

# 基于 Qt 的嵌入式图形用户界面设计与实现

郑虹<sup>1</sup>, 林晓春<sup>2\*</sup>

(1. 杭州市质量计量科学研究院, 浙江 杭州 310000;

2. 杭州布雷科检测技术有限公司, 浙江 杭州 310000)

## Design and Implementation of Embedded GUI Based on Qt

ZHENG Hong<sup>1</sup>, LIN Xiaochun<sup>2\*</sup>

(1. Hangzhou Institute of Quality and Metrology, Hangzhou 310000, China;

2. Hangzhou Break Testing Technology Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** [Objective] To address the demands for real-time performance, reliability, and interactivity of embedded graphical interfaces in industrial control-particularly the high-precision and rapid response requirements for real-time parameter monitoring (e.g., current, voltage, temperature, vibration) in motor protectors and test systems within the electrical machinery domain, this paper aims to resolve the issues of lengthy development cycles and poor flexibility associated with traditional dedicated human-machine interface by proposing an efficient graphical user interface (GUI) solution based on Qt/Embedded. [Methods] The implementation utilized an ARM Cortex-A5 based IAC-A5D3x-Kit development board as the hardware platform. After comprehensive evaluation of various GUI frameworks including Microwindows and MiniGUI, Qt/Embedded was selected as the optimal development framework due to its superior performance characteristics. The development process adopted a host-target cross-compilation approach, successfully completing Linux 3.6.9 kernel configuration, Qt 4.8.2 library porting, and USB/VGA driver development. [Results] The test results showed that the system supported keyboard, mouse, and VGA display interactions, with a real-time monitoring interface refresh delay of less than 1 second and file copy efficiency reached 4.3 MB/s. These met the performance requirements of industrial control scenarios, validated the system's high reliability and efficiency in dynamic data visualization and file operations. [Conclusion] By integrating Qt/Embedded with a customized Linux kernel, the system achieves high reliability and efficient human-machine interaction. This GUI solution provides an extensible framework that effectively supports industrial automation needs. The research not only contributes valuable insights and methodologies but also demonstrates broader application

prospects and potential for further innovation in automation systems.

**Key words:** embedded system; Qt; graphical user interface; model/view architecture; cross-compilation

**摘要:** [目的] 针对工业控制领域对嵌入式图形界面实时性、可靠性和交互性的需求,特别是电机电气领域中电机保护器与测试系统对实时参数监测(如电流、电压、温度、振动)的高精度和快速响应要求,本文旨在解决传统专用人机界面开发周期长、灵活性差的问题,提出一种基于 Qt/Embedded 的高效图形用户界面(GUI)解决方案。[方法] 本文采用 Qt/Embedded 框架,利用其高效的信号槽机制和模型/视图架构,实现电机关键参数的动态可视化更新,简化多参数监控界面的开发流程,并通过跨平台特性降低维护成本。研究以 ARM Cortex-A5 架构的 IAC-A5D3x-Kit 开发板为硬件平台,对比 Microwindows 和 MiniGUI 等 GUI 框架特性后选定 Qt/Embedded 作为开发框架。采用“宿主机-目标板”交叉编译模式,完成 Linux 3.6.9 内核配置、Qt 4.8.2 库移植及 USB/VGA 驱动开发。设计实时监测界面模块支持压力和温度参数动态显示,并基于模型/视图架构开发跨平台文件管理系统,提升文件操作灵活性和效率。[结果] 系统测试结果表明,该系统支持键盘、鼠标和 VGA 显示器交互,实时监测界面数据刷新延迟低于 1 秒,文件复制效率达 4.3 MB/s,满足工业控制场景的性能需求,验证了系统在动态数据可视化和文件操作方面的高可靠性和高效性。[结论] 通过结合 Qt/Embedded 和 Linux 内核定制化,系统实现了高可靠性和高效的人机交互,该 GUI 解决方案提供了可扩展的框架,能够有效支持工业自动化的需求。该研究不仅贡献了宝贵的见解和方法论,还在自动化系统中展现了更广泛的应用前景和进一步创新的可能性。

**关键词:** 嵌入式系统; Qt; 图形用户界面; 模型/视图架构; 交叉编译

## 0 引言

随着工业 4.0 时代的到来,嵌入式系统在人机交互、过程控制等领域的应用呈现指数级增长。根据 MarketsandMarkets 研究报告,2023 年全球工业自动化市场规模已达 2 100 亿美元,其中嵌入式图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)系统占比超过 35%<sup>[1]</sup>。传统字符界面因信息承载能力有限,已无法满足现代工业场景对多参数实时监控、可视化操作的需求。

当前主流的嵌入式 GUI 解决方案中, Microwindows 虽然具有资源占用低的优势,但其控件库完整性不足; MiniGUI 在中文支持方面表现优异,但跨平台兼容性较差<sup>[2-3]</sup>。Qt/Embedded 凭借信号槽通信机制、可视化设计工具及完善的模型/视图架构,成为工业控制领域的首选方案。文献[4]指出,采用 Qt 开发的嵌入式系统可降低 23% 的代码冗余度,提升 17% 的开发效率。

本文以压力监测系统为应用背景,提出基于 Qt/Embedded 的完整开发方案:首先构建交叉编译环境,完成 Linux 内核定制化配置;其次设计实时监测界面实现数据动态可视化;最后开发文件管理系统提升设备可维护性。通过系统化测试验证方案的工程实用性。

## 1 Qt 研究发展现状

作为字符用户界面的演进形态,GUI 代表了用户界面技术的第二代发展。自上世纪 80 年代美国 Xerox 公司 Alto 计算机使用 Smalltalk-80 程序设计开发环境开始,开启了 GUI 的新时代。Qt 作为一款基于 C++ 的应用程序开发框架,具备跨平台特性。Qt 所具有的特征主要有以下两点。

(1)完整的 C++ 扩展类库与面向对象编程思想。Qt 提供了一套完整的 C++ 应用开发框架,具有 C++ 的优点。文献[5-8]指出 Qt 在 C++ 的基础之上,具有面向对象的编程思想,扩展了一些 Qt 中特有的类。

(2)跨平台一致性接口。Qt 为所有平台提供统一的应用程序编程接口。尽管针对不同的操作系统,其底层实现库各异,但这些库所暴露的接口严格保持一致。所以,Qt 开发工具在不同平台下为开发者提供统一的操作体验。因而在 Qt 库上

开发的程序,在任何平台上都可以编译运行。显著简化跨平台开发流程,践行“编写一次,编译于各平台”的理念<sup>[9-13]</sup>。

对于不同的平台,Qt 提供不同的图形界面库,如: Qt/X11、Qt/Embedded、Qt Windows 和 Qt Mac 等。由挪威 Trolltech 公司专为嵌入式 Linux 系统打造的 Qt/Embedded 版本,为开发人员构建了成熟的窗口系统和集成开发环境<sup>[14-16]</sup>,历经近二十载演进,Qt 如今已跻身业界领先的跨平台开发工具阵营。目前 Qt 主要应用于以下领域。

(1)原生跨平台应用开发。相较于 Java,Qt 的核心优势在于能够构建真正的原生应用,从而直接利用目标操作系统的硬件性能和本地资源。例如,在开发纯 Linux 应用或需要同时兼容 Windows 与 MacOS 的原生软件时,Qt 通常是更优的选择<sup>[17-19]</sup>。

(2)嵌入式系统应用。在资源受限的嵌入式环境中,设备性能与用户交互界面(尤其是 GUI)的实现效果至关重要。嵌入式操作系统的重要作用在于实现任务调度、控制等功能,其协同控制应用程序和硬件,能够增强软硬件的协同性,这正是 Qt 技术优势得以充分发挥的应用场景<sup>[20]</sup>。以专注嵌入式图形开发的战信同普公司为例,其系统架构的核心组件之一便是 Qt 框架。在电机电气领域,电机保护器与测试系统对实时参数监测(如电流、电压、温度、振动)的精度和响应速度要求极高<sup>[20-24]</sup>。其中,电机测试系统构建<sup>[21]</sup>、远程运维系统设计<sup>[22]</sup>与边缘计算应用<sup>[23]</sup>尤为关键。

(3)性能关键型移动应用开发。Qt 自 5.2 版本起提供对 Android 和 iOS 的官方支持,Windows RT 平台的支持始于 5.3 版本。然而,Qt Mobile(或 Qt for Mobile)作为相对较新的技术栈,在特定硬件接口访问和 WebEngine 功能支持方面尚未完全成熟,这使其通常并非移动跨平台开发的首选方案。但对于性能要求严苛的移动应用场景,选用 Qt 则具有显著优势,经过针对性优化可有效提升终端设备的运行效能。

## 2 总体设计

### 2.1 软硬件平台概述

硬件采用杭州启扬智能科技有限公司的 IAC-A5D3x-Kit 嵌入式开发板,采用 ARM v7-A

Thumb2 指令集、536 MHz 的微处理器, 256 MB SDRAM、256 MB NAND FLASH、2 MB DATA FLASH(用于固化带 Qt/Embedded 图形界面的文件系统)以及 32 位数据总线。带浮点运算单元包括 166 MHz 64 位内部总线架构和 32 位宽双倍数据速率控制器,是高精度计算和快速处理数据应用的最佳选择。外部接口主要有五路 RS232 串口、三路 USB2.0 接口、外部总线接口(External Bus Interface, EBI)、JTAG 接口和视频图形阵列(Video Graphics Array, VGA)接口等,最高分辨率可达 2048×2048。

对选择 ARM Cortex-A5 处理器主要基于其在复杂 GUI 应用与适度实时控制任务间的平衡考量。相较于专注于底层实时控制的微控制器(如 STM32 系列),Cortex-A5 作为应用处理器具备更高的主频(536 MHz vs. 通常 <200 MHz)、更大的内存资源(256 MB SDRAM vs. 通常 <1 MB SRAM)和更强大的计算能力(集成浮点运算单元)。这使得 Cortex-A5 能够流畅运行资源消耗相对较大的嵌入式 Linux 操作系统和 Qt GUI 框架,为复杂的多参数监控、数据记录和人机交互提供平台。而 STM32 等微控制器单元虽然在单任务实时性(如脉宽调制控制环)上具有极低的延迟(通常在微秒级),但其有限的资源和处理能力难以支撑完整的、带丰富图形界面的嵌入式 Linux 应用。本方案中,Cortex-A5 负责上层 GUI、文件管理和数据可视化,底层实时控制任务(若需)可由专用外设或协处理器处理,两者通过明确接口协作,满足电机系统对交互体验和一定实时性的综合需求。

## 2.2 总体方案设计

本文基于启扬的 IAC-A5D3x-Kit 开发板,采用“目标板/宿主机”交叉开发模式,搭建基于 Qt/Embedded 的嵌入式 GUI 开发平台,包括目标板平台和宿主机平台的搭建,以及设计开发一个监测界面程序,整体结构框图如图 1 所示。

其中控制器 ARM 通过 EBI 实现对外部数据源的读写,通过监测显示界面实现数据的实时监测和显示。其中控制器要实现的功能包括读取 EBI 接口上的特定格式的数据包并能够实时显示到 GUI,此外,还必须能够开发支持目标板文件系统操作管理的界面,通过鼠标、键盘和 VGA 显示

器实现人机交互。

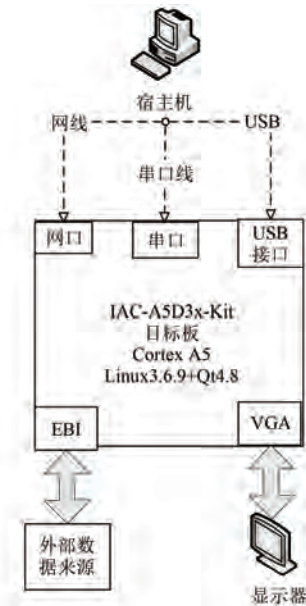


图 1 整体结构框图

Fig. 1 Overall structure diagram

嵌入式系统软件开发通常涵盖四个核心环节:操作系统移植、驱动程序开发、GUI 系统构建以及应用程序设计。该过程普遍采用“主机-目标机”交叉开发模式。该模式的核心在于依托主机强大的软硬件资源、完善的开发环境及调试工具进行目标机软件研发。开发完成的代码经交叉编译生成可在目标硬件运行的可执行文件,随后通过串口、USB 或以太网等接口传输至目标板。开发者利用交叉调试器实时监控程序执行状态、分析问题并进行调试。最终,将调试完善的程序固件烧录至目标设备,形成完整的开发闭环。本文基于 Qt 开发监测界面应用程序流程大体如图 2 所示。

设备驱动程序<sup>[25-27]</sup>作为操作系统内核与底层硬件交互的媒介,是内核不可或缺的组成部分,其在内核架构中的定位如图 3 所示。驱动程序的核心功能包括:设备的初始化与资源释放管理;实现内核空间与硬件之间的双向数据传输;处理应用程序对设备文件的数据读写请求并进行响应;以及执行设备错误检测与处理机制。

Linux 内核将设备划分为字符设备、块设备、网络设备及其他设备<sup>[28-29]</sup>。字符设备(例如键盘、鼠标、串口)支持直接读写操作,通常无需缓冲机制;块设备则以固定的数据块为单位进行读



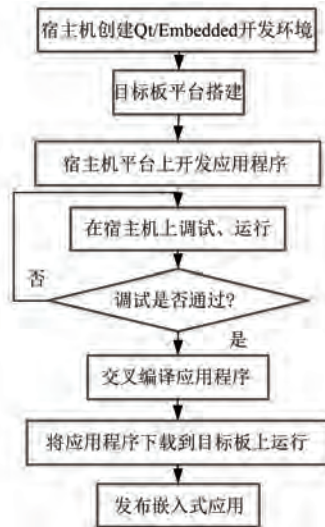


图 2 基于 Qt 的嵌入式 GUI 开发流程  
Fig. 2 Embedded GUI development process based on Qt

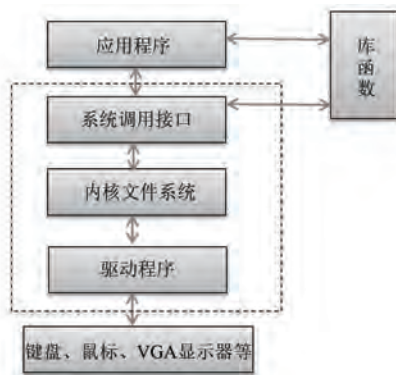


图 3 基于 Linux 与 Qt/Embedded 的嵌入式开发平台体系结构图

Fig. 3 Architecture diagram of the embedded development platform based on Linux and Qt/Embedded

写,其访问过程依赖缓冲区支持;网络设备的通信则基于套接字接口实现。

在 Qt/Embedded 框架中,用户输入事件信号的处理机制依赖于对底层输入设备接口的调用,通常体现为对相应设备文件的 I/O 操作。Qt 库已预先封装了众多此类驱动,形成了标准化的设备驱动接口,涵盖显示适配器、鼠标、键盘及串口等关键组件。其中,鼠标输入事件的处理由 QWSMouseHandler 基类抽象定义,而键盘事件则对应 QWSKeyboardHandler 基类<sup>[30]</sup>。

### 3 试验验证

为验证系统性能,在 IAC-A5D3x-Kit 开发板

上搭建了完整的测试环境。测试涵盖实时监测界面响应速度和文件管理系统吞吐量。

实时监测性能测试:设计模拟电机运行场景,通过串口接收模拟 0~10 MPa、精度±0.05 MPa 的压力和 20 ℃~150 ℃、精度±1 ℃、PT100 模拟电机绕组温度信号。采样频率设定为 10 Hz,以模拟典型电机参数监测需求。实时监测界面基于 Qt 的模型/视图架构开发,动态更新压力-时间、温度-时间曲线及数值。为评估系统稳定性,测试过程中人为引入阶跃负载变化,模拟电机启停、加减载。测试结果表明,在持续数据流和负载阶跃条件下,GUI 界面数据刷新延迟稳定保持<1 s(平均延迟 800 ms),满足工业控制场景对参数监视的实时性要求。刷新延迟主要消耗在数据解析、Qt GUI 事件循环处理和帧缓冲更新。

文件管理系统测试:针对设备日志记录和配置更新的需求,测试了基于 Model/View 架构的文件管理器在开发板 NAND FLASH 与宿主机通过 NFS 共享目录不同平台间的文件复制性能。使用 100 MB 的测试文件,测得平均复制效率为 4.3 MB/s。该效率与工业级 Class 10 SD 卡在同类嵌入式平台上的读写速度相当,能够满足现场设备日志存储和程序更新的效率需求。

### 4 结语

本文基于 Qt/Embedded 设计的嵌入式 GUI 系统,通过在 ARM Cortex-A5 架构开发板上的实践,验证了方案的工程实用性。系统实现了压力、温度等参数的动态可视化监测,数据刷新延迟低于 1 s,满足工业控制实时性需求;基于模型视图架构的文件管理系统,文件复制效率达 4.3 MB/s,提升了设备可维护性。结合 Linux 内核定制与 Qt 跨平台特性,系统支持键盘、鼠标及 VGA 交互,为工业自动化提供了高可靠性的人机交互解决方案,对同类嵌入式 GUI 开发具有参考价值。未来可进一步优化图形渲染效率,拓展触控等交互方式。系统测试主要在实验室环境下进行,尚未在典型的工业高电磁干扰 (Electromagnetic Interference, EMI) 环境下进行充分的抗干扰测试和稳定性验证。电机控制系统通常工作在复杂的电磁环境中,EMI 可能对基于 Linux 和 Qt 的用户空间程序的实时性和通信可靠性构成挑战,这需

要后续在真实工业场景或标准电磁兼容实验室中进行专项测试与加固。

### 利益冲突声明

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors disclose no relevant conflict of interests.

### 作者贡献

郑虹进行了方案设计、内容总结与论文撰写,林晓春参与了论文的审核与修改。所有作者均阅读并同意了最终稿件的提交。

The scheme design, content summarization, and paper composition were conducted by Zheng Hong. The paper review and modification were participated in by Lin Xiaochun. All authors have read and approved the final version of the paper for submission.

### 参考文献

- [ 1 ] 杨金林. 基于 DM6446 和 Qt 的嵌入式图形界面的研究与应用[D]. 青岛: 青岛大学, 2012.  
YANG J L. Research and application of embedded graphic interface based on DM6446 and Qt [ D ]. Qingdao: Qingdao University, 2012.
- [ 2 ] 李顺芬. 智能家居系统中嵌入式图形用户界面系统(GUI)设计[D]. 上海: 东华大学, 2011.  
LI S F. The Design of embedded graphical user interface ( GUI ) system for smarthome [ D ]. Shanghai: Donghua University, 2011.
- [ 3 ] 童陟嵩, 李怀珍. 电机综合测试系统采集分析软件设计[J]. 电机与控制应用, 2022, 49(5): 103-109.  
TONG Z S, LI H Z. Design of sampling and analysis software for motor integrated test system [J]. Electric Machines & Control Application, 2022, 49(5): 103-109.
- [ 4 ] 刘小春, 张有为, 向伟. 嵌入式 Linux 下 Qt/Embedded 应用关键技术研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(12-2): 62-63.  
LIU X C, ZHANG Y W, XIANG W. Key technique research of Qt/Embedded application in Embedded Linux [J]. Microcomputer, 2007, 23(12-2): 62-63.

- 郑 虹,等:基于 Qt 的嵌入式图形用户界面设计与实现
- [ 5 ] 曹朝煜, 杜延鹏, 邱岳, 等. 基于 TRDP 网络的列车人机交互系统[J]. 仪表技术与传感器, 2023, (5): 49-54+96.  
CAO C Y, DU Y P, QIU Y, et al. Human-machine interaction system for train based on TRDP network [J]. Instruments Technique and Sensor, 2023, (5): 49-54+96.
- [ 6 ] KRÜGER M, VOGEL H, VOLLMANN S. Investigating the rendering capability of embedded devices for graphical-user-interfaces in mobile machines [J]. AT Automatisierungstechnik, 2023, 71 (11): 939-952.
- [ 7 ] 曾骏, 何剑锋, 李卫东, 等. 基于 ARM-Linux/Qt 便携式智能  $\gamma$  能谱仪软硬件设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2022, (11): 17-22+28.  
ZENG J, HE J F, LI W D, et al. Software and hardware design and implementation of portable intelligence  $\gamma$  spectrometer based on ARM-Linux/Qt [J]. Instrument Technique and Sensor, 2022, (11): 17-22+28.
- [ 8 ] 郁智钦. 基于 Qt 的机组成胶印机人机交互系统开发[D]. 西安: 西安理工大学, 2023.  
YU Z Q. Development of human-computer interaction system for machine offset press based on Qt [ D ]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2023.
- [ 9 ] 管飞. 基于 UC/GUI 嵌入式用户图形界面的某型装备检测诊断系统设计[J]. 科技创新导报, 2020, 17(13): 152-154+157.  
GUAN F. Design of a certain type of equipment detection and diagnosis system based on UC/GUI embedded user graphical interface [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2020, 17(13): 152-154+157.
- [ 10 ] 王秀华. 网络化智能电机保护器的设计[J]. 电机与控制应用, 2009, 36(4): 58-61.  
WANG X H. Design of network-based intelligent motor protector [J]. Electric Machines & Control Application, 2009, 36(4): 58-61.
- [ 11 ] 柳伟续. 基于嵌入式 Linux+QT 的管道超声导波检测系统图形用户界面设计[J]. 装备制造技术, 2016, (9): 188-190.  
LIU W X. Design of graphical user interface for pipeline detection system of ultrasonic guided wave based on embedded Linux + QT [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2016, (9): 188-190.
- [ 12 ] SHRIVASTAVA P, TEWARI K V, GUPTA C, et

- al. HMI-assisted visual interface-cum-embedded system for measurement of tractor-implement performance parameters [J]. *Journal of Field Robotics*, 2023, 41(7): 2147-2168.
- [13] 许博文. 嵌入式系统图形框架通信机制的设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.  
XU B W. Design and implementation of communication mechanism of graphics framework on embedded system [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2022.
- [14] 韩少云, 奚海蛟. 基于嵌入式 Linux 的 Qt 图形程序实战开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.  
HAN S Y, XI H J. Practical Development of Qt Graphic Programs Based on Embedded Linux [M]. Beijing: Beihang University Press, 2012.
- [15] 王万富, 王琢, 刘佳鑫, 等. 基于 Qt/Embedded 的林草巡检机器人人机交互系统设计[J]. *现代电子技术*, 2022, 45(12): 160-164.  
WANG W F, WANG Z, LIU J X, et al. Design of Qt/Embedded -based human-computer interaction system for forest and grass inspection robot [J]. *Modern Electronics Technique*, 2022, 45(12): 160-164.
- [16] 徐晨晨. 基于 Qt/E 的轻型图形用户界面构件库实现方法[J]. *长江信息通信*, 2022, (7): 165-167.  
XU C C. Implementation of lightweight Graphical user interface component library based on Qt/E [J]. *Changjiang Information & Communications*, 2022, (7): 165-167.
- [17] 赵莹, 徐大平, 吕跃刚. 基于 Qt/Embedded 的嵌入式控制界面开发[J]. *微计算机信息*, 2009, 25(11): 36-38.  
ZHAO Y, XU D P, LYU Y G. The development of embedded control interface based on Qt/Embedded [J]. *Microcomputer Information*, 2009, 25(11): 36-38.
- [18] YING Y Z, HAN Z Z, QIANG L, et al. Design of an energetic particle radiation diagnostic spectroscopy system based on national core chips and Qt on Linux in EAST [J]. *Nuclear Science and Techniques*, 2021, 32: 68-78.
- [19] 项勇, 陈月明, 叶继伦, 等. 基于嵌入式 Linux+Qt 的多参监护系统设计[J]. *中国医疗器械杂志*, 2020, 44(02): 127-131.  
XIANG Y, CHEN Y M, YE J L, et al. Design of multi-parameter monitoring system based on embedded Linux+Qt [J]. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, 2020, 44(2): 127-131.
- [20] 李晓航, 张文武, 王安敏, 等. 基于 LabVIEW 的共直流母线型电机测试系统[J]. *电机与控制应用*, 2019, 46(9): 80-84.  
LI X H, ZHANG W W, WANG A M, et al. Common-DC-bus motor test system based on LabVIEW [J]. *Electric Machines & Control Application*, 2019, 46(9): 80-84.
- [21] 据长江, 谭爱国, 胡良辉. 电机智能制造远程运维系统设计与试验平台研究[J]. *电机与控制应用*, 2018, 45(5): 83-87.  
JU C J, TAN A G, HU L H. Research on design and experiment platform of remote operation and maintenance system for intelligent manufacturing of motor devices [J]. *Electric Machines & Control Application*, 2018, 45(5): 83-87.
- [22] 周洪发. 边缘计算在电机远程运维系统中的应用探讨[J]. *电机与控制应用*, 2019, 46(4): 101-105.  
ZHOU H F. Application of edge computing in remote operation and maintenance system of motor [J]. *Electric Machines & Control Application*, 2019, 46(4): 101-105.
- [23] 吴彦伟, 姚刚, 王海全, 等. 基于能量共享的多微网协同优化调度[J]. *电机与控制应用*, 2024, 51(8): 1-11.  
WU Y W, YAO G, WANG H Q, et al. Multi-microgrids cooperative optimal scheduling based on energy sharing [J]. *Electric Machines & Control Application*, 2024, 51(8): 1-11.
- [24] 李金, 吴帅军, 石林龙. 用于开发车辆 MCU 的变参数电机硬件在环测试方法[J]. *电机与控制应用*, 2020, 47(7): 79-86.  
LI J, WU S J, SHI L L. HIL test method based on variable parameter motor model for developing automotive MCU [J]. *Electric Machines & Control Application*, 2020, 47(7): 79-86.
- [25] CIOPINSKI L. Methodology of an energy efficient-embedded self-adaptive software design for multi-cores and frequency-scaling processors used in real-time systems [J]. *Electronics*, 2025, 14(3): 556-556.
- [26] ROBERTO A, ANDREA B, CARLOTTA C, et al. Apeiron: A framework for the development of smart

- TDAQ systems [J]. EPJ Web of Conferences, 2025, 319.
- [27] SANTORO F, WALSH L S, STILLERMAN J, et al. A more flexible design for MDSplus device drivers [J]. Fusion Engineering and Design, 2025, 211: 114771.
- [28] TAO W, LI W, PENG F Y, et al. Application of embedded Linux in the design of internet of things gateway [J]. Journal of Intelligent Systems, 2022, 31(1): 1014-1023.
- [29] ADAM G K, PETRELLIS N, DOULOS L T. Performance assessment of Linux kernels with PREEMPT\_RT on ARM-based embedded devices [J]. Electronics, 2021, 10(11): 1331-1358.
- [30] 王润琪, 欧阳益锋. 基于 QT 的触摸屏驱动在 LINUX 下的应用设计[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(12): 1429-1430.
- WANG R Q, OUYANG Y F. Application design of touch panel's driver in Linux system based on QT [J]. Computer Measurement & Control, 2005, 13(12): 1429-1430.
- 
- 收稿日期:2025-07-01  
收到修改稿日期:2025-08-21  
作者简介:  
郑 虹(1969-),女,学士,高级工程师,研究方向为智能化检测技术开发和应用,919831624@qq.com;  
\* 通信作者:林晓春(1981-),男,硕士,高级工程师,研究方向为电气安全检测,linxiaochun@t-breaker.com。