

[智能变电站]

辅控传感设备协议检测平台的设计与实现

文/宿 为 李韦江 商佳文 王 煜 陆 掾
国网电力科学研究院有限公司

前端传感设备是智能变电站的“一线守护者”，其精度、量程和响应灵敏度等参数对变电站智能化程度有重要影响。基于C#编程语言，采用创新的五层架构法，设计了一套辅控系统前端传感设备与终端设备协议一致性的检测平台，用于第三方检测实验室的前端传感设备协议一致性的自动检测，提高了检测人员效率，提升了检测质量，消除了人员差异化因素影响。

随着国家电网规模的不断扩大，运维人员的工作任务日益增加，传统变电站不再适合当下的需求。与传统变电站相比，智能变电站融合了远程可视化运维与无人值守技术。智能电网技术改进、区间差异及变电规模的限制等给智能变电站带来了全新的挑战，使其在使用中须面对较高的突发性与未知性，同时提升了长时期内安全稳定运行的难度。因此，智能变电站具备智能、自主及敏捷等优点，同时能够满足高协同需求。

智能变电站的特征之一是智能化设备的应用。智能化设备包括测控保护装置、智能远动机、智能终端、合并单元及传感设备。其中，传感设备采集的数据是基础数据的来源，支撑其他逻辑运算与控制功能，在变电站多传感设备数据融合远程监控架构中，传感设备的地位非常重要。随着智能变电站的大量投运，传感设备的招投标量也在不断增大，国家电网各省市公司将传感设备的质量监督工作委托给第三方检测实验室。传感设备需要与辅控系统的终端设备通过RS 485接口进行对接，采用Modbus协议通信，通信协议一致性检测是检测过程中的基础和重点项目。传统的Modbus协议一致性检

测方式是采用人工与标准协议逐字节校对的方式，该方式人工耗时长，不利于大批量投标产品的检验工作，且该方法人工操作性强，检测过程质量无法管控，易受人员操作差异性影响，导致检验结果出现假性合格或者假性不合格的现象。为了规避该风险，提高检测人员效率，提升检测质量，本文基于C# Winform架构，设计了一套Modbus协议一致性检测系统。该系统在一次集中招标传感设备的型式检验中发挥了重要作用。

辅控系统架构

智能变电站系统整体架构如图1所示，辅控系统架构是图1中部署于变电站安全Ⅱ区的系统。辅控系统是通过对接变电站内一次设备在线监测、安防监控、消防监控、动环监控和智能锁控等设备的信息共享、应用功能集成、操作及告警联动，为变电站综合监控提供辅助支撑的系统。其中，动环监控功能需要前端传感设备实现数据采集，采用国网高可靠标准中定义的Modbus协议，将数据上送至数据汇聚层终端，再经由交换机上送至辅控系统后台。

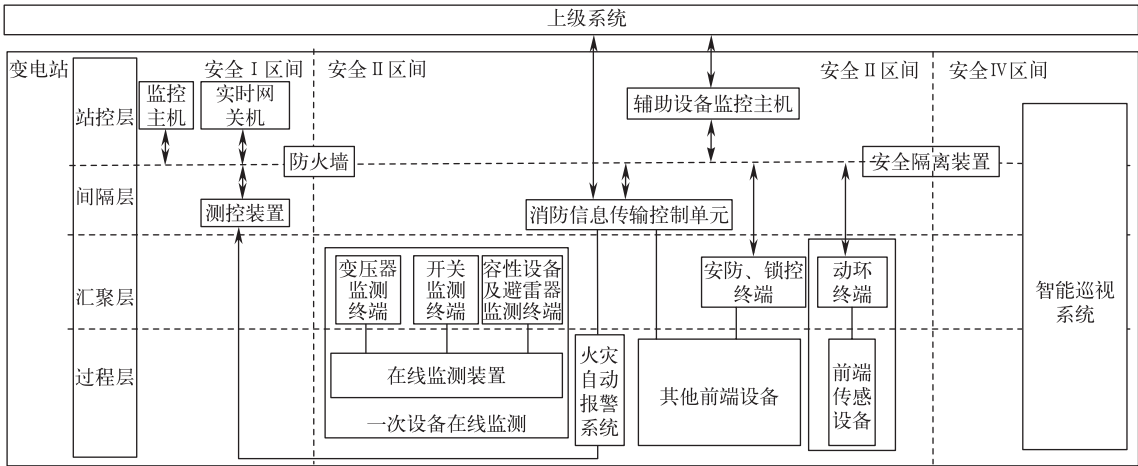


图1 智能变电站系统整体架构

软件需求分析

软件的主要功能是实现辅控系统前端传感设备的入网接口协议自动化检测功能，即图1中前端传感设备与动环终端接口。按功能设计界面的方式，分别对协议与串口配置和主界面的软件需求进行分析，如图2和图3所示。

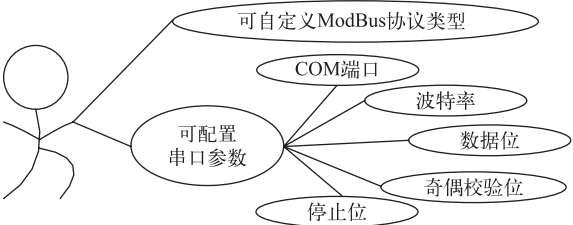


图2 协议与串口配置需求

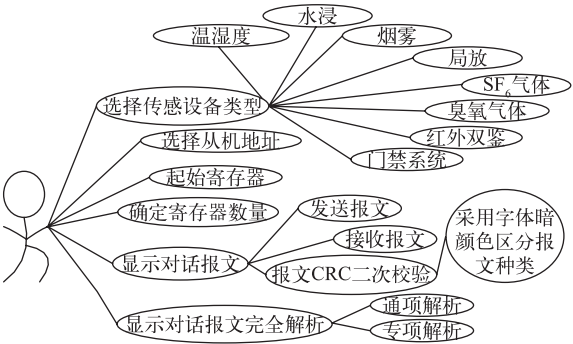


图3 主界面配置需求

用户根据产品划分自定义通信类型，有传统Modbus RTU协议和高可靠型协议等，也可按照不同省市公司招投标的批次进行分类，并且可以自定义选择串口的通信参数，如COM端口、波特率、奇

偶校验位及停止位等。

该自动化测试平台的UI交互主界面采用多视窗架构进行设计，将有效数据平铺展示，增强数据的直观性。前端传感设备信息的通项解析和专项解析条目采用2022年浙江省电力公司招投标前端传感设备需求进行分析，条目见表1。

表1 2022年浙江省电力公司招投标前端传感设备的通项和专项解析条目

序号	解析类型	适用对象	内容
1	通项解析	所有传感设备	厂家代码
2			厂家名称
3			硬件版本
4			软件版本
5			设备序列号
6			通信地址
7			波特率
8	专项解析	温湿度传感设备	温度
9		温湿度传感设备	湿度
10		水浸传感设备	水浸监测状态（正常、告警、无效值）
11		烟雾传感设备	烟雾监测状态（正常、告警、无效值）
12		局放传感设备	局放监测状态（正常、告警、持续关注、重点关注、自检故障、无效值、均值、采样峰值、峰值相位、脉冲次数、局放状态）
13		SF ₆ 监测传感设备	氧气浓度（正常、SF ₆ 异常告警、氧气异常告警、无效值）
14		臭氧传感设备	臭氧浓度（正常、臭氧异常告警、无效值）
15		门禁传感设备	门禁状态（正常、告警、无效值）

软件设计

1. 架构设计

该平台基于C#语言编写。下面分别介绍总体架构及通信、线程和CRC16循环校验三个核心模块的

设计流程。

平台架构的设计在使用传统的UI交互层、业务逻辑层和数据访问层三层架构基础上开创思维，将平台软件架构拓展为五层架构，如图4所示。

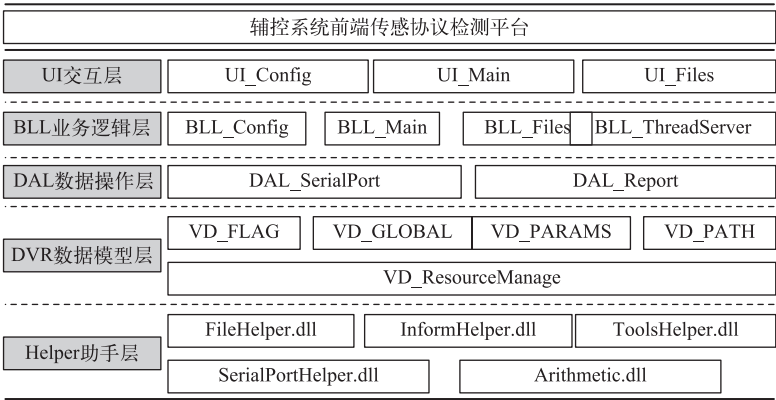


图4 平台架构设计

UI交互层是软件界面的设计，控件引用CSkin控件包，比原生控件包更美观。UI交互层分为常态操作组和线程等待组。常态操作组是用户进行任意操作与配置的界面类型，线程等待组是用于耗时线程的可视化界面类型。

BLL业务逻辑层用于处理界面前端的数据合理性校验和规范类数据的装箱与拆箱工作。

DAL数据操作层是以事件方法作为呈现的，主要功能是与文件、数据库、通信链路等进行数据交互操作。DAL数据操作层有效地将复杂的操作流程与UI交互层和业务逻辑层隔离，仅通过遥信告警将事件的处理结果更新至全局变量中，供各层级访问与获取，在数据关联性上实现了解耦合，提高了平台的模块化设计水平。

DVR数据模型层是数据介质，主要用于各种类数据的存储，方便同一对象的多重属性集中式管理，类似于C语言中的结构体。同时，该层还包括全局变量、线程资源管理等数据源。

Helper助手层采用调用*.dll文件的方式，DLL是采用C#语言编写后编译生成的动态链接库工程文件。引用库工程文件的优势是便于版本管控，不论库方法如何修改，在主程序中均能实时更新，在协同开发过程中，这个优势更加显著。每一个动态链接库文件均是一个工具类。例如算法工具Arithmetic.dll负责图像压缩、通信报文校验等算法的具体功能实现。

2. 通信模块设计

Modbus通信模块设计流程如图5所示。

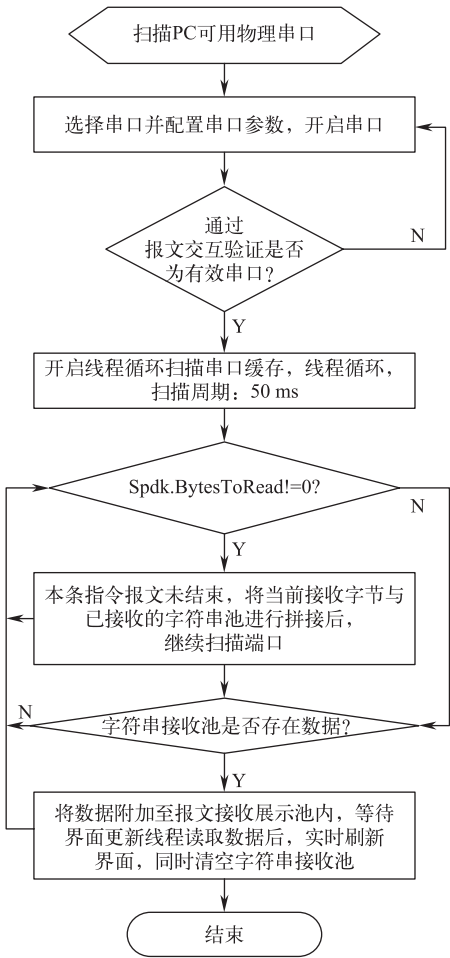


图5 通信模块设计流程

有效报文的监视采用端口循环扫描的策略实现，在端口缓存区有效数据被取出，并清空后的50 ms以内，端口再次接收存储于缓存区的报文，视为与上一帧有效报文属于同一条报文，应拼接至已接收报文字符串的末位。

3. 线程模块设计

在Winform架构中，线程是一种可以与UI控制和显示等一系列用户操作并行的类后台运行机制。在Modbus通信设计过程中，采用线程的方式实现端口的循环扫描，使界面操作无卡顿现象，增加UI的交互体验感。

线程模块的设计流程如图6所示。

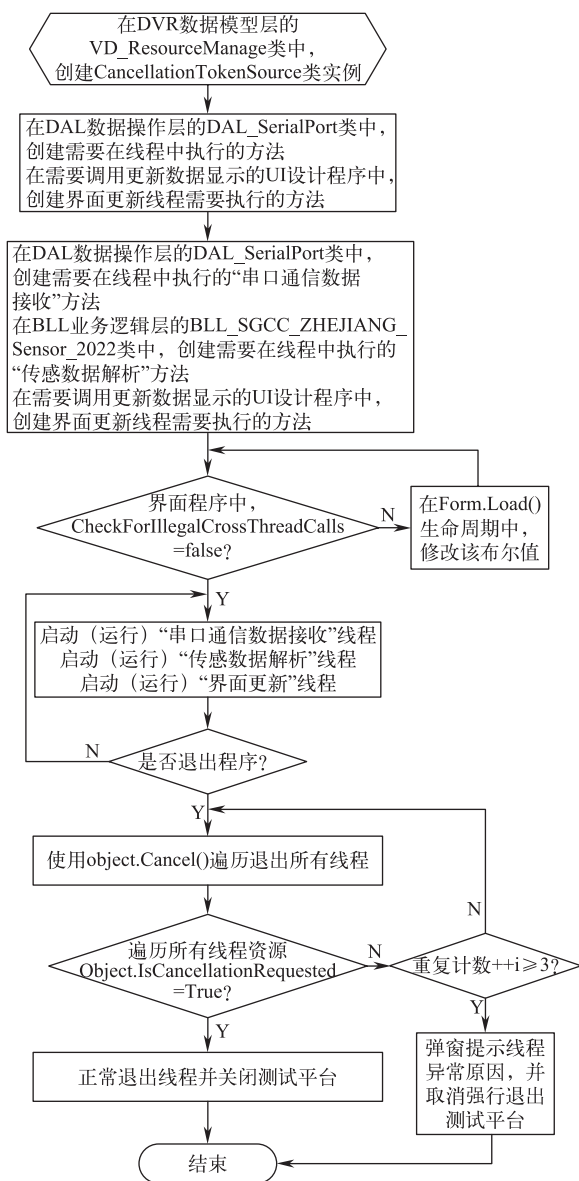


图6 线程模块设计流程

CancellationTokenSource类是线程开发中使用的对象类。该类与Thread类均属于同一个命名空间System.Threading。两者最显著的区别是：前者拥有退出线程的方法object.Cancel()和线程退出标志位object.IsCancellationRequested。该退出线程的方法可在程序对需要操作线程对象的可访问域的任意位置进行调用，线程状态亦可在程序对需要操作线程对象的可访问域的任意位置进行访问获取。将线程模块分为可视化和非可视化线程模块：可视化线程模块，即采用进度条或等待提示窗等方式，与UI交互，提升用户体验；非可视化线程模块，主要用于数据更新及端口缓存区扫描工作，在UI不发生死锁、主线程阻塞的状态下，完成数据交互及更新功能。

4. CRC16校验模块设计

该测试平台采用CRC16循环冗余校验法，对报文格式及数据完整性进行校验，该方法能够检查前端设备和终端设备双向通信报文发生丢失或其他数据异常状态，避免接收方将错误的采集数据用于参与其他事件化处理流程，从而给出错误控制命令或异常状态响应，导致电网发生重大事故。

CRC16的源代码为

```

public static byte[] CRC_16(byte[] data)
{
    int len = data.Length-2;
    if (len > 0)
    {
        ushort crc = 0xFFFF;
        for (int i = 0; i < len; i++)
        {
            crc = (ushort)(crc ^ (data[i]));
            for (int j = 0; j < 8; j++)
            {
                crc = (crc & 1) != 0 ? (ushort)
                ((crc >> 1) ^ 0xA001) : (ushort)(crc >> 1);
            }
        }
        byte hi= (byte)((crc&0xFF00)>>8);
        byte lo=(byte)(crc&0x00FF);
        return new byte[] { hi, lo };
    }
    return new byte[] { 0, 0 };
}
    
```

该模块的形参byte[] data是接收的前端传感设备

传输的报文数据。CRC16校验方法默认完整数据是携带CRC16检验码的，即最后两个字节存储的是前端设备通信传输时自带的两个CRC16校验码，故平台在校验报文完整性时应不包含最后两个字节。

Petri网建模与仿真

软件平台研发过程中，系统逻辑处理的死锁、竞争等性能问题是致命的，可能导致检测过程受阻。为了提高系统的鲁棒性，在平台业务逻辑设计中采用Petri网建模仿真的模式，对系统逻辑设计进行优化。辅控系统前端传感设备协议检测平台主逻辑的Petri网建模如图7所示，各元素含义见表2。模型构建完成后，采用random模式对该模型进行系统仿真，模型仿真初始条件为库所p0~p2均具备一个Token。图7

中橙色变迁代表仿真流程的下一帧可选变迁阵列。

仿真结果显示，检测平台主逻辑设计无死锁、无竞争，证明该检测平台设计无明显业务逻辑缺陷。

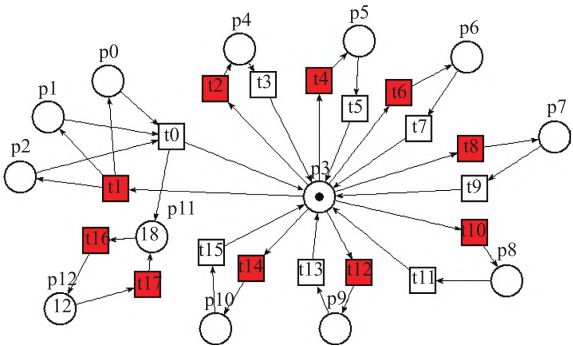


图7 检测平台主逻辑的Petri网建模

表2 平台的Petri模型元素含义

库所	含义	变迁	含义
p0	物理串口选择	t0	打开串口，并指定拆箱/装箱协议
p1	协议类型选择	t1	断开串口（或者更换拆箱/装箱协议）
p2	串口参数配置	t2	点击清空报文显示区
p3	检测主页面	t3	鼠标离开清空报文显示按钮
p4	清空报文显示操作	t4	下拉传感设备选项进行筛选
p5	选择传感设备类型	t5	选定传感设备类型
p6	定义从机地址	t6	填写从机地址
p7	选择读/写功能	t7	回车键，确定从机地址
p8	定义起始寄存器索引	t8	下拉指令功能进行筛选
p9	定义寄存器数量	t9	选定指令功能
p10	鼠标停留报文显示区，可对报文进行操作	t10	填写起始寄存器索引
p11	扫描串口缓存区线程	t11	回车键，确定起始寄存器索引
p12	将缓存区数据保存并实时更新展示	t12	填写寄存器数量
		t13	回车键，确定寄存器数量
		t14	鼠标进入报文显示区
		t15	鼠标迁出报文显示区
		t16	进入串口缓存区扫描周期
		t17	退出串口缓存区扫描周期

平台测试

图8是辅控系统前端传感设备检测平台的硬件测试回路。

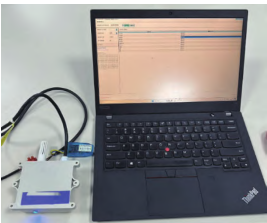


图8 硬件测试回路

辅控系统前端传感设备检测平台部署在Windows7及以上的系统，采用USB转RS 485接口模块，与辅控系统前端传感设备进行硬件链路连接。

平台测试采用水浸传感设备作为测试硬件。该传感设备连接成功后，总召前端设备信息与数据如图9所示。灵活地切换水浸传感设备的水浸状态，检测平台能够实时更新传感设备状态。

平台接收数据并自动解析，基础信息与样品信息数据库中登记的样品信息能够实现自动比对。在一定程度上，减少了批量招投标样品的检验检测工

该检测平台在2022年浙江省一次集中招标的样品检验检测工作中发挥了重要作用。

本文以辅控系统前端传感设备检测方法为研究对象,设计开发了一套基于C# Winform的协议检测平台。该平台采用五层架构设计理念,有效地实现了辅控系统前端传感设备协议一致性及功能的自动化检测。同时,在检测平台的开发过程中,采用Petri网建模工具,对平台业务处理逻辑建立模型并仿真分析,消除研发过程中逻辑死锁、业务竞争等系统架构设计缺陷,减少了增大内存开销、出现内存泄漏等潜在风险。

(收稿日期: 2023-05-16)

[1] 栾士岩, 杨晶鑫, 王永辉, 等. 智能变电站远程可视化运维与无人值守技术研究与实现[J]. 电气应用, 2023, 42(1): 7-14.

[2] 笃峻, 叶翔, 葛立青, 等. 智能变电站继电保

- [3] 金东, 关于变电站变电运行管理的探索[J]. 科技与企业, 2015(24): 22. DOI: 10.13751/j.cnki.kjyqy.2015.24.019.
- [4] 郑明亮. 探讨变电站变电运行管理的几点措施[J]. 通讯世界, 2014(17): 54-55.
- [5] 冯西培, 张宇, 王鸿洋, 等. 基于“微中心”理念的轨道交通既有线路站点改造提升研究[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(3): 52-57.
- [6] 牛亮, 王沙沙, 李满春, 等. 智能变电站二次回路故障智能诊断技术研究[J]. 电气应用, 2022, 41(3): 22-27.
- [7] 周雨霏, 杨家文, 周江评, 等. 基于热力图数据的轨道交通站点服务区活力测度研究——以深圳市地铁为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(5): 875-883. DOI: 10.13209/j.0479-8023.2020.054.
- [8] 郭婧娟, 田芳. 基于知识图谱的轨道交通领域BIM研究现状分析[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2020, 19(3): 74-82. DOI: 10.16797/j.cnki.11-5224/c.20200723.001.
- [9] 王振, 邱慧. 变电站多传感器数据融合远程安保预警系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(2): 152-155, 160. DOI: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2023.02.152.
- [10] 苏适, 张征容, 谢青洋. 智能变电站发展综述[J]. 云南电力技术, 2021, 49(5): 6-8.
- [11] 高元隆, 吴成明, 张磊. 基于C#的配网在线监测系统设计与实现[J/OL]. 电子科技: 1-7[2023-05-10]. DOI: 10.16180/j.cnki.issn1007-7820.2024.09.004.
- [12] 杜振中. 高校运动信息管理系统在计算机视域下的设计与实现研究[J]. 现代电子技术, 2020, 43(24): 105-109. DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2020.24.027.
- [13] 冉宁, 寇梦娇, 郝真鸣, 等. 一种基于Petri网的无人机物流配送建模方法[J]. 电子测量技术, 2022, 45(15): 90-99. DOI: 10.19651/j.cnki.emt.2210317.