

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105974

基于机器人的温度传感器自动检定系统设计*

孙 嫣 黄 磊 任 燕

(山东省气象局 大气探测技术保障中心 济南 250031)

摘 要: 为解决自动气象站温度传感器检定工作中存在的工作量大, 检定用时长, 检定过程中需要人工参与等智能化程度低的问题, 研究了温度传感器智能搬运技术, 提出了智能搬运算法, 采用 6 轴机械臂本体机器人进行了温度传感器在不同恒温水槽的温度检定点切换, 实现了多批次温度传感器同时检定, 整个检定过程无需人工涉入。同时, 开发了基于手机客户端的远程控制软件, 实现了远程操作、远程监控、远程报警等功能, 可通过手机客户端控制设备开关机, 监控温度传感器工作状态, 实现异常情况下远程报警并提醒工作人员采取相应措施。运行结果表明, 智能检定技术的应用缩短了检定用时, 使检定过程不再受 8 h 工作时间限制, 实现了全流程自动控制, 检定工作效率大幅提高 4 倍以上。

关键词: 机器人; 自动气象站; 温度传感器; 检定; 机械手; 可编程逻辑控制器(PLC); 人机界面(HMI)

中图分类号: TP249 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8050

Design of automatic verification system for temperature sensor based on robot

Sun Yan Huang Lei Ren Yan

(Ensuring Center of Atmospheric Sounding Technology, Shandong Meteorological Bureau, Jinan 250031, China)

Abstract: This paper analysis the problems of heavy workload, long verification time and requirement of human involvement that exist in verifying the meteorological temperature sensors. By investigating the intelligent measurement technology, proposed an intelligent transportation system. By using a 6-axis robot arm, our proposed algorithm successfully achieved temperature measurement points transition of temperature sensors. Our proposed system realized simultaneously verification of multi-batches sensors with no human involvement. In addition, we also developed a remote console deployed on mobile application. This remote console could achieve functions such as remote operation, remote monitoring and auto-alarm. Using this remote console, the staff could turn on or turn off the device, monitor the working status remotely and take corresponding movement according to the remote alarming system. The experiment result shown that the proposed intelligent verification system efficiently reduced the verification time by making the verification process four times faster. Furthermore, our proposed system released the verification process from the eight working hours restriction and achieves automation in all the verification process.

Keywords: robot; automatic weather station; temperature sensor; verification; robot manipulator; programmable logic controller(PLC); human machine interface(HMI)

0 引 言

气象用温度传感器是自动气象站的组成部分^[1], 分为气温传感器和地温传感器, 每个自动站配置气温传感器 1 支, 地温传感器包括地表温 1 支、草温 1 支、浅层 4 支、深层 4 支, 共 11 支。而自动站作为天气观测网的一个重要组成部分, 在大气探测中发挥着重要作用。

为保证温度探测数据的质量, 提高预报准确率, 需要定期对温度传感器进行检定溯源。山东省气象计量站作为一个省级计量机构, 每年的检定量在 2 000 支以上。国内温度传感器的检定模式有两种: 一槽多点和多槽单点, 一槽多点是在一个恒温水槽中完成一批温度传感器的多点检定, 优点是开始检定后直到结束, 中间不需要人工参与, 缺点是不同检定点切换时需要较长的升降温等待时间, 整个过程

收稿日期: 2021-03-15

* 基金项目: 山东省气象局面上项目(2018sdqxm09)资助

用时 5~6 h;多槽单点是根据检定点个数配置恒温水槽数量,每个槽子达到检定点温度后开始检定,优点是省掉了升降温等待时间,整个过程用时 1~2 h,缺点是不同检定点切换时必须人工把被检温度传感器从一个恒温水槽移到另一个恒温水槽,不能实现自动化。随着气象现代化的不断发展,纳入计量的温度传感器数量一直在不断增加,受设备及人员数量等因素的限制,以上两种模式的工作效率均不能满足工作量日益增加的业务需求,迫切需要创新工作模式提高检定效率。

国内将机器人应用于一线生产场景中的研究日已有多例,多集中在巡检^[2]、测程^[3]、清淤^[4]、清洗^[5]、抓取^[6]、装配^[7]、打磨^[8]等应用中。其中,巡检机器人应用在高压电场中的指针式仪表高精度识别系统中;自动清洗机器人解决了高层建筑外壁清洗困难的问题;基于机械臂的全自动液体处理工作站,可用于核酸提取等场景;还有应用机器人,建立机器视觉的移动工件抓取和装配系统。

国外应用机器人在一线生产场景中的研究相对更加广泛,除了传统的无人生产环境之外,还包含了可能存在的人机交互场景。如:来自 MIT 的研究团队总结了他们所设计的用于物流仓储环境中的机器人系统^[9-10];还有团队研究人员提出了一种基于高斯混合模型的多任务人机交互装配方案^[11]。

目前国内外还未见有将机械手抓取等智能技术用于温度传感器计量的案例,因此,研发基于机器人的温度传感器自动检定系统^[12]是十分必要的。本文研发的系统主要包括上位机温度自动检定、集成控制和机器人本体控制 3 部分,采用多槽单点,通过机械手智能搬运实现温度传感器不同恒温水槽温度检定点切换,研究智能搬运算法,实现多批次温度传感器同时检定,检定过程无需人工参与。开发具有远程操作、远程监控、远程报警等功能的软件,通过电脑和手机客户端控制开关机,监控温度传感器工作状态,实现异常情况下远程报警提醒技术人员采取相应措施,使检定过程不受 8 h 工作时间限制,达到全流程自动化控制。

1 机器人温度自动检定系统设计原则和方法

1.1 系统设计原则

系统的设计尽量满足安全性、可靠性等原则,通过远程监控、远程操作功能为检定流程提供安全保障,用机器人代替人工操作,为温度计量工作提供一个智能化的检定环境,提高计量工作效率,保证了温度传感器检定数据的准确可靠。

1.2 系统设计思路及方法

1) 总体思路

为满足温度传感器检定工作的要求,设计上位机温度自动检定系统、集成控制系统和机器人本体控制系统 3 个子系统,共同组成机器人温度传感器自动检定系统,系统设计流程如图 1 所示。通过上位机温度自动检定系统实现温度传感器自动检定和检定数据集中管理,集成控制系统作为整个系统的衔接部分,连接机器人本体控制系统和上位机温度自

动检定系统,将机械手与温度传感器检定工作相结合。

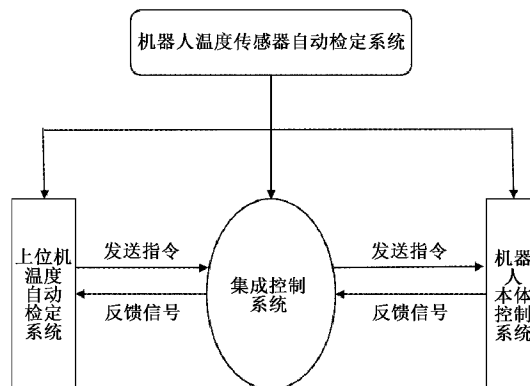


图 1 机器人温度传感器自动检定系统设计流程

2) 上位机温度自动检定系统

该系统的运行基于 Windows 平台和大型数据库服务器,通过数据库技术实现与大系统-省级计量业务管理系统^[13]的资源共享和数据统一管理功能。利用现代计算机技术,可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)^[14]等软件应用技术,现场总线技术(Modbus)及可传输控制协议(transfer control protocol, TCP)等网络通信技术^[15],依据气象用温度传感器检定规程^[16],实现温度传感器自动检定和检定数据集中管理,实现由机械手操作的多槽单点和多槽多点相结合的灵活检定模式。可支持多个检定任务同时启动,数据在本地电脑有备份,中断后可随时继续,整个检定过程无需人工干预,软件设计流程如图 2 所示。

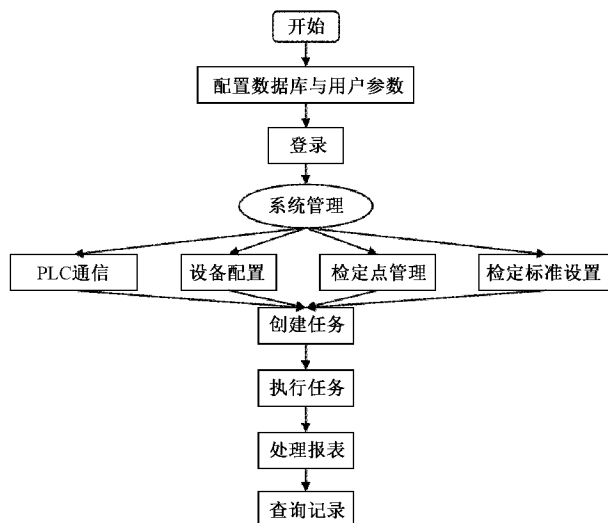


图 2 上位机系统设计流程

3) 集成控制系统

该系统连接机器人本体控制系统和上位机温度自动检定系统软件,综合应用高速数据采集、工业以太网及 PLC 控制等先进技术,采用可编程控制器为核心,负责对系统的协调控制,根据采集的各种输入信息、控制指令、交互数据等,实现对各执行机构的精确控制,与设备管理层终端设备

的数据交互,从而达到整体设备的检定流程控制功能。

主控 PLC 采集输入检测部件的信息状态,用于实现系统的逻辑处理及输出控制^[17]。为更加精准及安全的执行机器人控制,所有外部传感器直接接入机器人主控制器内,由机器人采集数据后通过网络反馈给系统集成部分。

系统总通信模式采用工业 Modbus TCP 通信网络,其他通信硬件通过转换模块统一整合为 Modbus TCP 通信。满足控制系统通信实时性、可靠性的控制要求。通过工业以太网完成与上位系统的网络互联互通功能,软件设计流程如图 3 所示。

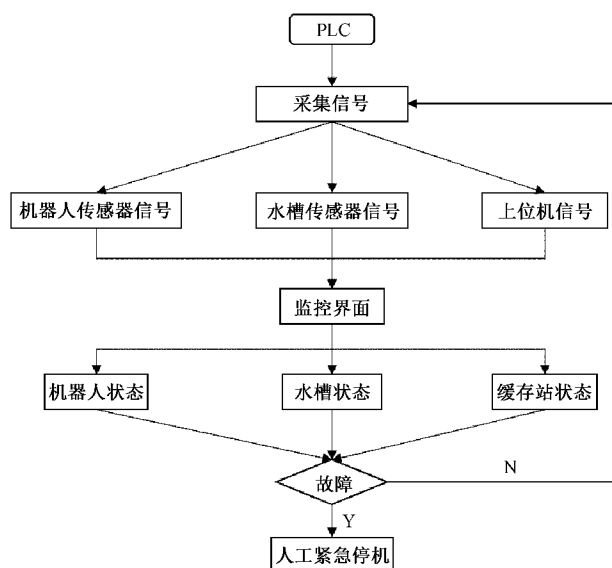


图 3 集成控制系统设计流程图

4) 机器人本体控制系统

该系统依据温度传感器检定规程的要求,对检定流程

进行精细划分,根据恒温水槽状态、检测时间、恒温水槽温度、缓存工位状态等信息,设计多条运行轨迹,通过示教,记录保存路径轨迹,实现机器人本体对温度传感器的全流程智能移运。软件设计流程如图 4 所示。

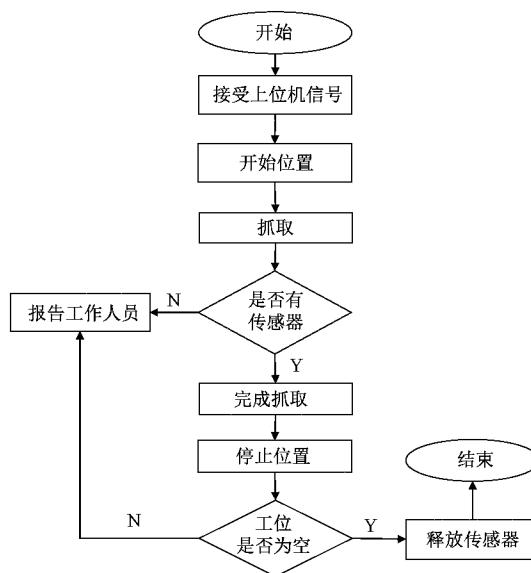


图 4 机器人本体控制系统设计流程图

2 机器人温度自动检定系统总体设计

2.1 系统设计结构

系统通过上位机温度自动检定、集成控制和机器人本体控制 3 个子系统共同完成温度传感器检测、报表管理和不同恒温水槽之间的智能搬运。系统设计结构如图 5 所示。

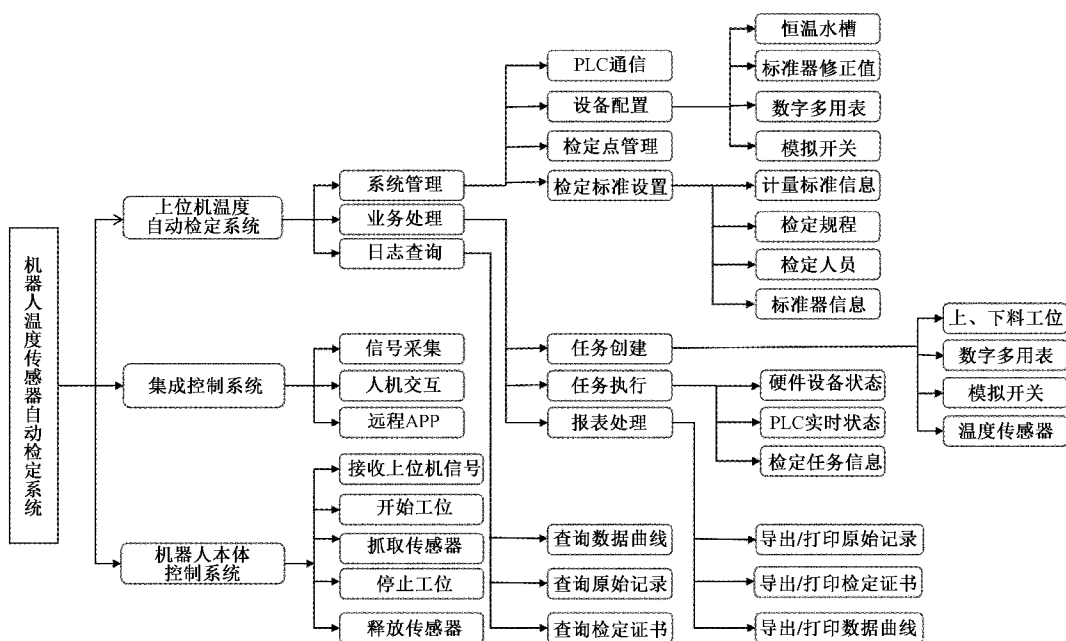


图 5 系统设计结构

由上位机温度自动检定系统制作订单,分配好每组检测所需恒温水槽及检定点温度等系统参数,将配置好的数据通过 Modbus TCP 协议发送到系统集成配电箱内的 PLC, PLC 将执行数据转发给机器人、恒温水槽、人机界面 (human machine interface, HMI)。恒温水槽接收到设定温度值时,自动调节恒温水槽的温度,并将实时温度反馈给上位机系统;机器人根据接收到的数据,按照顺序将上料工位备检传感器自动取到检测工位执行检测,检测完第 1 个工位自动移位到第 2 个备检工位,以此类推将所有备检组顺序检测完毕并顺序排列到下料工位上;当 HMI 接收到所有操作数据及现场传感器反馈,通过 TCP 将数据发送到海为 (HAIWELL) 云应用程序 (application, APP),方便操作人员远程监视及紧急操作。

检测结束后,可通过报表处理模块导出或打印原始记录、检定证书和数据曲线^[18],并可通过日志查询模块查询相关数据信息。

2.2 上位机自动控制流程

通过系统管理模块向 PLC 发出指令并接受反馈信息,管理各种硬件设备参数、检定点信息和温度计量标准信息;选择添加各种硬件设备创建任务,任务执行完毕后保存数据至数据库进行报表处理;可随时查询检定证书、原始记录等数据信息。其操作流程如图 6 所示。

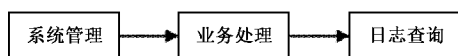


图 6 上位机自动控制流程

2.3 集成控制流程

采集整理系统的状态信息及上位机软件下单信息,执行发送、接收命令,通过 HMI 进行监控显示,利用远程 APP 接收及响应人机交互界面的控制指令及控制任务。其操作流程如图 7 所示。

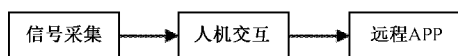


图 7 集成控制流程

2.4 机器人本体控制流程

机器人接收到上位机指令,首先移动至起始位置,检测相应工位是否放置有传感器,并执行抓取命令,完成目标抓取后移动至停止位置,检测相应工位是否为空,检测为空后执行释放命令,将传感器放置到指定工位。依次操作,直至所有传感器被放置到下料工位。其操作流程如图 8 所示。

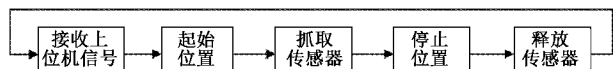


图 8 机器人本体控制流程

3 机器人控制算法

3.1 机器人工作环境分析

所设计机器人温度自动检定系统在无人参与的实验

室环境中运行,在检定过程中,机器人需要重复实现多批次温度传感器在不同恒温水槽之间的顺序搬运。根据所处无人化工作环境,选择使用三维空间插值法生成机器人运动轨迹。

3.2 三维空间插值法

三维空间插值法^[19]生成机器人运动轨迹的过程可以通过如下步骤实现。

1) 首先选定三维空间中机器人末端的一个 6D 姿态集: $P \in \mathbb{R}^6$ (包含 3D 位置和 3D 方向)。这些 6D 姿态应该包含起始姿态、终止姿态与中间姿态。

三维空间插值法假设 P 中每个姿态自身与环境无碰撞,且两个相邻的姿态通过直线连接是无碰撞的,即,对于环境 $O = \{O_{free}, O_{obs}\}$,其中 O_{free} 代表无碰撞空间, O_{obs} 代表障碍物空间。

一个合理长度为 N 的 6D 姿态集 P 应该满足:

$$(1) \forall p_i \in P, p_i \in O_{free}$$

(2) 定义 $Z(p_{i-1}p_i)$ 为从 p_{i-1} 到 p_i 直线扫过的空间集合,则对 $\forall p_i \in P, i \neq \{0, N\}$, 均存在 $Z(p_{i-1}p_i) \in O_{free}$ 且 $Z(p_i p_{i+1}) \in O_{free}$ 。

2) 根据所设置的精度,对姿态集 P 进行插值得到曾广姿态集 \hat{P} 。

3) 通过机器人的逆运动学算法, $f(p_i), \mathbb{R}^6 \Rightarrow \mathbb{C}^n$ (其中 n 为构型空间的维度,在本问题中等同于机械臂的自由度)对曾广姿态集 \hat{P} 进行解算,得到构型空间轨迹 T 。

如上所述,三维空间插值法基于人工给定的机器人末端姿态集 P ,生成了最终的构型空间轨迹 T 。将通过三维空间插值法得到的构型空间轨迹 T 输入机器人控制器可以控制机器人完成温度传感器的搬运作业。

4 机器人温度自动检定系统硬件设计

4.1 系统硬件设备布局

系统硬件设备由上位机系统硬件、集成控制系统硬件和机器人本体系统硬件 3 部分组成,其总体布局如图 9 所示。

4.2 上位机系统硬件设计

主要由触摸屏、控制主机、温度标准器、数字多用表、温度传感器四线接口、PLC 硬件控制系统、串口服务器、模拟开关、UPS 电源等组成,集成为上位机控制柜。

4.3 集成控制系统硬件设计

该系统主要由 PLC 主控制柜、输入检测部件、输出执行部件、通信网络部件等部分组成。如图 10(a) 所示,主控制柜采用 HAIWELL-PLC ST32 作为主控制器,与上位机数据库、机器人控制器、HMI、水槽通过物联网交换机以 Modbus TCP 协议进行通信。

如图 10(b) 所示,ST32 控制器通过 X0 控制按钮输入全线自动启动信号;X1 控制按钮输入检测部件包括急停

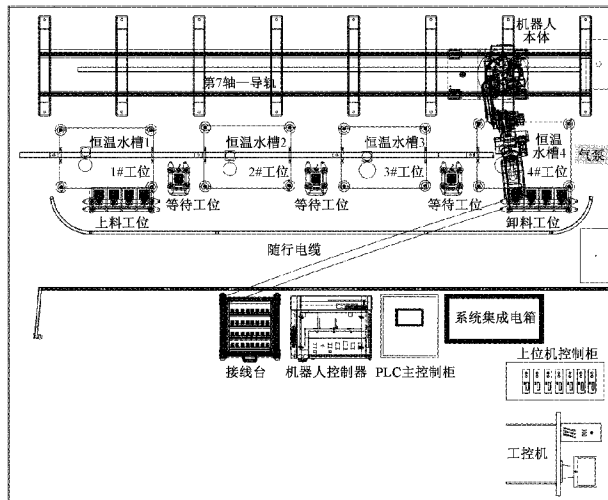


图 9 机器人温度检定系统硬件设备布局

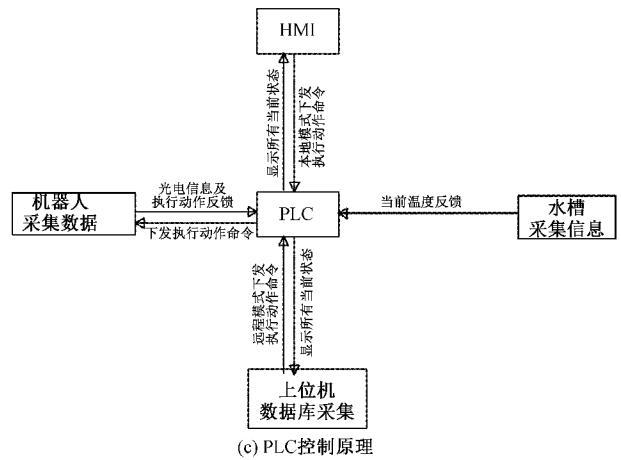
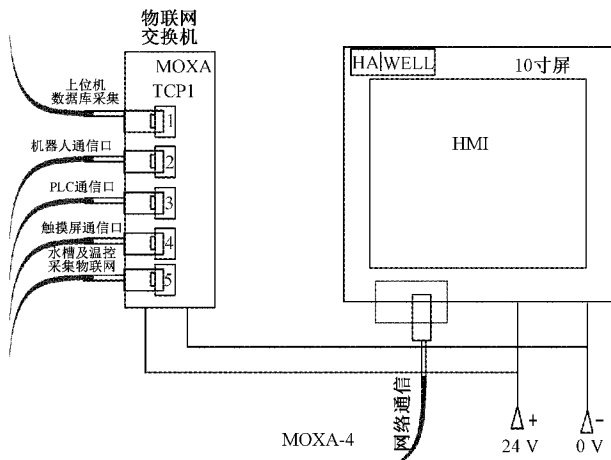
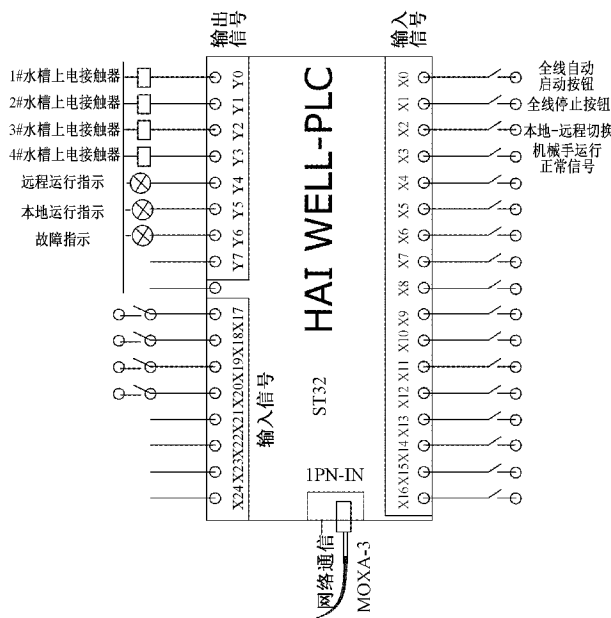


图 10 PLC 控制柜原理



(a) 物联网交换机原理



(b) ST32 控制器原理

开关等主令电器、门安全传感器等全线停止信号；通过 X2 控制按钮输入本地、远程模式转换信号；通过 X3 光电开关等数字量输入机械手运行状态信号。通过 Y0~Y3 上电接触器给输出执行部件 1#~4# 水槽上电；通过 Y4~Y6 三色指示灯分别输出远程运行、本地运行和故障状态，其中故障指示灯为灯光、蜂鸣器和报警并行的声光指示器。

如图 10(c) 所示，PLC 根据水槽反馈的当前温度，将上位机和 HMI 发送的远程、本地指令下发给机器人控制器，机器人通过光电信息反馈执行动作。

4.4 机器人本体系统硬件设计

由机器人本体、机器人控制柜和示教器构成。机器人本体采用 6 轴机械臂，利用导轨满足左右行走的需求。搭建了包括检定设备在内的硬件系统，主要由恒温水槽、上料台、下料台、缓存位、接线台、机器人本体、机器人运行导轨、气泵、机器人控制器、系统集成电箱、安全防护栏等部分组成。

如图 11 所示，机器人控制器 CRP-RH14-10 通过 X0、X1 和 X2 控制按钮输入伺服电机上电、停止和紧急停止信号；通过 X3~X17 光电开关分别输入 1#~4# 工位上料台、1#~4# 水槽位、2#~4# 水槽缓存位、1#~4# 位下料台有货检测信号；通过 X18~X20 输入机器人加紧检测反馈和左行、右行极限保护。通过 Y0~Y2 三色指示灯分别输出伺服电机上电、断电和故障指示信号，其中故障指示灯为灯光、蜂鸣器和报警并行的声光指示器；通过 Y3 接触器控制机器人夹取电磁阀线圈执行温度传感器抓取动作。

其中由机器人控制单元和机器人驱动单元组成的驱动一体单元，是机器人控制柜的核心部件，用于控制机器人的所有功能和运动；配置独立于集成控制系统的安全急停板，采用强制型断开继电器，对外提供双回路急停，确保急停的可靠性；自动外部上电，确保操作人员视线转移并远离机器人；碰撞软化设计，防碰撞信号有效时，系统和驱动同时响应，快速软化姿态轴，避免损伤本体。

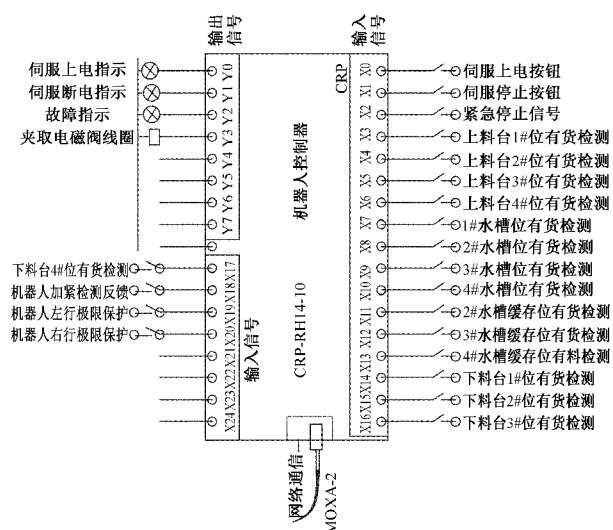


图 11 机器人控制器原理

充分考虑设备散热需求,设计恒温水槽间距和缓冲区位置,保证恒温水槽等各工位位置固定不动,根据工作段长度设置机器人极限运行距离参数。

机械手抓取动力采用空气泵气动方式,为配合机械手操作,设计锥形镂空不锈钢容器,容纳约束传感器,方便机械手抓取。对恒温水槽的高度和口径进行统一化改造,每个恒温水槽设计标准器固定位置,最大限度减少机械手抓取放置传感器时的距离偏差。

5 系统功能设计

5.1 上位机系统

1) 登陆

登录前先配置数据库、用户参数,设置与各系统数据库的连接方式,输入数据库及用户参数,输入正确的用户名和密码,实现与在用省级计量业务管理系统的互联互通。

2) 界面设计

系统一级菜单有 3 个:系统管理、业务处理、日志查询,每个一级菜单下又有若干子菜单,界面如图 12 所示。

3) 系统管理

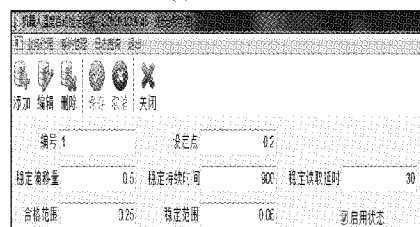
首先通过 PLC 设置该系统与机器人本体的地址和端口号,通过 Modbus TCP 通信方式实现二者信息交互;然后对各种硬件设备的通信参数进行配置管理,主要包括恒温水槽、标准器、万用表、模拟开关,并可通过标准器选项,对标准器的修正值进行订正;再对检定点实施管理,根据检定规程或特殊业务需求,添加检定点数量和检定点温度值,设置各检定点稳定时间、读数次数、合格范围、稳定范围等参数;最后进行检定标准设置,可设置温度传感器项目的计量标准信息,及于此相关的检定规程、标准器和检定人员等信息。

4) 业务处理

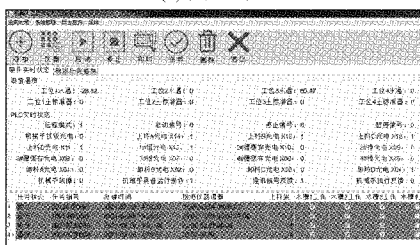
创建一个新的任务,选择该任务传感器在上、下料台



(a) 设备配置



(b) 检定点管理



(c) 任务信息

时间	温度	湿度	压力	流量	其他
1:00	20.11	0	20.6	0.01	21010027
2:00	20.12	0	20.62	0.01	21010028
3:00	20.13	0	20.74	0.02	21010029
4:00	20.15	0	20.7	0.02	21010030
5:00	20.16	0	20.69	0.02	21010031
6:00	20.15	0	20.80	0.02	21010032
7:00	20.14	0	20.87	0.02	21010033
8:00	20.14	0	20.92	0.02	21010034
9:00	20.14	0	20.96	0.02	21010035
10:00	20.15	0	20.95	0.02	21010036
11:00	20.15	0	21.00	0.02	21010037
12:00	20.15	0	20.93	0.02	21010038
13:00	20.15	0	20.91	0.02	21010039
14:00	20.15	0	20.91	0.02	21010040
15:00	20.15	0	20.91	0.02	21010041
16:00	20.15	0	20.96	0.02	21010042
17:00	20.15	0	20.95	0.02	21010043
18:00	20.15	0	20.94	0.02	21010044

(d) 实时数据

图 12 上位机系统界面

的位置,及开展任务所需的恒温水槽、万用表和模拟开关,完成后,使用手持设备扫描接线台上被检传感器二维码,对传感器进行排序,可创建多个检定任务并同时执行,若接线台某一通道空缺,可选择“损坏跳过检测”;任务建成后,开始检定,检定过程中可实时显示硬件设备、PLC 的状态及检定任务信息;任务完成后,系统自动对检定数据进行处理,可实现原始记录、检定证书的打印和导出。

5) 日志查询

通过报表菜单,利用传感器的唯一性编号可查询其历史数据曲线和检定原始记录及证书。

5.2 集成控制系统

1) 界面设计

主要包括人机交互总监控界面和参数设置界面,如图 13~14 所示,参数设置界面用于特殊情况下人工手动设置相关参数。

2) 信号采集

通过 TCP 通信,采集机器人、恒温水槽、上位机软件等

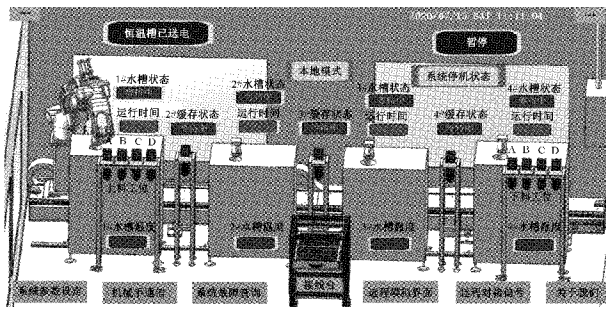


图 13 总监控界面

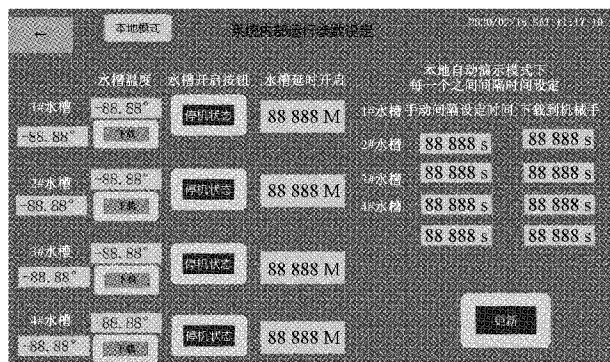


图 14 参数设置界面

数据输入信息,根据设备采集的各个环节状态信息,结合温度传感器检定流程,执行发送、接收命令,及时反馈执行动作和检测信息。

通过可靠的信号检测装置实时采集系统故障信息,并根据故障等级实现自动声光告警或停机,保护设备及人身安全;在设备的适当操作工位、控制柜面板以及人工操作工位设置一定数量的紧急停机按钮,当故障发生或者预见到故障时,任何时候都可以人工紧急停机,以保护设备及人员安全。

3) 人机交互

采集整理系统的状态信息及上位机软件下单信息,通过人机界面进行监控显示,接收及响应人机交互界面的控制指令及控制任务^[20]。

4) 远程 APP

登录手机 APP,通过手机对人机交互设备进行操作,实现远程上电、断电和任务状态的实时监控,实时显示各个“恒温水槽的状态”、“缓存站的状态”、“恒温水槽的检测时间”、“恒温水槽的实时温度”,方便监控整个检定流程。当有故障发生时,还可通过 HMI 对系统的故障位置、时间等信息进行查阅,以实现故障的快速查找及排除。

5.3 机器人本体控制系统

1) 界面设计

对检定流程进行细化,通过示教,确定合适的运行轨迹,经过单机测试无误后,保存记录轨迹路径,共存储 92

条轨迹,模拟界面如图 15 所示。

工位号	888	888	888	888	888	888	888	888	888
A-1	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-2	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-3	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-4	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-5	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-6	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-7	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-8	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-9	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-10	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-11	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-12	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-13	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-14	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-15	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-16	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-17	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-18	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-19	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-20	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-21	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-22	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-23	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-24	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-25	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-26	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-27	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-28	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-29	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-30	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-31	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-32	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-33	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-34	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-35	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-36	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-37	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-38	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-39	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-40	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-41	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-42	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-43	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-44	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-45	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-46	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-47	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-48	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-49	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-50	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-51	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-52	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-53	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-54	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-55	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-56	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-57	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-58	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-59	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-60	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-61	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-62	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-63	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-64	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-65	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-66	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-67	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-68	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-69	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-70	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-71	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-72	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-73	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-74	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-75	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-76	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-77	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-78	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-79	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-80	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-81	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-82	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-83	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-84	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-85	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-86	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-87	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-88	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-89	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-90	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-91	101	126	102	117	103	118	104	119	125
A-92	101	126	102	117	103	118	104	119	125

图 15 路径轨迹模拟界面

2) 智能搬运

布局 4 个恒温水槽,槽与槽之间布置了 3 个缓存工位,每个槽子设置一个温度点,如:0℃、-30℃、20℃、50℃等,确定各工位序号,上料工位为 0 号,恒温水槽按顺序依次为 1、2、3、4 号,缓存工位按顺序依次为 6、7、8 号,下料工位为 5 号。设计了 4 组传感器 A、B、C、D,同时确立 A、B、C、D 4 条路径,每条路径上机器人按要求在 9 个工位之间搬运被检温度传感器,设计搬运顺序只能正向,不能逆向,且优先次序为 1、2、3、4 号工位,若相应恒温水槽工位被占用,则选择放入缓存工位。根据以上原则确定 0~8 号工位每个工位的轨迹数量,共计 92 条。4 组传感器创建 4 个检定任务,并将 4 组传感器按顺序放入上料架的相应位置,按需求次序启动任务,接收上位机指令运行相应轨迹完成每组传感器的检定。

6 数据库表设计

系统采用 SQL Server 数据库,对设备参数、状态信息、检定数据进行存储和管理,数据既有本地管理存储,又能实现与省级计量业务管理系统的数据库交互。设计了检定点信息、任务状态信息、传感器检定数据信息、检定结果、设备配置表、设备类型管理、传感器采集信息、PLC 地址信息、修正值管理等数据。

以检定点信息和任务信息为例,具体介绍数据及其字段的设计方法,内容如表 1~2 所示。

表 1 的内容是依据《自动气象站温度传感器检定规程》的要求管理温度检定参数信息,主要包括各温度点的温度值、稳定时间、读数次数、判稳条件、传感器误差允许范围等。

表 2 的内容为存储管理检定任务的状态参数信息,新建任务时会初始化任务状态参数,根据检定进度、Currentarea、WaterIerrorrepeat、StatusFlag 等字段会实时更新存储任务的最新状态信息。Currentarea 字段值中用 0、1、6、2、7、3、8、4、5 分别对应对应上料工位、1 号水槽、1 号水槽缓存工位、2 号水槽、2 号水槽缓存工位、3 号水槽、3 号水槽缓存工位、4 号水槽、下料工位。

表 1 检定点信息

字段名称(英文)	字段含义(中文)	值
PointValue	检定点	0, -30, 10, 50, 80 等整 10 位数值
ReadDlyTime	判稳后延时读数时间	不少于 300 s
TakeDataTimes	读数次数	4
EnableFlag	启用标志	1
OfstVal	稳定范围, 作为判稳条件值。	0.02
PassVal	误差允许范围, 用以判断传感器当前检定点示值误差是否在允许范围内。	0.2
OfstControlVal	检定点控制偏差允许值, 水槽实际温度值与设定值的偏差值。	0.5
StableTime	稳定持续时间, 达到稳定条件后需保持的时间值。	以 s 为单位填入数值

表 2 任务信息

字段名称(英文)	字段含义(中文)	值(示例)
TaskNo	任务编号	20200512001
CreateDate	创建日期	2020-05-12 09:20:58
Currentarea	当前区域, 记录当前任务传感器所在位置。	0
Entryposition	上料架入口号	1
Waterlchecked	水槽启用标志	True
Waterlrepeat	水槽 1 温度重复读取次数	4
Waterlcrrepeat	水槽 1 当前重复读取第几次	2
Waterl	水槽 1 当前检测的温度索引, 代表检定点的索引号	1
WaterlValue	水槽 1 需检测的温度点	-30, 10, 50
Multimeter	当前任务配置的数字多用表设备编号。	32
AnalogSwitch	扫描开关设备编号(在设备列表中的唯一编号)	43
Temperaturesensors	当前任务接入的传感器对应的扫描开关通道编号	01, 02, 03, 05, 06
TestTempSensor	当前任务传感器起始扫描通道序号。	3
StatusFlag	当前任务状态, 0 新建、1 暂停、2 运行、3 完成。	3

7 系统应用和实测数据

7.1 系统应用实施情况

机器人温度传感器自动检定系统项目研发完成后, 在实验室进行了应用测试, 根据业务需求和项目技术方案要求, 设计了两个目标: 1) 通过机器人智能搬运完成温度传感器的自动检定、无人值守和安全运行; 2) 缩短检定时, 提高工作效率。项目测试分如下几步: 1) 按照技术方案设计布局恒温水槽, 安装机器人及相关配套设施; 2) 对系统的功能和安全性能进行测试, 同时针对存在的问题做出整改和优化; 3) 经过反复运行完善, 直至满足温度传感器检定规程的要求, 并投入业务应用。

7.2 系统功能测试要求

1) 系统登录; 2) 系统管理; 3) 业务处理; 4) 人机交互; 5) 智能搬运; 6) 日志查询; 7) 日志输出; 8) 远程模式; 9) 本地模式; 10) 检定时。

7.3 系统安全性能测试要求

1) 声光报警; 2) 急停。

7.4 应用实例实测数据

测试选取 A、B、C、D 4 组温度传感器, 将每组传感器放

入机械手抓取容器, 每组数量 32 支, 重量 7 kg, 选择机械手最大负重 10 kg。设计双层翻盖式接线台, 每层接两组传感器, 4 组传感器满荷载数量 128 支。通过接线台接入被检温度传感器后, 运行机器人温度自动检定系统, 依次从上料台抓取 A~D 组温度传感器, 按照最优运行轨迹, 利用缓存工位, 完成全部温度传感器在设置了不同温度点的恒温水槽之间的自动搬运, 最终将 4 组温度传感器放置到下料台 T 位, 完成整个检定过程, 生成相关数据报表上传指定数据库, 形成原始记录表, 并打印检定证书。

4 组温度传感器共 128 支, 按规程要求完成全部检定流程平均耗时 1.5 h, 系统启动后不需要人工参与。而原来单槽多点模式, 传感器满荷载检定数量 32 支, 检定完成平均耗时 3 h; 原来多槽单点模式, 传感器满荷载检定数量 32 支, 检定完成平均耗时 1.5 h, 每个检定点转换需要人工移表。相比之下, 现在的机器人温度传感器自动检定系统与单槽多点的检定模式相比时间减少 1/2, 检定数量增加 4 倍, 与单槽多点的检定模式相比时间不变, 数量增加 4 倍, 且全程由机器人自动完成搬运工作, 不需要人工参与。

通过对机器人温度传感器自动检定系统的功能和安

全性能进行测试,得到系统功能测试结果如表3所示,安全性能测试结果如表4所示。

表3 系统功能测试结果

功能	A	B	C	D
系统登录	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
系统管理	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
业务处理	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
人机交互	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
智能搬运	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
日志查询	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
日志输出	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
远程模式	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
本地模式	符合要求	符合要求	符合要求	符合要求
检定用时	4组共用1.5h			

系统功能测试结果表明,系统功能符合设计要求,软硬件系统运行稳定。

表4 系统安全性能测试结果

性能	A	B	C	D
声光报警	正常	正常	正常	正常
急停	正常	正常	正常	正常

安全性能测试结果表明,系统能够实现安全运行。

8 结 论

温度传感器作为自动气象站数量最多的传感器,每年的检定任务都是最重的。针对传统温度传感器检定模式存在的主要问题:变温时升降温等待时间长;不同温度槽切换时需要人工移表;1台电脑只能单窗口运行一套系统,创建一组任务,检定一组传感器。本文机器人温度自动检定系统设计了上位机温度自动检定、集成控制和机器人本体控制3个子系统,采用多槽单点,提前设置恒温水槽温度,槽温稳定后启动上位机温度自动检定系统,避免了升降温等待时间;由机器人本体控制系统实现温度传感器在不同恒温水槽之间进行温度检定点切换,解决了人工移表的问题;同时,上位机温度自动检定系统采用单机多窗口运行,可同时创建4组检定任务,采用机器人智能搬运,多组任务协同操作,完成多组传感器同时检定;集成控制系统采集系统状态及上位机系统下单信息,通过人机交互界面和手机APP进行监控显示,实现远程上电、断电和任务状态的实时监控,还可实现故障的快速查找及排除。

系统测试结果表明,机器人在气象用温度传感器检定工作中的应用,可使工作效率提高4倍以上,解放了劳动力,提升了气象温度计量的智能化水平。

参考文献

[1] 行鸿彦,张金玉,徐伟.地面自动气象观测的技术发展

与展望[J].电子测量与仪器学报,2017,31(10):1535-1537.

- [2] 许丽,石伟,方甜.巡检机器人中的指针式仪表读数识别系统[J].仪器仪表学报,2017,38(7):1783-1784.
- [3] 刘振,陈万米,熊奇.移动机器人测程法定位误差分析与校正[J].电子测量技术,2017,40(12):75-76.
- [4] 侯力扬,李金宝.煤矿井下水仓智能清淤机器人的路径规划算法研究[J].电子测量技术,2020,43(19):75-76.
- [5] 韦永奇,巨凤娟.基于PLC的壁面清洗机器人[J].国外电子测量技术,2019,38(9):40-41.
- [6] 李增.基于核酸提取的全自动液体处理工作站设计[D].广州:广东工业大学,2019:20-38.
- [7] 夏文杰.基于机器视觉的移动工件抓取和装配的研究[D].杭州:中国计量学院,2016:7-19.
- [8] 杜健超.缝纫机壳体打磨的机械臂轨迹规划研究[D].杭州:中国计量学院,2016:13-21.
- [9] ZENG A, YU K T, SONG S, et al. Multi-view self-supervised deep learning for 6D pose estimation in the amazon picking challenge[J]. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) IEEE, 2016:1386-1383.
- [10] ZENG A, SONG S, YU K T, et al. Robotic pick-and-place of novel objects in clutter with multi-affordance grasping and cross-domain image matching [J]. 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA),2018: 1-8.
- [11] EWERTON M, NEUMANN G, LIOUTIKOV R, et al. Learning multiple collaborative tasks with a mixture of interaction primitives [C]. IEEE International Conference on Robotics & Automation, IEEE,2015:1535-1542.
- [12] 孙哲,隋丹,黄清治,等.多路气象用铂电阻温度传感器自动检定系统[J].黑龙江科学,2018,9(12):56-57.
- [13] 张建敏,罗昶,王建森,等.省级气象计量检定业务自动化系统[J].应用气象学报,2012,23(2):251-256.
- [14] 王昭,周波,王伟民.基于PLC的火筒炉智能测控系统设计[J].电子测量技术,2020,43(15):119-123.
- [15] 赵文慧,张国平,朱阿曼,等.基于Modbus TCP的库房环境监控系统的设计[J].电子测量技术,2020,43(1):99-103.
- [16] 黄小静,郑亮,李晓红,等.《自动气象站温度传感器检定规程》探讨[J].气象水文海洋仪器,2017(1):18-19.
- [17] 鲁明祥.基于PLC与欧姆表的温度控制系统设计[J].电子测量技术,2019,42(1):49-51.
- [18] 孙嫣,杨宗波,韩广鲁,等.移动气象计量现场校准核查信息系统[J].电子测量与仪器学报,2017,31(10):1634-1636.

[19] 段平. 三维空间场各向异性径向基函数空间插值模型研究[J]. 测绘学报, 2018, 47(12): 1696-1697.

[20] 戴廷飞, 刘邈, 叶阳阳, 等. 人机共享控制机器人系统的应用与发展[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(3): 63-65.

作者简介

孙嫣, 高级工程师, 主要研究方向为气象计量、气象仪器仪表等。

E-mail: 15666973881@163.com

黄磊(通信作者), 高级工程师, 主要研究方向为计算机科学与技术等。

E-mail: 573315258@qq.com

任燕, 高级工程师, 主要研究方向为气象计量、气象仪器仪表等。

E-mail: 1566973293@126.com