

# 云边端协同智能仪器测控系统及磁场探头校准研究

赵波<sup>1</sup>, 吴一宽<sup>2</sup>

(1. 江苏省计量科学研究所 南京 210023;

2. 南京航空航天大学自动化学院 南京 211106)

Email: zhaob@jsjl.net

**摘要:** 本文提出了一种基于云边端协同架构的智能仪器测控系统方案, 可实现在线多任务自动测试。云平台系统采用 MQTT 协议和 Web 后端服务器, 进行数据管理和用户交互; 边缘系统通过边缘机的 Python 编程和 SCPI 指令, 完成仪器端系统的控制与数据处理; 仪器端系统由电子测量仪器和智能设备组成, 执行具体测量任务。本文进行了应用于近区磁场探头的校准测控实验, 实验验证云测控系统提升了校准测试效率和重复性。

**关键词:** 云边端协同; 仪器测控; MQTT; 磁场探头校准

## 1、研究背景

随着大数据、云计算等新兴技术的快速发展, 传统的自动测试系统 (ATS) 面临网络化转型的需求。最新信息技术的发展为自动测试系统提供了新的解决方案, 使智能仪器云测控研究成为可能。在此背景下, 本文提出了一种基于云边端协同架构的智能仪器测控系统方案, 可实现在线多任务自动测试。

国内外智能仪器测控系统的研究已经取得了一定的进展。例如, 美国 NI 公司开发了虚拟仪器开发平台 LabVIEW[1]。国内外许多高校和科研机构也在积极开展相关研究, 探索虚拟仪器、云计算、物联网等技术在智能测控领域的应用 [2-4]。然而, 现有研究多集中在单一任务开发, 缺乏对云边端协同的研究与实践。

本文提出的云边端协同智能仪器测控系统, 能够充分利用云计算、边缘计算和终端设备的优势, 能够提供更加灵活、可扩展的测控解决方案, 以满足复杂可变的自动测试需求。该系统研究为未来自动测试系统的发展提供了新的思路和实践基础。

## 2、云边端协同智能仪器测控系统研究

云边端协同架构为智能仪器测控系统提供了一种创新的解决方案。

### 2.1 系统需求分析与设计

系统以在线自动化测控为目标, 考虑实时性、稳定性、安全性和用户交互的便捷性。必须具备的系统功能, 包括但不限于数据处理、实时控制、模块化设计, 以及友好的图形用户界面 (GUI)。

系统采用云边端协同的架构，其中云平台负责数据管理和用户交互展示；边缘系统承担实时仪器控制与数据处理；端系统由电子测量仪器和智能设备组成，执行具体的测量任务。如图 1 所示，这种分层的设计可实现资源的最优分配和任务的高效处理。

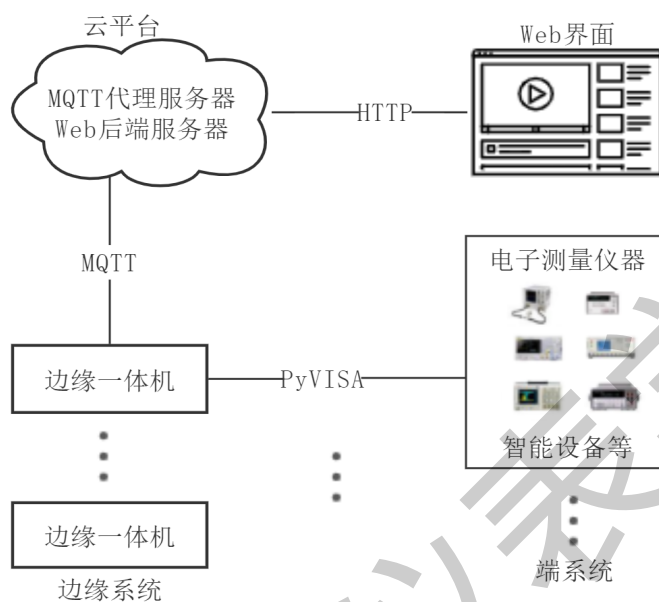


图 1 云边端协同测控系统架构图

Fig.1 Cloud-Edge-End Sys. Architecture

## 2.2 云平台设计

云平台利用 MQTT 协议与边缘系统进行通信，MQTT 作为轻量级的消息传输协议 [5-6]，不占用大量带宽，能保证边缘系统数据的实时传输和低延迟。Web 后端服务器采用开发框架和数据库技术，实现数据的高效管理，快速响应用户的交互请求。服务器端的逻辑包括用户认证、数据存储、业务逻辑处理等关键模块。云平台通过 Web 界面，实现测试任务的灵活部署和测试数据分析的看板展示。

## 2.3 边缘系统设计

边缘系统可分布式部署，采用运行 Windows 操作系统的低功耗边缘一体机，软件主要采用 Python 语言编程，利用其丰富的库资源，快速实现测控任务控制逻辑和数据处理流程。具体地，硬件上通过 GPIB/LAN/USB/RS232 等总线连接仪器，软件上使用 PyVISA 库发送 SCPI 标准化指令，与各种电子测量仪器进行通信。同时，可以通过仪器或其他智能设备自定义说明，添加非标准化控制指令。边缘系统还包括基于 PyQt5 的用户界面设计，提供了直观的可视化界面。

## 2.4 端系统设计

端系统可分布式柔性部署，按照具体测试任务配置各类电子测量仪器，如示波器、频谱分析仪、网络分析仪等。端系统配置的测量仪器是测量准确度的基本保证。此外，智能设备如机械臂、自动导向车（AGV）等，可被集成到端系统中，通过柔性设计执行测量任务，提高测量效率并减少人为误差。

## 3、磁场探头校准实验

将云边端协同智能仪器测控系统应用于近场磁场探头校准测试实验。近场探头测量芯片或线路板近区电磁干扰信号，广泛应用于电磁兼容（EMC）测试领域。近场探头需要定期校准，保证测量结果准确和一致性。该实验配置包括云测控系统通用的云平台、边缘系统，在端系统上，具体配置了一台 R&S ZNC3 矢量网络分析仪和 Dobot Magician 桌面机械臂，实验配件为 Agilent E2655B 微带线校准器，如图 2 所示。

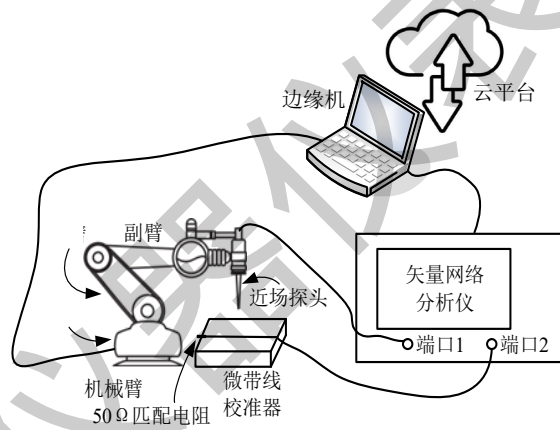


图 2 磁场探头校准端系统配置图

Fig. 2: Mag. Probe Calib. End Sys. Config.

矢量网络分析仪通过端口 2 输出激励微带线校准器表面产生准稳恒电磁场，机械臂带动近场磁场探头精确定位于微带线上方指定位置。通过网络分析仪端口 1 获取测量数据，分析可得磁场探头的频率响应、校准因子、空间分辨率和电场抑制制度等参数，并以测试曲线直观显示在云平台 Web 界面上。在 9kHz~3GHz 频率范围，设置 1000 个测试频率，实验时无明显时滞，每频率点响应时间  $t < 0.1s$ ，重复定位精度  $< 0.2mm$ 。

实验测试流程在云平台部署，通过边缘机，协同矢量网络分析仪的高精度测量功能，以及机械臂的精确定位和运动控制能力，实现了磁场探头校准过程的自动化和智能化。这种云边端协同工作模式显著提升了校准效率和重复性，可多工位并行测试，利用不同电子测量仪器和智能设备的组合完成柔性测试任务。

## 4、结 论

本文设计并实现了一种基于云边端协同的智能仪器测控系统，并通过实验有效提升了磁场探头校准测试的效率与重复性。系统利用云平台进行数据管理与用户交互，边缘系统处理仪器控制与数据，端系统执行测量任务，三者协同作业，满足了现代测试测量任务的大规模、高效率和高精度需求。用户友好的操作界面和智能设备的集成，进一步提升了系统的易用性和自动化水平。实验验证了所提系统方案的可行性。

本文研究为自动测试技术的发展提供了新的思路和实践基础。尽管如此，系统在网络稳定性、数据安全性等方面仍有待优化，未来研究将致力于解决这些问题，并探索更广泛的测试测量应用场景。

### 参考文献

- [1] 张恩凤. 基于 LabVIEW 和 GPIB 的仪器仪表自动校准系统设计 [D]. 中北大学, 2017.
- [2] 段誉. 基于 GPIB 总线的频谱分析仪自动校准系统的研究与实现 [D]. 华南理工大学, 2018.
- [3] 文常保, 姜燕妮, 杨窈等. 基于 VISA-COM 的网络分析仪远程测试平台设计 [J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(09): 54-58.
- [4] 姚航, 赵伟, 黄松岭. 试论测量仪器新概念——测量仪器云 [J]. 中国测试, 2012, 38(02): 1-5.
- [5] 梁甄勇. 基于 MQTT 的工业物联网关边缘计算框架研究 [D]. 武汉: 武汉邮电科学研究院, 2022.
- [6] Zhang J, Liu YS, Xue L. A Remote Monitoring System Based on Measuring Instrument Cloud[J]. AMR 2014; 1014: 525-9.