨灰阶等于当前灰阶值加 1;

4) 控制驱动电路降低 AMOLED 显示屏的亮度, 重复 2) 到 3) 步, 获得不同亮度下的最低可分辨灰阶。

通过调节供电电压, 进行多次测量, 就可以确定 RGB 三色通道在不同亮度下的灰阶特性。依据 RGB 三色通道的灰阶特性, 可以确定在不同亮度下每个通道的最低可分辨灰阶变化情况如图 3 所示。

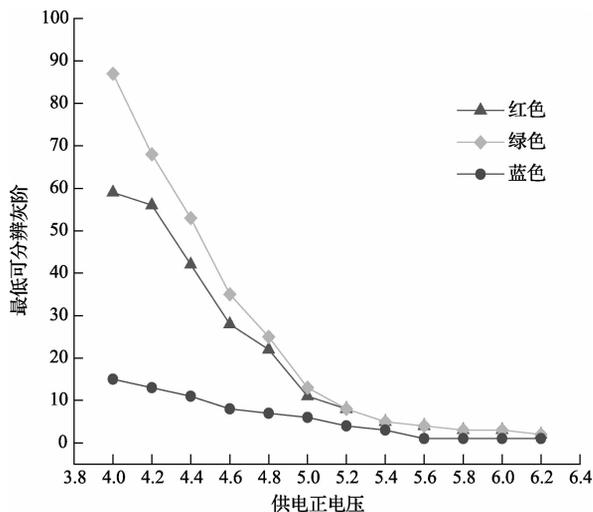


图 3 RGB 通道最低可分辨灰阶变化曲线

AMOLED 显示屏亮度按从低到高分 12 个等级, 对应从 4~6.2 V 的供电正电压, 每个等级间压差为 0.2 V。从图 3 可知, 在 AMOLED 显示屏供电正电压较低, 即亮度较低时 RGB 三色通道的最低可分辨灰阶比较高, 这就导致灰阶丢失现象发生, 引起显示图像变形。

### 3.2 灰阶映射算法

为解决灰阶丢失现象引发显示图像变形的问题, 依据最低可分辨灰阶变化情况的测量数据, 通过非线性灰阶压缩映射法可以实现对输入的图像数据进行灰阶丢失补偿<sup>[12]</sup>。

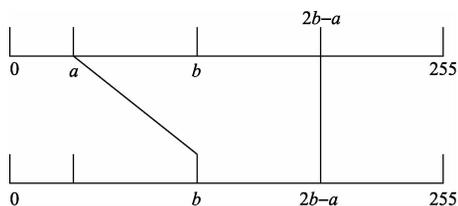


图 4 非线性灰阶压缩映射

灰阶值的范围是 0~255。当 AMOLED 显示屏亮度一定时, 如图 4 所示  $[a, b]$  灰阶段不能正常显示,  $a$  一般默认为 1, 而  $b$  为最低可分辨灰阶。为了解决这一问题, 将  $[a, b]$  灰阶段映射到可以正常显示的灰阶段就可以避免灰阶丢失现象。由于映射后灰阶等级减少, 所以需要进行压缩处理。输入的  $[a, 2b-a]$  灰阶段中每两级灰阶对应输出的  $[b, 2b-a]$  灰阶段的一级灰阶, 压缩比为 2:1。比如 AMOLED 工作在最低亮度时, 对于红色通道的  $[1, 59]$  灰阶段, 绿色通道的  $[1, 87]$  灰阶段和蓝色通道的  $[1, 15]$  灰阶段不能正常显示, 会出现灰阶丢失现象。通过映射将红色通道  $[1, 117]$  灰阶段变换到  $[59, 117]$  灰阶段, 压缩比为 2:1; 绿色通道  $[1, 173]$  灰阶段变换到  $[87, 173]$  灰阶段, 压缩比为 2:1; 蓝色 B 通道  $[1, 29]$  灰阶段变换到  $[15, 29]$  灰阶段, 压缩比为 2:1, 因此灰阶映射方程可以归结为式(1):

$$\begin{cases} R_{\text{out}} = (aR + R_{\text{in}}) / 2 + bR - aR & aR \leq R_{\text{in}} < bR \\ G_{\text{out}} = (aG + G_{\text{in}}) / 2 + bG - aG & aG \leq G_{\text{in}} < bG \\ B_{\text{out}} = (aB + B_{\text{in}}) / 2 + bB - aB & aB \leq B_{\text{in}} < bB \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $R_{\text{in}}, G_{\text{in}}$  和  $B_{\text{in}}$  是输入的 RGB 灰阶信号,  $R_{\text{out}}, G_{\text{out}}$  和  $B_{\text{out}}$  是输出的 RGB 灰阶信号,  $[aR, bR]$ 、 $[aG, bG]$  和  $[aB, bB]$  分别是 RGB 灰阶信号需要映射的灰阶段。  $aR, aG$  和  $aB$  一般默认取 1。  $bR, bG$  和  $bB$  的值依据亮度从最低可分辨灰阶变化曲线中选取。每种亮度对应一组灰阶映射方程。

## 4 软件仿真与硬件测试

使用 MATLAB 对上述显示灰阶补偿算法进行仿真, 通过灰阶映射公式处理输入图像数据以避免灰阶丢失现象。通过仿真可以确定在最小亮度下 RGB 三色通道的灰阶映射曲线, 如图 5 所示。从图中可以看出红色通道的灰阶映射曲线在  $[a, 2b-a]$  灰阶段,

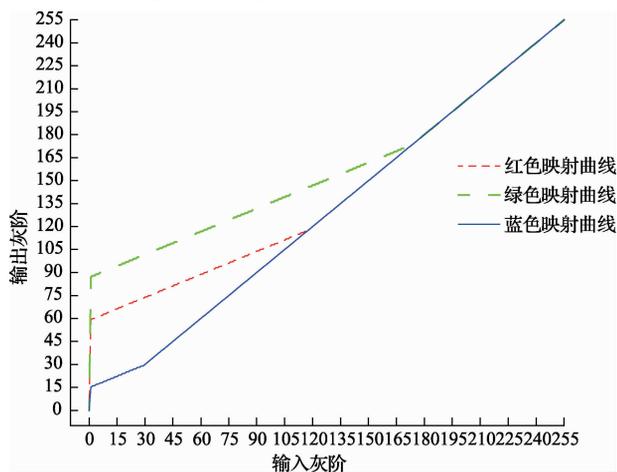


图 5 最小亮度下 RGB 通道灰阶映射曲线

输入图像数据是以 RGB 灰阶值的形式提供, RGB

即 $[1, 118]$ 输入灰阶段( $a = 1, b = 59$ ),有了明显的上升,这就使输入的灰阶映射后输出灰阶不会落在 $[1, 59]$ 灰阶段。这样将不发光的灰阶映射为可发光的灰阶信号,避免了在低亮度时输出不发光的灰阶信号,解决了 AMOLED 显示图像时出现的灰阶丢失问题。

算法处理效果仿真如图 6 所示。图 6(a)是原始图像,图 6(b)是灰阶丢失的图像, $[1, 90]$ 灰阶段不能正常发光导致图像中数字厚度变薄。图 6(c)是灰阶丢失补偿后的图像,将 $[1, 179]$ 灰阶段通过映射变为 $[90, 179]$ 灰阶段,从而将不发光的灰阶变为可显示的灰阶,保证了显示图像的完整性。

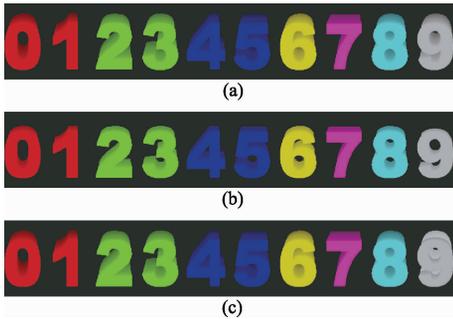


图 6 算法仿真效果

基于 Xilinx 公司 XC3S400 型 FPGA (field-programmable gate array, FPGA) 和 Microchip 公司的 PIC16F690 型 MCU (micro control unit, MCU) 开发了 AMOLED 显示器驱动电路<sup>[13]</sup>,支持显示器亮度调节,用于实现灰阶丢失补偿算法。驱动电路采用 MCU 加 FPGA 结构构成,如图 7 所示<sup>[14-15]</sup>。MCU 主要完成整机电源及串口通信控制,具有较强并行控制能力的 FPGA 负责对输入的 ITU-R BT. 656 标准格式的图像信号进行补偿处理<sup>[16-17]</sup>。AMOLED 显示屏采用奇晶光电的 P0430WQLB-T 型 4.3 寸显示屏。

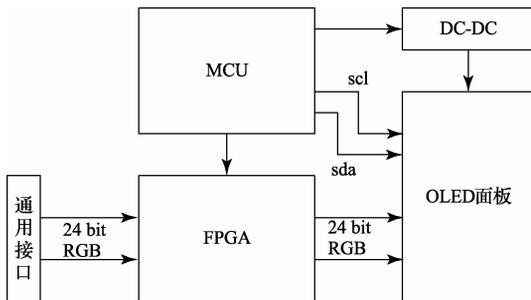


图 7 AMOLED 驱动电路

算法在驱动电路上运行的实际处理效果如图 8 所示。

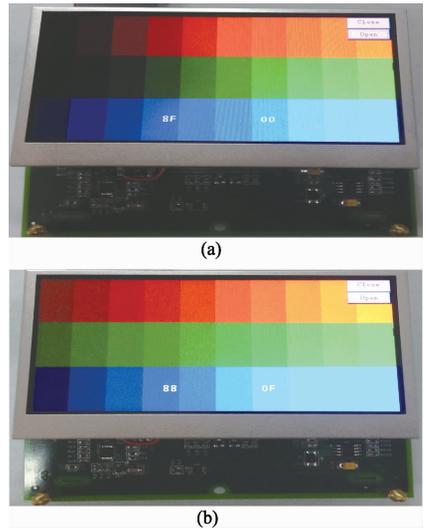


图 8 灰阶补偿对比

图 8(a)中没有使用灰阶补偿算法,这导致低亮度显示时出现灰阶丢失,在屏幕左侧红色的色带有两条没有显示,绿色的色带有三条没有显示而蓝色的色带有一条没有显示。图 8(b)中,在相同的亮度下使用灰阶补偿算法,则避免了灰阶丢失,红色、绿色和蓝色的色带均能正常显示。

## 5 结 论

为了解决一种小型 AMOLED 显示屏由灰阶丢失导致的图像变形问题,依据测试数据提出了一种基于非线性灰阶压缩映射的灰阶补偿算法。通过软件仿真验证了算法的效果,并设计了一款 AMOLED 显示屏驱动样机用于实现该算法。软硬件实验的结果表明,该算法可以有效地补偿由于 AMOLED 亮度变化而无法正常显示的灰阶,使其正常显示。因此该算法可以保证小型 AMOLED 显示屏在不同亮度下工作时能够正常显示灰阶。

## 参考文献

- [1] TANG C W, VANSLYKE S A. Organic electroluminescent diodes[J]. Applied Physics Letters, 1987, 51(12): 913-915.
- [2] TANG C W. Organic electroluminescent materials and devices[J]. Information Display, 1996, 12(10): 16-19.
- [3] HEEGER A J, LONG JR J. Optoelectronic devices fabricated from semiconducting polymers[J]. Optics and Photonics News, 1996, 7(8): 23-30.

- [4] GU G, FORREST S R. Design of flat-panel displays based on organic light-emitting devices[J]. IEEE J. Quantum Electron, 1998, 4(1): 83-99.
- [5] 赵长海, 万秋华, 孙莹. 光电轴角编码器的误码检测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(5): 463-468.
- [6] 邵作叶, 郑喜凤, 陈宇. 平板显示器中的 OLED[J]. 液晶与显示, 2005, 20(1): 52-56.
- [7] 甘元明, 李雯, 郭少文. 显示技术在军事领域的应用与发展[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(4): 29-30.
- [8] 郑华靖, 蒋泉, 杨刚. 平面结构式 OLED 全彩像素屏显示器件的研究[J]. 光电工程, 2011, 38(5): 40-45.
- [9] DAWSON R M A, SHEN Z, FURST D A, et al. A Poly-Si Active-Matrix OLED display with integrated drivers[J]. SID Int Symp Digest of Technical Papers, 1999, 26: 438-441.
- [10] KIJIMA Y, ASAI N, TAMURA S. RGB Luminescence form Passive-Matrix Organic LED's [J]. IEEE Trans. Electron Devices, 1997, 44(8): 1222-1228.
- [11] 付新虎, 郑喜凤, 丁铁夫. 在 FPGA 下实现灵活的 OLED 灰度控制[J]. 液晶与显示, 2006, 21(3): 260-264.
- [12] 张晓, 罗霄. 基于人眼视觉灰阶特性的红外图像映射显示研究[J]. 红外技术, 2008, 30(4): 225-229.
- [13] 胡斌强, 苏绍景, 王跃科. 一种新型仪器用液晶显示控制器芯片的设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(8): 1528-1531.
- [14] 张雷, 吴华夏, 胡俊涛, 等. 一种 OLED 显示参数温度自适应设计[J]. 光电工程, 2011, 38(2): 127-131.
- [15] 张雷, 吴华夏, 胡俊涛, 等. 一种基于 FPGA 的 OLED 显示系统[J]. 液晶与显示, 2011, 26(4): 538-543.
- [16] 郭永彩, 苏渝维, 高潮. 基于 FPGA 的红外图像实时采集系统设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(3): 514-519.
- [17] 彭宇, 姜红兰, 杨智明, 等. 基于 DSP 和 FPGA 的通用数字信号处理系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(1): 17-21.

## 作者简介

张磊, 1980 年出生, 博士研究生。主要研究方向为 LED 动态背光调光算法等。

E-mail: zhanglei8092@foxmail.com

(上接第 12 页)

考核结论: 标准偏差小于标准的扩展不确定度, 稳定性合格。

## 5 结 论

本系统是根据校准实验室计量工作的需要, 按照现行相应检定规程要求, 采用 VB6.0 软件环境开发的一套基于多功能校准器 5700A 的数字多用表自动化检定系统。其主要作用是对各种带 GPIB、RS232 或 USB 接口的多种型号数字多用表进行自动化操作, 完成对数字多用表各种参数的计量检定。本课题的研制成果已经在有关单位得到应用, 并取得很好的效果, 提高了数字多用表的计量检定能力。

## 参考文献

- [1] 李玮. 数字多用表自动检定/校准系统的设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [2] 陈明亮, 蔡卫平, 古建平. 基于 LabWindows 的数字多用表自动校准系统[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(11): 61-63.
- [3] 李笠, 朱庆科. 基于 LabVIEW 的数字多用表自动检定/校准系统设计[J]. 中国计量, 2013(1): 102-103.
- [4] 陈晓锋, 柳昂. 基于开放式仪器库的信号源检定系统设计[J]. 计量技术, 2014(12): 54-57.
- [5] 辜新宇, 郭际, 施韶华. 多通道精密时间间隔测量系统的研制[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(1): 69-75.
- [6] 刘昕, 方卫. 基于 Test on Demand 平台的弹上电缆自动测试系统的研制与设计实现[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(增刊 1): 67-71.
- [7] 叶川, 陈强, 刘晓勇. 基于多种仪器总线多通道示波器校准系统[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(7): 77-80.
- [8] 陈晓锋, 潘海飞. 基于频差倍增法的多通道铯原子频标检定系统[J]. 电子测量技术, 2013, 36(12): 1-3, 15.
- [9] 苏璠. 稳定性检验方法探讨[J]. 仪器仪表用户, 2011(2): 78-80.
- [10] 王浩伟, 陈振林, 程绍成. 数字多用表测量不确定度评定及其 LabVIEW 编程实现[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(7): 75-78.

## 作者简介

陈晓锋, 1974 年出生, 工学硕士, 工程师。主要研究方向为计量检定技术及质量管理。

E-mail: 19804292@qq.com