

基于操作者框架声级计电性能自动检定系统设计*

叶俊浩¹ 王 英¹ 桑帅军² 裘剑敏² 张志凯²

(1.浙江理工大学 机械与自动控制学院 杭州 310018; 2.浙江省计量科学研究院 杭州 310018)

摘 要: 针对声级计人工检定存在工作效率低、数据处理繁琐、人为误差干扰等问题,提出一种声级计电性能自动检定系统。该系统以多串口工控机为控制核心,利用 LabVIEW 操作者框架,应用面向对象技术,构建硬件虚拟层、测试虚拟层完成对检定过程、检定指标、标准仪器设备和被检声级计的封装,通过封装完成的“类”搭建各功能模块,实现在声级计检定工作中仪器的自动控制、数据采集、数据分析处理、原始数据记录报告生成等自动化检定工作。经过多次试验,系统工作稳定,能够自动完成声级计全部检定项目,与传统人工作业检定结果比对一致,检定消耗时间缩短为原来的一半,可检定声级计频率范围 1 Hz~200 kHz,声压级动态范围 110 dB。

关键词: 计量学;自动检定;声级计;LabVIEW;操作者框架

中图分类号: TB52 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

Design of automatic verification system for electrical performance sound level meters based on actor framework

Ye Junhao¹ Wang Ying¹ Sang Shuaijun² Qiu Jianmin² Zhang Zhikai²

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2.Zhejiang Institute of Metrology, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency, complicated data processing and human error interference in the manual verification of sound level meter, an automatic verification system for the electrical performance of sound level meter is proposed. The system taking multi serial port industrial computer as the control core, use LabVIEW actor framework and object-oriented technology, the HAL and MAL are constructed to complete the packaging of verification process, verification index, standard instrument and equipment, and the sound level meter to be tested. Each functional module is built through the "class" to realize the automatic control of instrument, data acquisition, data analysis and processing, and original data recording in the verification of sound level meter record and other automatic verification work. After many tests, the system works stably, and can automatically complete all the verification items of the sound level meter, which is consistent with the traditional manual verification results. The verification time is reduced to half of the original, and the frequency range of the sound level meter is 1 Hz~200 kHz, and the dynamic range of sound pressure level is 110 dB.

Keywords: metrology; automatic verification; sound level meters; LabVIEW; actor framework

0 引 言

声级计作为测量和评估噪声水平的最常见的仪器使用场所广泛,因此国家将其列入强制检定的范围之内^[1]。声级计的检定工作依据国家颁布的 JJG 188-2017《声级计检定规程》^[2]进行,检定过程复杂,传统人工检定时仪器操作步骤繁琐,检定结果数据处理费时费力,且要求检定人员有较高的专业素养,随着声级计应用范围愈加广泛,计量院传

统人工检定方式已经很难应付,因此本文设计了一套声级计自动检定系统,以减轻检定人员的工作量,提高检定效率和准确度。现有自动检定方法例如:北京化工大学的孙庆生^[3]开发了一种基于 PXI 总线技术的声级计自动检定系统,该系统使用的图像识别技术读取声级计响应,但只能针对固定型号的声级计,且识别过程受外部因素影响大,更换声级计型号则又要重新架设图像识别系统,可扩展性差。华南理工大学何卓斌^[4]设计的一套基于 LabVIEW 的声级

收稿日期:2021-02-23

* 基金项目:浙江省市场监督管理局一般科研项目(20190305)资助

计检定系统,虽然不需要检测员在手动的操作信号发生器,但是还是需要人工进行读数以及操作声级计,检测员用肉眼观察很容易出现错误,该系统只是将繁琐的按键简化,并没有真正的达到自动化。

综上所述,现有的声级计的自动检定系统还不能满足计量部分日常工作的需求,本文基于 LabVIEW 操作者框架设计声级计自动检定系统,使其完成标准设备和声级计的自动控制、数据采集、数据分析处理、检定原始记录报告自动生成等工作,提升声级计自动检定能力,提高声级计检定效率,减少人为误差。

1 系统组成和原理

1.1 系统组成

系统硬件由工控机、标准信号源、衰减器及声级计组成,硬件指标如表 1 所示。

表 1 硬件指标

设备名称	测试调节范围	不确定度/ 最大允许误差
标准 信号源	正弦信号:10 Hz~200 kHz;	幅频特性 MPE: ± 0.2 dB;
	猝发音信号:0~100 s;	持续时间 MPE: $\pm 1.0\%$;
衰减器	频率范围:0 Hz~50 kHz; 衰减范围:0~119.99 dB;	± 0.05 dB;
声级计	频率范围:10 Hz~20 kHz; 声压级动态范围:110 dB;	1 级;2 级

1.2 系统工作原理

自动检定的实现需要满足两个条件:1)是输出信号幅值、频率以及波形的自动调节;2)是声级计的控制和响应读取。前者输出信号的自动调节通过软件控制标准信号源来实现,但受限于标准信号源幅值动态范围,需要增加衰减器以满足声级计部分检定项目的需求。后者声级计的控制和响应读取通过串口通信。

系统硬件连接如图 1 所示,以多串口工控机为控制核心,采用串口与标准信号源、衰减器以及声级计通信,标准仪器产生的电信号通过 BNC 电缆传输。检定系统按照检定规程要求对标准信号源和衰减器触发,以产生待检定标准电信号,电信号通过 BNC 电缆把标准信号发送到声级计。声级计接收到信号,等到示数稳定以后将响应数据发送回自动检定系统。自动检定系统在接收到返回数据以后先对数据进行解码,再依据规程中的要求进行分析、处理。

2 操作者框架及设计原则

2.1 操作者框架

操作者框架^[5-6]是 LabVIEW 中基于面向对象技术的

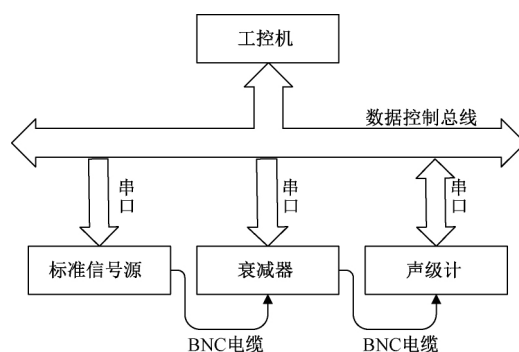


图 1 硬件连接示意图

多线程程序结构,其核心是应用继承技术的扩展代码复用,以解决提高程序灵活性、可扩展性等需求,适合于多并行任务的项目,能够降低程序的死锁和竞争,提高程序的可扩展性,并拥有最大限度代码复用。

操作者框架内部包含了 Actor(操作者)和 Message 两个父类。操作者表示独立运行的 LabVIEW 对象,是框架的核心部分。一个操作者包含 3 个部分:

1)操作者核心 VI(Actor core),用来定义操作者的连续行为及消息处理方式。该类的子孙类重写该方法作为操作者的用户界面。

2)操作者的特定方法,这些 VI 是 LabVIEW 类的成员 VI,用于定义操作者。每个方法对应于操作者能够执行的一个任务。

3)操作者的消息,消息是一个 LabVIEW 类,定义了操作者能够接收的指令和作出响应的方式。一般需要为操作者的每个方法创建一个消息,消息在消息队列中传递,操作者接收到消息后,执行相应的方法。

2.2 设计原则

在使用面向对象技术编程时需要使用类抽象封装出系统软件的核心,设计中需遵循面向对象的 5 大设计原则:

1)单一职责原则,一个类只应有一个发生变化的原因,类的职责要单一。

2)开闭原则,类是可扩展但不可修改的。

3)里氏替换原则,在创建基类的新的子类时,不改变基类的行为。

4)接口隔离原则,客户端不应该依赖它不需要的接口。

5)依赖倒置原则,上层模块不应该依赖于底层模块,他们都应该依赖于抽象。

综上所述,自动检定系统软件结构的设计主要有两个部分:1)是操作者类以及操作者特定方法的设计,需遵循面向对象的 5 大设计原则;2)是系统操作者类消息传递方式的设计。

3 系统软件

声级计电性能自动检定校准系统采用 LabVIEW 开发,软件部分是系统的核心,主要实现仪器控制、数据采集、

分析处理、显示以及保存等自动化检定流程^[7],是典型的面向过程的设计,各个过程运行并不同步,一般会考虑采用异步多循环的“生产者/消费者”设计模式^[8-9],但随着被检件种类增多,程序的规模不断扩大,使用该模式调试难度增大,扩展难度也不断增大。因此采用操作者框架编写自动检定系统。

系统软件总体设计如图 2 所示,分为 3 个层次,分别为顶层交互界面主程序、中间层系统各部分功能模块和底层仪器驱动。其中中间层功能模块包含了所需的 10 个检定项目以及原始记录报告生成功能。

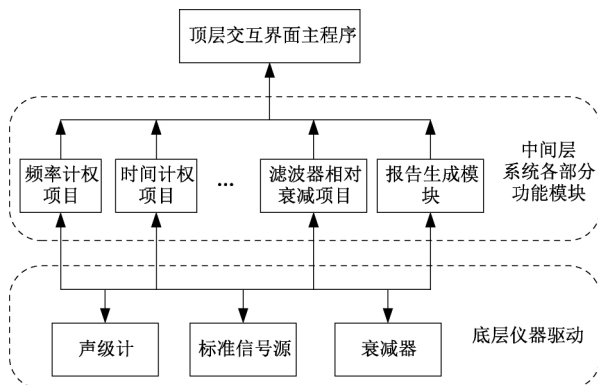


图 2 系统软件总体结构

3.1 操作者类设计

基于面向对象设计原则,应用面向对象的封装、继承和多态技术^[10]构造系统各个层次,通过构建硬件虚拟层(hardware abstraction layer, HAL)、测试虚拟层(measurement abstraction layer, MAL)完成对系统各项目检定过程、指标和仪器设备的封装,各个功能模块通过封装完成的“类”搭建。从两个维度来看检定过程会有两种不同的分类方式,一个是具体硬件,一个是检定状态逻辑,如表 2 所示。

表 2 检定过程分析

维度	分解内容
仪器设备组成	声级计 AWA5636、AWA6228+、HS6288E、AWA5688、AWA5661、HS5671D 等
	标准设备 标准信号源、程控精密衰减器
检定状态	仪器初始化设置、项目检定过程、数据分析处理、循环检定、异常处理

仪器设备的组成可以分别封装成“声级计”、“标准信号源”和“衰减器”3 个基类操作者,构建成 HAL;检定状态封装成“Standrad”操作者,构建测 MAL。这些都是虚类,类似于 C++ 中的虚类,不能够实例化对象,虚类负责逻辑设计,应用依赖倒置原则,从这些基类操作者中派生出具体的子类负责具体的输入输出。除了 HAL 和 MAL,另外还有两个功能操作者类,一个是“User Interface”,另一个是“数

据保存”。系统类关系结构如图 3 所示,6 个基类操作者组合构成整个自动检定系统, MAL 中检定项目流程方法的实现依赖于 HAL 中仪器类的具体动作方法,具体型号的标准仪器类和声级计类从相应基类中继承。

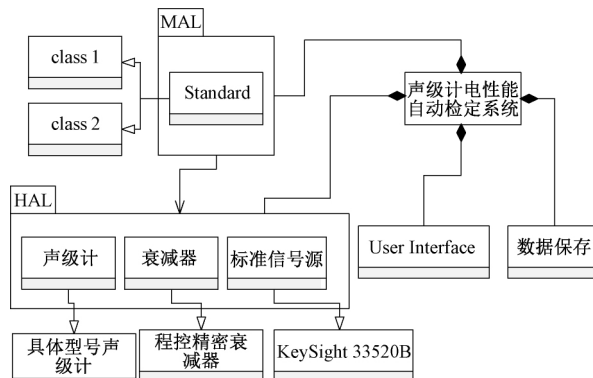


图 3 系统类结构

1) 测试虚拟层(MAL)

MAL 的核心是对不同检定项目的检定流程逻辑以及不同等级声级计的检定点和数据指标封装。根据检定规程,声级计等级分为 1 级、2 级两类,不同等级的声级计检定项目流程相同,但是检定点和数据指标不同,因此将不同项目流程分别封装成 Standrad 操作者的特定方法, class 1 和 class 2 从 Standrad 操作者中继承。父类抽象封装了不同检定项目流程的方法逻辑,例如单个猝发音响应项目一个检定点的流程为“先用标准信号源产生一个 4 kHz 的正弦信号,衰减器衰减幅度调节为 0 dB;调节输入信号幅值使待被测件显示声压级为测量上限以下 3 dB,然后标准信号源发出 4 kHz 的猝发音信号,将声级计设定到相应档位,读取声级计响应数据,取这个变化过程中的最大值与相应稳态正弦信号的显示声级的差值即为单个猝发音响应的结果。”该流程是单个猝发音项目的核心抽象,包含了检定标准设备与声级计的详细行为动作。类似的 Standard 操作者将各个检定项目的流程抽象封装为该类的方法。

class 1 与 class 2 两个子类操作者重写父类中的检定方法,继承不同项目检定过程中仪器操作流程,又有自己具体的检定点和允许误差。例如 class 2 的频率计权项目有 10 个检定点,而 class 1 有 14 个检定点,每个检定点的允许误差也不同,通过两个子类来完成检定过程中检定点的输出、检定结果的处理分析,形成子类的差异化,从而使检定流程依赖于抽象,底层继承的 class 1 和 class 2 操作者类完成更为细节算法,符合了依赖倒置原则。

2) 硬件虚拟层(HAL)

HAL 用来抽象封装检定标准设备和声级计。抽象基类封装了仪器设备在检定过程中所需要的完成的动作,封装的动作方法如图 4 所示。不同声级计使用的控制指令各不相同,子类封装具体型号的声级计完成检定过程行为动作的具体实现细节。若要扩展不同型号声级计,直接从声

级计基类继承,改写其检定动作方法的抽象动态分配函数,实现动态扩展,新的扩展类可以继续再 MAL 的 Standard 操作者中不同检定项目流程方法中使用。

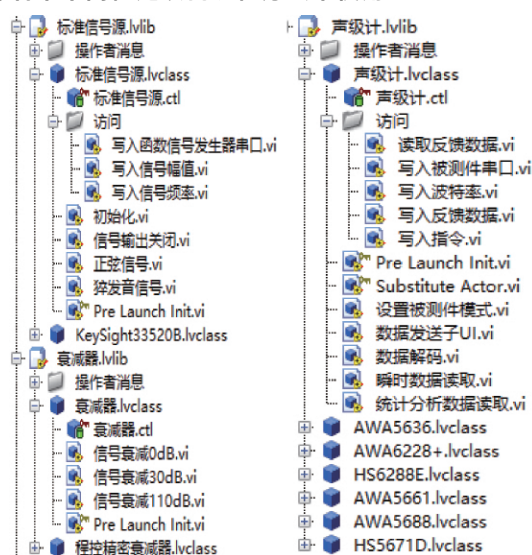


图 4 硬件虚拟层类与方法组成

硬件虚拟层中主要包含 3 个操作者:1)是标准信号源;2)是衰减器;3)是被测声级计。根据依赖倒置原则,完成对标准信号源类、衰减器类和声级计类的抽象,这些仪器设备类本身是互不相关的,因此也符合了单一职责设计原则。

3) User Interface 操作者

表示自动检定系统 UI 面板本身的操作者,该操作者启动 Standard 操作者。系统运行时,可单击 class 1 选项或 class 2 选项,选择所需检定的等级,发送“切换等级”消息至 Standard 操作者,即可完成两个等级类的切换,获取相应的子程序面板部分程序如图 5 所示。在该操作者界面上还可以由工作人员配置仪器通信串口,录入被测件基本信息和检定地点环境条件等。

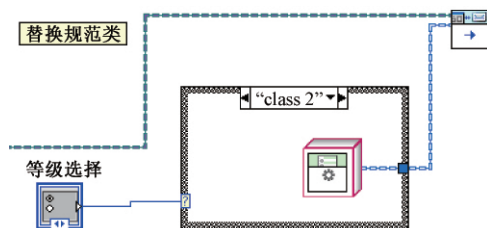


图 5 检定等级选择程序

4) 数据保存操作者

主要实现检定结果的原始记录报告生成,借助 LabVIEW^[11]的 Report Generation 工具包,通过对 Excel 模板行列的定位,将检定地点环境条件、被测件基本信息以及检定结果录入报告模板指定单元格中。

3.2 操作者类的实例化

在完成封装上层抽象操作者类以后,在程序中需要将

这些类实例化以完成具体的动作。借助于类的多态性,检定操作进行时,程序会根据所选类自动执行相应具体子类重写后的方法。

1) 仪器类实例化

具体的仪器类从虚拟硬件层中 3 个基类操作者中继承,标准信号源类封装了 KeySight 33520B 型信号源,衰减器类封装了程控精密衰减器,声级计类目前封装了 6 个型号的声级计,后续还能继续扩展。实例化时需要根据其自身的属性特征编写代码实现父类中的动作方法,仪器的通信控制方式有以下两种:

(1)标准信号源 KeySight 33520B 和声级计的控制基于 LabVIEW 中的 VISA^[12](virtual in-struments software architecture)库函数。通过 VISA 用户能与大多数仪器总线连接。图 6 为控制读取 AWA5636 型声级计响应的基本程序。应用 VISA 写入函数将指令通过串口发送至仪器,仪器接收命令后解析,然后做出相应的响应后应用 VISA 读取函数读取声级计响应数据。控制完成读取后调用 VISA 关闭函数,关闭 VISA 资源名称指定设备的会话句柄^[13],释放串口资源。控制信号源与不同型号的声级计的方式类似,都是通过 VISA 函数,但控制指令与响应数据返回格式不同,根据其特征分别进行编译。

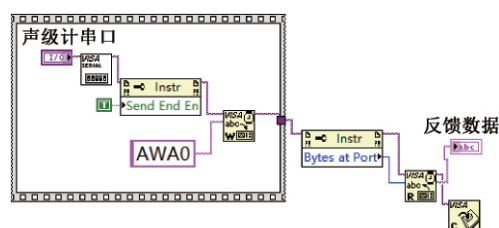


图 6 LabVIEW 串口通信基本程序

(2)程控精密衰减器的控制程序由 VC 语言编写,生成动态链接库 DLL(dynamic link library)通过 LabVIEW 中的 ActiveX 接口调用^[14]。

图 7 为 LabVIEW 调用动态链接库的基本程序,先打开自动化引用写入动态链接库的引用句柄,接着通过属性节点调用动态链接库中的方法,最后关闭自动化引用,释放 ActiveX 接口资源。

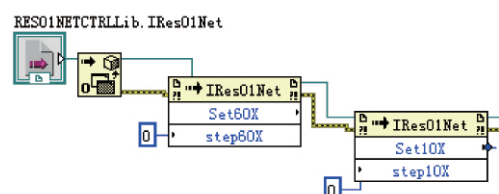


图 7 调用动态链接库基本程序

2) 检定项目流程方法实例化

系统按照检定规程的要求,在 Standrad 操作者抽象封装了各个检定项目不同的流程方法,通过队列状态机实现。单个检定项目基本流程如图 8 所示,在检定开始时先要将被测

件调至相应的模式,然后反馈调节输入信号使被测件达到检定项目所要求的声压级后开始检定,重复上述步骤,逐一测试各个检定点,直至所有检定点都完成。Standrad 操作者中共封装了声级计检定的 9 个项目:频率计权(电信号)、自噪声、级线性、时间计权、单个猝发音响应、重复猝发音响应、计算功能、1 kHz 处 AC 计权差值以及滤波器功能部分。

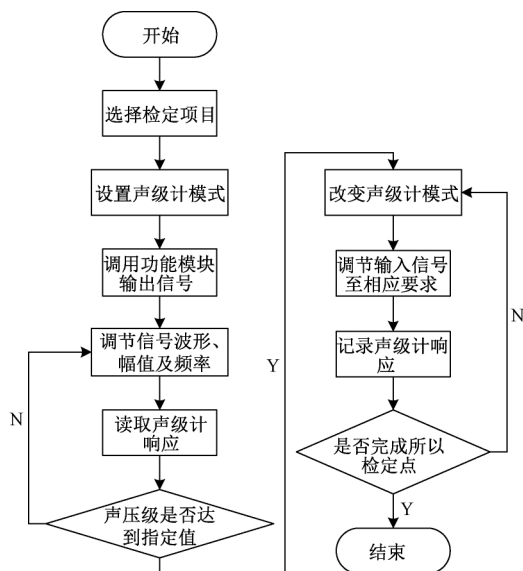


图 8 单个检定项目运行流程

3.3 操作者类之间的消息传递

每个操作者独立运行的,通过逐级调用启动不同操作者,调用启动链条上的首个操作者被做为根操作者,根操作者启动的其他操作者做为嵌套操作者,嵌套操作者能够根据程序任务设计启动更多的嵌套操作者。由于限定通信链路,只有调用方与被调用方之间保持拥有对方的消息队列,能够相互通信^[15]。系统调用结构如图 9 所示,User Interface 操作者启动 Standard 操作者的一个具体子类,获取其子程序面板;class 1/class 2 这两个子操作者类启动 4 个具体型号的仪器操作者与数据保存操作者,根据具体等级子类操作者中封装好的检定抽象方法传递消息至启动的具体仪器操作者,调用执行相应的方法。

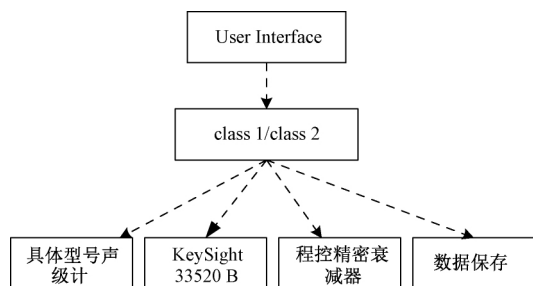


图 9 系统调用结构

4 测试验证

在同样的检定条件下,分别对 AWA6228+ 型声级计

进行人工检定、自动检定,分析对比检定结果与检定效率,然后进行重复性试验和稳定性考核,最终评价声级计自动检定系统的稳定性。

4.1 自动检定与人工检定对比

通过多次测试,相对于传统手动检定方式,使用本系统的自动检定耗时都减少。分别对同一台声级计使用两种方法检定 3 次,取耗时的平均值,每种方法的耗时情况如表 3 所示。

表 3 自动检定与人工检定耗时对比

检定方式	检定耗时/min
人工检定	54
自动检定	26

选取频率计权电信号部分的检定结果展示,如表 4 所示,可以看出,使用自动检定系统和人工检定方式对同一台声级计进行检定,检定结果基本一致,且每个检定点的检定结果都在接收限以内,证明声级计自动检定符合检定的技术要求,能够在实际工作中应用。

表 4 频率计权自动检定与人工检定结果对比

标称频率/Hz	频率计权 C/dB			
	自动检定	人工检定	标准值	允许误差
10	-14.2	-14.1	-14.3	+3.0, -∞
16	-8.6	-8.6	-8.5	+2.0, -4.0
20	-6.2	-6.3	-6.2	±2.0
31.5	-3.1	-3.1	-3.0	±1.5
63	-0.8	-0.8	-0.8	±1.0
125	-0.2	-0.2	-0.2	±1.0
250	0.0	0.0	0.0	±1.0
500	0.0	0.0	0.0	±1.0
1 000	0.0(Ref)	0.0(Ref)	0.0(Ref)	±0.7
2 000	-0.2	-0.2	-0.2	±1.0
4 000	-0.8	-0.8	-0.8	±1.0
8 000	-3.0	-3.1	-3.0	+1.5, -2.5
16 000	-8.2	-8.3	-8.5	+2.5, -16.0
20 000	-11.2	-11.2	-11.2	+3.0, -∞

4.2 重复性试验

通过对自动检定系统进行重复性试验考核系统的稳定性,最终评价声级计自动检定系统的稳定可靠性,评定系统能否在未来的计量检定工作中稳定运行。

重复性试验就是指在相同的测试条件下,重复的测量同一个被测量,计算测量结果相似程度,可以用测量标准偏差衡量。选择一台稳定的被检声级计用本系统对其进行 6 次独立检定,计算结果的标准偏差,其结果应小于其合成标准不确定度的 2/3。下面以单个猝发音响应项目 200 ms

检定点为例,重复性测量结果如表5所示。

表5 单个猝发音响应重复性测量结果

序号	猝发音响应/dB	
	F	S
1	-0.8	-7.2
2	-0.8	-7.3
3	-0.8	-7.3
4	-0.8	-7.2
5	-0.9	-7.2
6	-0.8	-7.2
平均值	-0.82	-7.23
标准偏差	0.041	0.052

计算得出的标准偏差 $u_1=0.041$ dB, $u_2=0.052$ dB 均远小于不确定度的 $2/3$, 系统重复性试验考核通过。

4.3 小结

通过使用本系统检定与人工检定,对所测得数据与理论值进行了对比,证明了通过两种方式所得检定结果一致,且自动检定消耗时间缩短为人工检定的 $1/2$ 。通过重复性试验,验证了自动检定系统在检定时稳定可靠的。

与现有的自动检定系统相比,主要有以下优势:

- 1) 本系统覆盖了声级计电性能检定的所有项目,包含的计算功能、滤波器功能的检定都是之前未涉及的。
- 2) 使用串口读取声级计响应,相对于使用图像识别的方式读取更加准确和稳定,且受外部因素影响更小。
- 3) 应用操作者框架与面向对象设计,大幅减少系统各模块之间的耦合型,减少后续继续扩展不同型号声级计的难度。

5 结论

本系统应用操作者框架,从各个检定项目流程中抽象出一般的方法,构建 MAL 与 HAL,动态调用具体类中不同的方法,使程序结构变简单,提高了程序的可读性;通过从声级计基类中增加子类就可以扩展不同型号的被测件或者标准设备,降低系统扩展难度,增加代码复用性。该方法不单单可以应用在声级计的检定上,对于其他仪器设备的检定同样有借鉴意义,可以通过扩展规范标准添加更多的自动化检定方法,使计量检定工作从人工检定转化到自动化检定。目前本系统已经投入应用,在声级计检定实际检定工作中稳定、可靠,这套系统可以完成 9 项复杂的检定项目,减少人为误差,且可以使检定人员脱离繁琐的分析处理检定结果工作,保证检定工作的准确性和时效性,极大提高了检定效率。

后续工作可以基于此扩展声级计声性能自动检定功能;继续扩展不同厂家不同型号的声级计检定能力;为款式陈旧的不带串口输出的声级计设计半自动的检定方式;

增加历史检定结果的数据存储功能基于被检声级计的历史检定数据,提炼声级计关键技术指标,为声级计生命周期维护,为声级计的技术进步以及计量校准更新提供参考。

参考文献

- [1] 钟波,孙庆生,王雪晶,等.声级计频率计权特性自动检定系统研究与实现[J].电声技术,2010,34(5):37-40.
- [2] JJG 188-2017 声级计检定规程[S].北京:国家质量监督检验检疫总局,2017.
- [3] 孙庆生.基于 PXI 总线技术的声级计自动检定系统[D].北京:北京化工大学,2011.
- [4] 何卓斌.基于 LabVIEW 的声级计校准系统的设计与实现[D].广州:华南理工大学,2016.
- [5] 丁蔚,彭诚,李军,等.基于虚拟仪器面向对象编程技术的计量校准程序[J].计量学报,2019,40(S1):69-74.
- [6] 程超.准分子激光微区剥蚀分析系统控制及数据采集技术研究[D].合肥:中国科学技术大学,2020.
- [7] 谢康康,郭斌,胡晓峰,等.基于视觉定位的四保阀开启压力自动调节系统[J].电子测量与仪器学报,2018,32(3):9-17.
- [8] 张建东,王剑斌,邹建华,等.柔性显示屏弯曲扭曲光电特性测试系统的设计开发[J].电子测量技术,2020,43(7):12-17.
- [9] 俞宙,李静,魏亚峰,等.基于虚拟仪器的高速混合信号自动测试系统设计[J].仪器仪表学报,2016,37(S1):94-101.
- [10] 郑瀛,范润龙,张玉海,等.基于 LabVIEW 面向对象的 TOF-SIMS 仪器控制软件[J].质谱学报,2017,38(5):591-598.
- [11] 张文锋,曾建华.基于 LabVIEW 的原始记录和校准证书自动生成方法[J].计量与测试技术,2018,45(9):95-97.
- [12] 吴聪,高云鹏,张韵琦,等.基于改进能量算子和 K-RV 互卷积分的闪变参数检测[J].仪器仪表学报,2019,40(4):69-76.
- [13] 李曼,赵坤.LabVIEW 程序设计方法在自动测试系统中的应用探讨[J].测控技术,2014,33(12):107-109.
- [14] 陈守恒,谢珩,姚后晨,等.基于 LabVIEW 的灯座缺陷检测方法[J].电子测量技术,2020,43(14):127-131.
- [15] 赵晨.基于托轮振动特性的回转窑运行状态监测技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2017.

作者简介

叶俊浩,硕士研究生,主要研究方向为智能检测、仪器控制以及自动化。

E-mail:724836930@qq.com

桑帅军(通信作者),高级工程师,主要研究方向为声学振动计量。

E-mail:86984720@qq.com