

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2023.02.15

基于视觉识别技术的手持式数字 万用表自动校准装置

侯毅, 柴艳丽, 王剑昆, 汤斌

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 为解决应用广泛的手持式数字万用表校准过度依赖人工的问题, 依据 JJF 1587-2016《数字多用表校准规范》, 设计了手持式数字万用表自动校准装置。该校准装置通过机电系统实现了手持式数字万用表的工位控制、功能、量程切换及运动控制; 通过视觉识别系统实现手持式数字万用表的数据读取; 结合校准软件实现了8工位连续全自动校准。经实验验证表明: 该装置提高了手持式数字万用表的校准工作效率, 能够满足手持式数字万用表的校准需求。

关键词: 手持式数字万用表; 视觉识别; 自动校准

中图分类号: TB9; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1674-5795(2023)02-0118-10

Automatic calibration system for handheld digital multimeter based on visual recognition technology

HOU Yi, CHAI Yanli, WANG Jiankun, TANG Bin

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: In order to solve the problem that the calibration of widely used handheld digital multimeters still relies on manual work, according to JJF 1587-2016 "Calibration Specification for Digital Multimeter", an automatic calibration device for hand-held digital multimeter is designed. The calibration device realizes the position control, function, range switching and motion control of the hand-held digital multimeter through the electromechanical system. The data reading of hand-held digital multimeter is realized through the visual recognition system. Combined with calibration software, 8-station continuous automatic calibration is realized. It is verified through test that the device improves the calibration efficiency of handheld digital multimeter and can meet the calibration requirements of handheld digital multimeter.

Key words: handheld digital multimeter; visual recognition; automatic calibration

0 引言

手持式数字万用表在各个行业使用广泛, 每年需要校准的数量众多。依据校准规范, 每台手

持式数字万用表一般需要校准的项目包括: 直流电压、交流电压、直流电流、交流电流和电阻等^[1], 每个校准项目需要校准多个量程, 一台手持式数字万用表多达上百个测量点^[2]。同时, 手

收稿日期: 2023-01-04; 修回日期: 2023-02-22

引用格式: 侯毅, 柴艳丽, 王剑昆, 等. 基于视觉识别技术的手持式数字万用表自动校准装置[J]. 计量技术, 2023, 43(2): 118-127.

Citation: HOU Y, CHAI Y L, WANG J K, et al. Automatic calibration system for handheld digital multimeter based on visual recognition technology[J]. Metrology & Measurement Technology, 2023, 43(2): 118-127.



手持式数字万用表通常不具备通讯接口,无法通过数据接口读取数据^[3]。目前,对这类仪表的校准主要依赖人工完成,工作量大,效率低。面对竞争激烈的计量校准市场,传统的校准方式很难满足客户的需求^[4]。

针对上述问题,研制了基于视觉识别技术的手持式数字万用表自动校准装置。该装置依据JJF 1587-2016《数字多用表校准规范》设计,可实现对手持式数字万用表的直流电压、直流电流、交流电压、交流电流和电阻等参数的自动校准^[5]。

1 自动校准装置组成

手持式数字万用表自动校准装置实物图如图1所示,组成如图2所示。自动校准装置主要由主控计算机、自动校准装置的机电系统、视觉识别系统、接线切换器、标准器5部分组成^[6]。校准软件

运行在主控计算机上,通过数据总线控制自动校准装置的机电系统、视觉识别系统、接线切换器,标准器按照预先设定好的校准流程自动工作。自动校准装置的机电系统由万用表工位控制机构、功能量程切换机构、运动控制机构3部分构成,主要用于实现万用表的装载、功能及量程切换以及装载机构、摄像头等的运动控制。最终实现8台万用表的自动工位轮转、装卡、摄像头及功能量程切换等机构的功能。高可靠性视觉识别系统通过摄像头识别万用表的测量数据。接线切换器主要用于实现自动校准过程中标准器与被校准万用表的连线切换,以便在切换电压、电阻和电流等校准项目时实现全自动化。依据JJF 1587-2016《数字多用表校准规范》,手持式数字万用表的校准方法采取标准源法^[7]。标准器选用FLUKE公司的5080A多功能校准器。



图1 自动校准装置实物图

Fig.1 Physical drawing of automatic calibration device

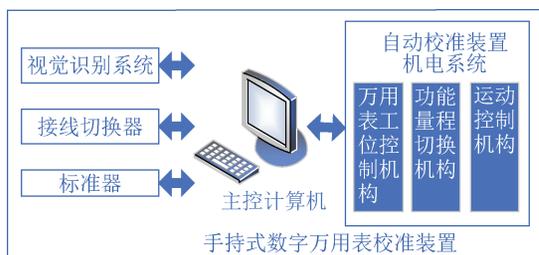


图2 手持式数字万用表自动校准装置组成图

Fig.2 Composition diagram of automatic calibration device for hand-held digital multimeter

2 自动校准装置的机电系统

万用表自动检测校准装置总体结构如图3所示,能够实现自动校准中自动更换被测设备、自动调节量程、为不同型号万用表提供稳定的校准工位、控制摄像设备准确地对准等功能。通过机电系统与视觉识别系统的良好配合,实现视觉识别读数、自动切换量程等功能,从而达到无需人

工干预，全自动计量校准的目的。

手持式数字万用表自动校准装置是一款8工位自动校准装置，其机电系统主要包括：由环形导轨和被校表夹持机构组成的万用表工位控制机构；由装有摄像头、旋钮拨动机构和按键按动机构组成的功能量程切换机构；能够带动功能量程切换机构进行移动定位的运动控制机构。环形轨道将装载了被校万用表的承载模组移动至校准工位，同时将已完成校准的万用表移出校准工位。万用表夹持机构用于将万用表对中定位并固定，对中定位保证了不同型号万用表的液晶屏、旋钮和功能选择按钮都能处于固定的已知位置，对万用表的固定作用是为了在按动按钮和拨动旋钮时万用表不会发生位移。运动控制机构可将其装载的摄像头、旋钮拨动机构和按键按动机构对准所要作用的对象。

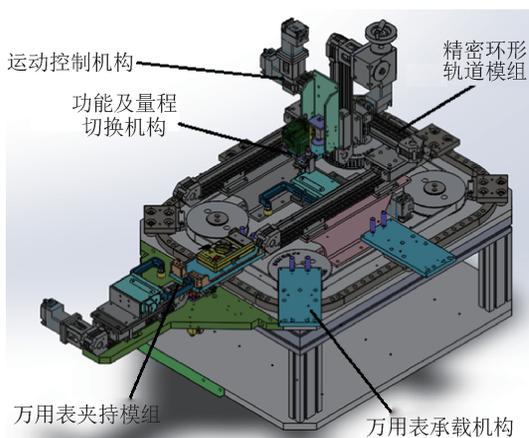


图3 万用表自动检测校准装置总体结构

Fig.3 General assembly of automatic detection and calibration device for multimeter

3 接线切换器

依据校准规范，采用的校准方法为标准源法^[8]。接线切换器用于在进行不同参数的校准过程中，对标准源和被校表万用表信号接线的程控切换，以实现电压、电阻和电流等参数的全自动校准^[9]。多能源、接线切换器和被校手持式数字万用表的连接方式如图4所示。

校准装置的标准源采用FLUKE公司的多能源5080A。根据标准器的输出技术指标及常用万用

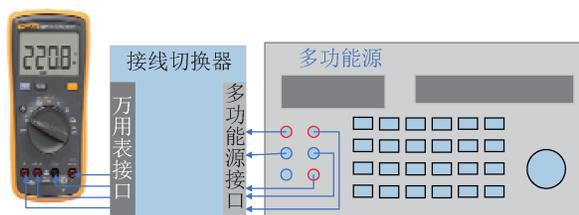


图4 接线切换器连接示意图

Fig.4 Connection diagram of wiring switch

表主要指标，切换器设计为：①标准信号输入端子：多能源接口；②标准信号输出端子：手持式数字万用表接口；③仪器控制接口：USB（USB_B插座），USB扩展接口3个（USB_A插座），RS232接口1个。

接线切换器组成如图5所示，采用意法半导体公司生产的STM32F427VGT6芯片作为微处理器，集成了USB总线控制器，具有1024 k字节FLASH和128 k字节SRAM，内部时钟最高频率为180 MHz。通信接口采用USB总线。切换电路根据信号的特性选用相应的继电器，由微处理器控制实现对校准信号的切换。



图5 接线切换器组成

Fig.5 Composition of wiring switch

4 视觉识别系统

由于采用视觉识别技术获取万用表的测量数据，根据量值溯源的准确性要求，出具的校准证书中任何一个量值的错误都是不可接受的。因此研究具有高可靠性的视觉识别技术在整套自动校

准装置中尤为重要^[10]。

智能相机采集的图像为彩色图像，经过灰度处理后得到灰度图像，图像处理的过程包括图像裁剪、高斯模糊化处理、直方图均衡化、自适应阈值二值化、腐蚀膨胀、字符分割、轮廓提取、数字识别^[11]。其中数字识别主要对7段数码管的每个部分进行识别，7段数码管示意图如图6所示。

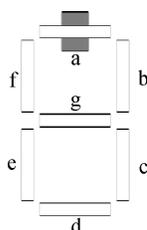


图6 7段数码管示意图

Fig.6 Schematic diagram of seven-segment nixie tube

被校准万用表数字显示7段数码管有7个部分，分别为a, b, c, d, e, f, g，对7个部分进行识别。由于图像大小固定，每个校准量程的数字显示位数等数字位置固定，通过图像分割将万用表显示屏图像进行分割后得到单个数字。分割后除了数字“1”以外的数字大小固定，数字“1”图像可根据分割图像的大小向左侧取固定像素位置确定分割图像。根据分割图像，对每个数码管a, b, c, d, e, f, g的位置划定区域，图中给出a段划定区域，检测、统计区域内白色像素点个数，若此个数超过设定阈值，则认为此处被校测数码管存在。依次完成每个数码段的检测，根据七段(a, b, c, d, e, f, g)检测的结果可以确定被校测图像的数值，依次对每个分割图像进行检测，确定每个数字，将所有分割图像检测结果依次进行排序可得到被校准万用表显示屏的显示数字。

4.1 图像模板识别技术

采用图像模板识别的方式实现7段字符及量程等的识别。采用模板识别技术的最大特点是其识别过程由算法逻辑控制，输出结果非常确定，这在计量过程中非常重要。

模板识别技术的中心思想是在图像矩阵的指定区域里（模板区域内）计算所有像素的平均灰度值，根据该计算值判断该区域是亮或灭。并根据多个区域的亮灭结果判断一个7段字符所显示的

数字，在出现断笔画和污渍遮挡等情况时，也能识别出是一个非法字符。对极性符号、小数点、量程和测量功能等的识别方式也大致相同。

4.1.1 模板建立

模板识别技术中的模板需要覆盖所有识别区域，同时还要考虑到今后维护和升级的简便性。由于不同型号的万用表的显示屏不尽相同，因此每一个型号的万用表需要建立自己的识别模板。

根据识别的方式不同，将模板分为两类：字符模板和其他符号模板。

4.1.2 字符模板

图7所示为7段数码管倾斜和垂直示意图，左侧为倾斜字符，右侧为垂直字符（无倾斜）。7段字符识别过程通过对字符包含笔画的亮灭识别判断其所表示的字符。在字符模板中，仅定义了最右侧字符左上角的水平笔画（笔画a）和垂直笔画（笔画f）的识别区域。而字符中的其他笔画（笔画b, c, d, e和g），以及其他字符中的笔画识别区域是通过水平笔画进行平移，和对垂直笔画进行仿射变换获得的。对于不同型号的万用表，水平笔画均没有倾斜，而垂直笔画则有些型号有倾斜，有些型号没倾斜。

为了能够通过仿射变换获得其他笔画的识别区域，字符模板中还包括字符倾斜角度、笔画水平间距、笔画垂直间距和字符间距。同时为了适应各种不同型号的万用表，字符模板中还包括了首字符最大数值和最大识别位数这两个数据。

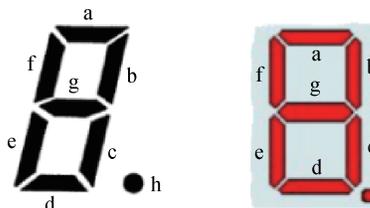


图7 7段数码管倾斜和垂直示意图

Fig.7 Schematic diagram of seven-segment nixie tube tilt and vertical character

考虑到识别区域由矩形（无倾斜）或平行四边形（有倾斜）组成，识别区域（不论是否倾斜）由区域的左上角坐标（ x 和 y ）结合区域的宽（ w ）和高（ h ），以及倾斜角度（ s ）定义。这样的定义

方法最大限度地减少了定义区域所需的数值，并且不论区域是否倾斜，宽和高的数值在矩阵计算时是不变的，仅需根据倾斜角度计算出每一行的列偏移量即可。在仿射变换时仅需对区域的左上角坐标 (x, y) 进行计算。

7段数码管字符模板如图8所示。



图8 7段数码管字符模板

Fig.8 Seven-segment nixie tube character template

设水平笔画的左上角坐标 (H_x, H_y) ；水平笔画的宽和高分别为 H_w 和 H_h ；垂直笔画的左上角坐标 (V_x, V_y) ；垂直笔画的宽和高分别为 V_w 和 V_h ；字符倾斜角度为 s ；水平笔画的垂直间距为 H_i ，垂直笔画的水平间距为 V_i ；字符间距为 C_i ，笔画所属字符代表的位数（以10的 n 次幂表示）为 n 。不同笔画左上角坐标 (x, y) 的计算方法如下：

对于字符 n 笔画 a 的左上角坐标 A_x 和 A_y 的计算公式为

$$A_x = H_x - C_i \cdot n \quad (1)$$

$$A_y = H_y \quad (2)$$

对于字符 n 笔画 b 的左上角坐标 B_x 和 B_y 的计算公式为

$$B_x = V_x + V_i - C_i \cdot n \quad (3)$$

$$B_y = H_y \quad (4)$$

对于字符 n 笔画 c 的左上角坐标 C_x 和 C_y 的计算公式为

$$C_x = V_x + V_i - C_i \cdot n - H_i \cdot \text{tg}(s) \quad (5)$$

$$C_y = V_y + H_i \quad (6)$$

对于字符 n 笔画 d 的左上角坐标 D_x 和 D_y 的计算公式为

$$D_x = H_x - C_i \times n - 2H_i \cdot \text{tg}(s) \quad (7)$$

$$D_y = H_y + 2H_i \quad (8)$$

对于字符 n 笔画 e 的左上角坐标 E_x 和 E_y 的计

算公式为

$$E_x = V_x - C_i \cdot n - H_i \cdot \text{tg}(s) \quad (9)$$

$$E_y = V_y + H_i \quad (10)$$

对于字符 n 笔画 f 的左上角坐标 F_x 和 F_y 的计算公式为

$$F_x = V_x - C_i \cdot n \quad (11)$$

$$F_y = V_y \quad (12)$$

对于字符 n 笔画 g 的左上角坐标 G_x 和 G_y 的计算公式为

$$G_x = H_x - C_i \cdot n - H_i \cdot \text{tg}(s) \quad (13)$$

$$G_y = H_y + H_i \quad (14)$$

4.1.3 小数点识别区域的计算

实际上小数点是包含在7段字符之内的（所以也称作8段显示），自动校准装置对小数点识别区域的定义与笔画识别区域的定义相同，仅定义了最右侧的小数点的区域，其他小数点通过平移计算获得识别区域。但需要注意的是，最右侧字符是最后一位数字，其右侧没有小数点；故定义的小数点识别区域为最右侧字符的左侧。

设最右侧小数点的左上角坐标为 x 和 y ，宽为 w ，高为 h 。对于字符 n ($n \geq 1$) 的小数点左上角坐标 Dot_x 和 Dot_y ，计算公式为

$$Dot_x = x - (C_i \cdot (n - 1)) \quad (15)$$

$$Dot_y = y \quad (16)$$

4.1.4 其他符号模板

其他符号的识别模板相对比较简单。需要注意的是识别区域应尽量只包含被识别的符号，这样可以提高被识别符号的有效像素比。

4.1.5 亮灭判断阈值

模板识别的基本原理是根据被识别区域的亮灭识别符号和字符。因此，亮灭判断阈值作为亮灭判断的依据，也是识别所需的重要参数。

字符中笔画的识别区域内所有像素均为有效像素，所以所有笔画的亮灭判断阈值相同且数值较小（黑色像素灰度值为0，白色像素灰度值为255）。同样，小数点和极性符号的识别区域内所有像素也均为有效像素，因此小数点和极性符号的亮灭判断采用字符亮灭判断阈值。

4.2 功能和量程识别

自动量程被校设备需要在校准时设置为固定

量程,因此需要识别当前量程。对于需要通过按键设置交流和直流功能的被校设备(如Fluke 15B),还需要能够识别当前是交流测量还是直流测量。识别的方式是对指定区域的图像计算平均灰度值(Average Gray Value, AGV),当AGV小于指定阈值则认为该项显示为暗,否则为亮。

功能的识别仅包含AC字符识别,量程识别包括小数点识别和单位字符识别,小数点识别不需要单独制作模板,其他的符号识别需制作模板。

功能和量程识别由控件完成,查询当前量程按功能划分,分为电压量程、电流量程和电阻量程。量程的表示由两部分组成,前面一部分是小数点位数,取值为0, 1, 2, 3和4,表示小数点右侧有几位数字,0表示没有小数点;后面一部分是单位字符,由单位词头和单位名称构成,单位词头分别为M(兆)、k(千)、m(毫)和 μ (微),可以为空,此时表示基本单位V, A或 Ω 。

4.3 摄像头照明系统设计

万用表显示信息读取准确与否的基础在于良好的摄像头图像,清晰的图像更利于后续的功能量程、数据等字符信息的识别和处理,而万用表的屏幕外有一层透明的塑胶(或者玻璃)罩,在不同光线条件下使用摄像头拍摄的图像会有不同的明暗以及反光等现象(如图9所示),不利于获取清晰的图像。

由图9可见,在光线过暗或过亮时,摄像头拍摄的图像已经有部分区域无法分辨了,而当屏幕反光时,即使像素再高的摄像头也无法得到正确的万用表读数。针对上述问题在合适的位置设计照明结构,并通过摄像头参数设置和自动处理光照亮度。室内照明光不能保证被校设备的照度保持一致,外部阳光变化和室内人员走动都会影响到被校设备上的光线,从而导致图像的平均灰度发生变化,给识别带来不确定性。因此,设计自动校准装置时采用自带照明光源的方案。照明光源采用2个平面光源,在液晶屏的上、下2个方向以一定的角度将光线投射到液晶屏上。采用上、下2个光源是为了尽量保证液晶屏上、下亮度一致,倾斜照射是为了避免液晶屏上的玻璃将光线



(a) 暗光源下摄像头图像
(a) Camera image under dark light source



(b) 亮光源下摄像头图像
(b) Camera image under bright light source

图9 不同光线下的摄像头图像

Fig.9 Camera images under different lighting conditions

直接反射到摄像头。上、下两侧的光源固定装置也起到遮挡自然光的作用,使得液晶屏上的主要光线来自此自动校准装置自带的照明光源。

5 校准软件

软件设计包括对软件的基本结构、开发平台和主要采用的技术的设计,对各主要模块的需求描述及关键问题的解决方案^[12]。

校准软件作为手持式万用表自动校准装置的主要组成部分,实现对整个校准装置各个机械结构的控制功能、对万用表进行自动校准的功能以及数据管理,包括对电机和位移机构的控制、用户权限管理、校准流程管理、标准设备的控制、视觉识别、测试结果的处理和报表的生成等^[13]。

万用表校准流程如图10所示,可以选择单台校准,也可以连续自动完成工位上全部万用表的校准,其中涉及到万用表单台校准、万用表多台连续校准、每个校准项的流程,以及工位转动、型号识别、被校表固定、字符识别、按钮选择量程等各个软件控制功能。

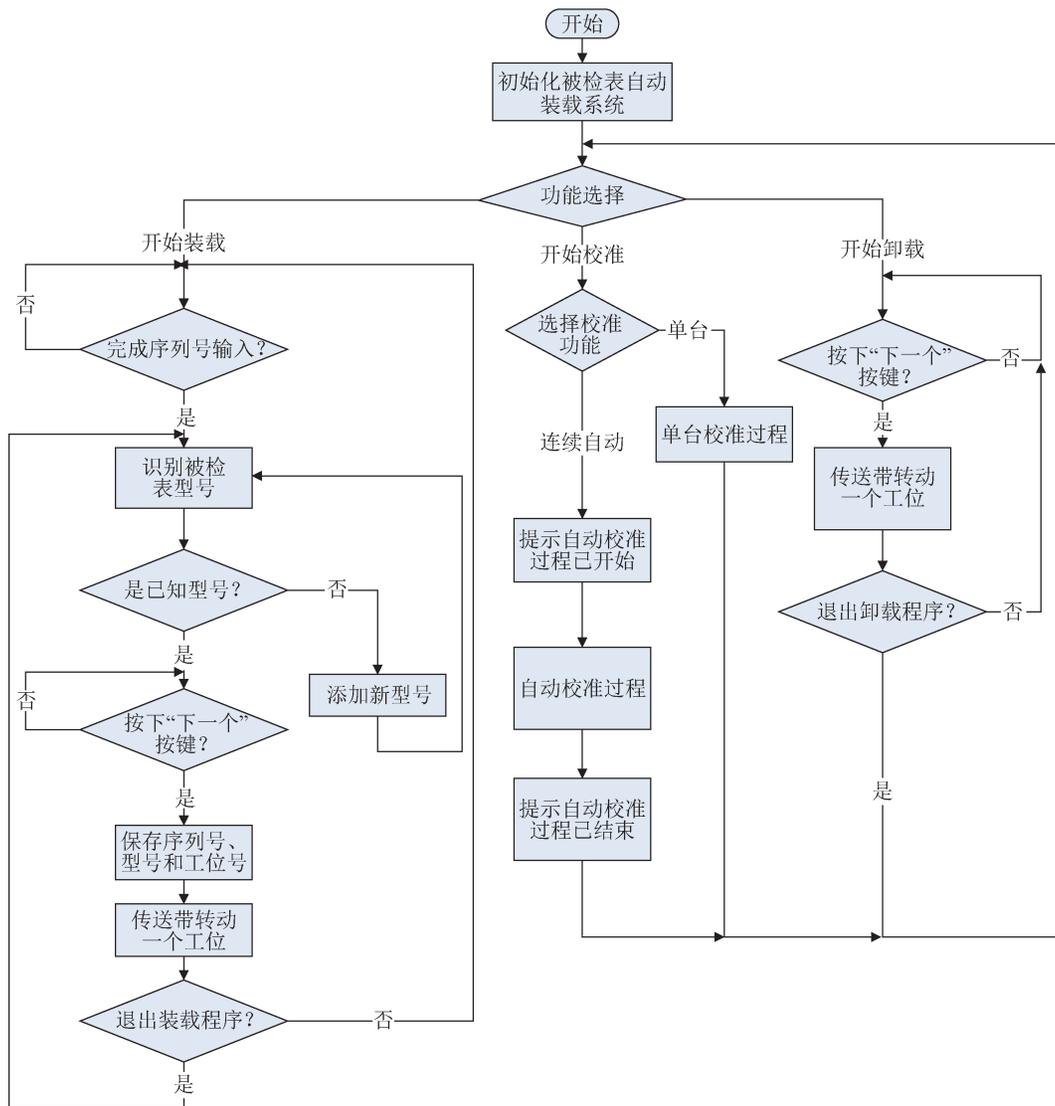


图10 万用表自动校准流程图

Fig.10 Flow chart of automatic calibration of multimeter

6 实验验证

对10种不同型号的万用表进行校准验证实验，校准装置的单台万用表校准工作时间如表1所示。校准装置单台万用表的校准时间在20 min左右，相较之前单台人工校准30 min的工作时间明显降低，并且校准时无需人工操作，极大提高了工作效率。

以FLUKE15B为例，其校准结果（部分数据）如表2所示^[14-15]。可以看出，校准装置能够满足JJF 1587-2016《数字多用表校准规范》中万用表校准项目、校准量程范围、校准数据处理等要求，能够自动生成校准证书。

表1 万用表校准工作时间测试数据表

Tab.1 Multimeter calibration working time test data sheet

万用表型号	校准工作时间
FLUKE 15B	20 min 15 s
FLUKE 15B+	20 min 44 s
FLUKE 17B	21 min 38 s
FLUKE 115C	20 min 05 s
FLUKE 17B+	21 min 26 s
FLUKE 179C	21 min 03 s
VC890C+	20 min 44 s
FLUKE 117C	21 min 49 s
UT39A	19 min 18 s
UT58E	22 min 31 s

表2 FLUKE15B型数字万用表校准数据(部分)
Tab.2 Calibration data of FLUKE15B digital multimeter (partial)

1 直流电压 DCV						单位:见量程所示
量程	标准值	下限值	显示值	上限值	不确定度 $U(k=2)$	
	0.400	0.395	0.399	0.405	0.001	
4 V	3.900	3.878	3.892	3.923	0.006	
	-3.900	-3.923	-3.892	-3.878	0.005	
2 交流电压 ACV						单位:见量程所示
量程	频率	标准值	下限值	显示值	上限值	不确定度 $U(k=2)$
40 V	60 Hz	4.00	3.93	3.98	4.07	0.01
		39.00	38.58	38.97	39.42	0.08
	400 Hz	4.00	3.93	3.98	4.07	0.01
		39.00	38.58	38.99	39.42	0.08
3 直流电流 DCI						单位:见量程所示
量程	标准值	下限值	显示值	上限值	不确定度 $U(k=2)$	
4 A	0.400	0.391	0.398	0.409	0.002	
	3.900	3.839	3.888	3.962	0.012	
	-3.900	-3.962	-3.889	-3.839	0.012	
4 交流电流 ACI						单位:见量程所示
量程	频率	标准值	下限值	显示值	上限值	不确定度 $U(k=2)$
10 A	60 Hz	1.00	0.96	0.99	1.05	0.01
		9.90	9.72	9.86	10.08	0.04
	400 Hz	1.00	0.96	0.98	1.05	0.01
		9.90	9.72	9.87	10.08	0.04
5 电阻 OHM						单位:见量程所示
量程	标准值	下限值	显示值	上限值	不确定度 $U(k=2)$	
400 Ω	100.0	99.2	100.7	100.8	0.2	
4 k Ω	1.000	0.993	0.999	1.007	0.001	
40 k Ω	10.00	9.93	10.00	10.07	0.01	
400 k Ω	100.0	99.3	99.9	100.7	0.1	
4 M Ω	1.000	0.993	1.000	1.007	0.001	
40 M Ω	10.00	9.82	10.00	10.18	0.04	

7 结束语

针对手持式数字万用表校准过程中工作量大、人工操作效率低等问题,研制了基于视觉识别技术的手持式数字万用表自动校准装置。该装置依据 JJF 1587-2016《数字多用表校准规范》设计,兼容目前常见的手持式数字万用表型号;能够实现量程切换、视觉识别测量数据、标准器控制等全自动校准流程;同时能够按照模板自动生成原始记录和校准证书。通过实验验证,该校准装置实现了同时自动校准8台手持式数字万用表的功能,校准期间不需要人工干预,极大地节省了人力,提升了效率,具有较高的技术应用价值和市场推广前景。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. 数字多用表校准规范: JJF 1587-2016[S]. 北京: 中国质检出版社, 2016.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Calibration specification of digital multimeter: JJF 1587-2016 [S] Beijing: China Quality Inspection Press, 2016. (in Chinese)
- [2] 朱斌, 程聪, 黄丽丽. 数字万用表自动检定系统设计[J]. 电工技术, 2022 (17): 125-127.
ZHU B, CHENG C, HUANG L L. Design of automatic verification system for digital multimeter [J]. Lectrotechnical, 2022 (17): 125-127. (in Chinese)
- [3] 康婷婷, 张磊, 王跃佟, 等. 手持式数字多用表自动校准装置的研制[J]. 计量学报, 2019, 40 (1): 107-110.
KANG T T, ZHANG L, WANG Y T, et al. Development of automatic calibration device for hand-held digital multimeter [J]. Journal of Metrology, 2019, 40 (1): 107-110. (in Chinese)
- [4] 王三强, 刘献成, 梁星, 等. 手持式数字多用表的校准方法研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55 (23): 142-145.
WANG S Q, LIU X C, LIANG X, et al. Study on the calibration method of hand-held digital multimeter [J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2018, 55 (23): 142-145. (in Chinese)
- [5] 高远征, 尤海鹏, 宋青. JJF 1587-2016 使用中的建议[J]. 中国计量, 2022 (1): 128.
GAO Y Z, YOU H P, SONG Q. JJF 1587-2016 suggestions in use [J]. China Metrology, 2022(1): 128. (in Chinese)
- [6] 罗政元, 行江, 陆强. 基于图像识别的数字万用表自动校准方法[J]. 宇航计测技术, 2016, 36 (5): 28-31.
LUO Z Y, XING J, LU Q. Automatic test method of digital multimeter based on image recognition [J]. Aerospace Measurement Technology, 2016, 36(5): 28-31. (in Chinese)
- [7] 黄新乐, 周开喜, 温世仁. 一种数字多用表多功能校准平台设计[J]. 计测技术, 2018, 38 (1): 28-30.
HUANG X L, ZHOU K X, WEN S R. Design of a multi-functional calibration platform for digital multimeter [J]. Metrology & Measurement Technology, 2018, 38 (1): 28-30. (in Chinese)
- [8] 马青亮, 任明珠, 李海龙. 基于图像识别的数字多用表自动校准系统开发[J]. 计量与测试技术, 2021, 48 (6): 35-37, 40.
MA Q L, REN M Z, LI H L. Development of digital multimeter automatic calibration system based on image recognition [J]. Metrology and Test Technology, 2021, 48 (6): 35-37, 40. (in Chinese)
- [9] 曹银银, 王宏维, 孙菡, 等. 基于 GPIB 总线的数字多用表自动测试系统[J]. 计测技术, 2016, 36 (1): 229-231.
CAO Y Y, WANG H W, SUN H, et al. Digital multimeter automatic test system based on GPIB bus [J]. Metrology & Measurement Technology, 2016, 36(1): 229-231. (in Chinese)
- [10] 王凯, 刘卓, 孟宪哲, 等. 数字指示秤 LCD 显示屏数字识别方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2021, 31 (4): 74-79.
WANG K, LIU Z, MENG X Z, et al. Research on digital identification method of digital indicator scale LCD screen [J]. Computer Technology and Development, 2021, 31 (4): 74-79. (in Chinese)
- [11] 徐伟. LCD 外观缺陷检测与识别系统设计[D]. 四川: 电子科技大学, 2013.
XU W. Design of LCD appearance defect detection and identification system [D]. Sichuan: University of Electronic Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [12] 陈尚义, 陈华, 袁华四. 数字多用表自动检定/校准软件设计方案及操作流程[J]. 计测技术, 2015, 35 (1): 183-184.
CHEN S Y, CHEN H, YUAN H S. Design scheme and operation process of digital multimeter automatic verification/calibration software [J]. Metrology & Measurement Technology, 2015, 35(1): 183-184. (in Chinese)
- [13] 庆增宏, 尤泽龙. 数字多用表自动校准程序设计[J]. 计量技术, 2020 (3): 49-53.
QING Z H, YOU Z L. Automatic calibration program design of digital multimeter [J]. Metrology and Measurement Technology, 2020(3): 49-53. (in Chinese)

- [14] 刘佳, 齐邦明, 柴俭, 等. 数字多用表的自动测试与测量不确定度评估[J]. 计测技术, 2017, 37 (1): 283-285.

LIU J, QI B M, CHAI J, et al. Automatic test of digital multimeter and evaluation of measurement uncertainty [J]. Metrology & Measurement Technology, 2017, 37(1): 283-285. (in Chinese)

- [15] 韩光, 于丽娟, 王玲, 等. 一种数字多用表标准装置的不确定度评定[J]. 计测技术, 2016, 36 (1): 245-246.

HANG, YULJ, WANG L, et al. Uncertainty evaluation of a digital multimeter standard device[J]. Metrology & Measurement Technology, 2016, 36 (1): 245-246. (in Chinese)

(本文编辑:田艳玲)



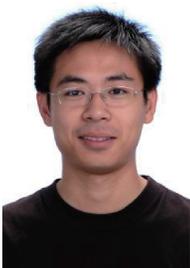
第一作者: 侯毅 (1978—), 男, 高级工程师, 长期从事电学计量相关课题研究和校准装置研制工作。主持或参与了多项飞机供电特性课题, 主持研制了多项自动化测试校准装置。



作者简介: 柴艳丽 (1984—), 女, 高级工程师, 长期从事电学计量及飞机供电特性测试与校准方法研究, 参与多项电学自动校准、飞机供电特性课题研究。



作者简介: 王剑昆 (1959—), 高级工程师, 长期从事电学计量及计量校准装置研制工作, 主持或参与了多项计量自动化校准装置研制。



作者简介: 汤斌(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事大型试验系统综合计量校准, 以及计量测试辅助装置方面的研究。