

[智能巡视]

变电站智能巡视系统检测平台的Petri网建模与设计

文/宿 为 虞 昶
国网电力科学研究院有限公司

针对220 kV及以下变电站智能巡视系统各组成部分之间的通信接口,采用Petri网建模分析,消除竞争与死锁,设计了一套基于C# Winform架构的接口协议一致性检测平台。与以往人工接口协议测试方法相比较,该平台实现了自动化测试,准确率和检测效率均有显著提升,是保证即将入网的变电站智能巡视系统质量的可靠手段。

位于变电站安全Ⅳ区的智能巡视系统由区域巡视主机、智能分析主机、边缘节点、摄像机、机器人和无人机等部件组成,整合了电力设备非接触检测技术、多传感器融合技术、模式识别技术、导航定位技术和物联网技术,具备区域内全部变电站的数据采集、自动巡视、智能分析、实时监视和智能联动等功能,提高了变电站信息共享的效率与安全性。面对智能巡视系统结构复杂、业务逻辑交互频繁的特点,系统的入网检测愈发重要,其中系统各部件之间的接口协议一致性测试是系统接入性能的关键项目,也是功能测试顺利进行的保障。通信协议包括TCP/IP、UDP和MQTT协议等,标准协议指令数量多达1 000条以上,人工检测无法保证效率及公平性。

本文设计了一套接口协议一致性检测平台,该平台汇集了智能巡视系统中各部件模拟器,可以实现不同接口的协议一致性自动化测试,大幅缩短检测时间,快速定位问题,有效提升检测效率和准确性,消除人员差异性因素影响。该系统已被引入第三方检测单位,在一次220 kV及以下区域型智能巡视系统的专项检测中发挥了重要作用,具有一定的推广价值。

搭建测试回路

变电站区域型智能巡视系统检测平台由硬件测试回路和软件检测平台共同组成。硬件测试回路如图1所示。

上级系统可连接多个区域巡视主机,具有下发巡视任务、接收巡视结果数据、控制前端设备、实时监控前端设备运行状态及环境数据、查询任务闭环率等功能。

区域巡视主机的功能与上级系统一致,同上级系统通过TCP/IP进行交互。同时,还能与智能分析主机建立连接,能够调用智能分析主机的服务,对巡视结果的图像进行智能分析,并形成巡视报告。

智能分析主机具有对指定分析类型的图像进行识别和判别功能,并将分析结果回传至区域巡视主机。

边缘节点是部署在变电站的汇聚装置,具有巡视管理、任务执行、数据采集与上传、智能联动和静默筛选等功能,同时具备与主辅监控系统及区域巡视主机交互的功能。

检测平台模拟并完全替代硬件测试回路中的任意一个部件,进行对上或对下的接口协议一致性检测,并配合完成其他功能项目检测。

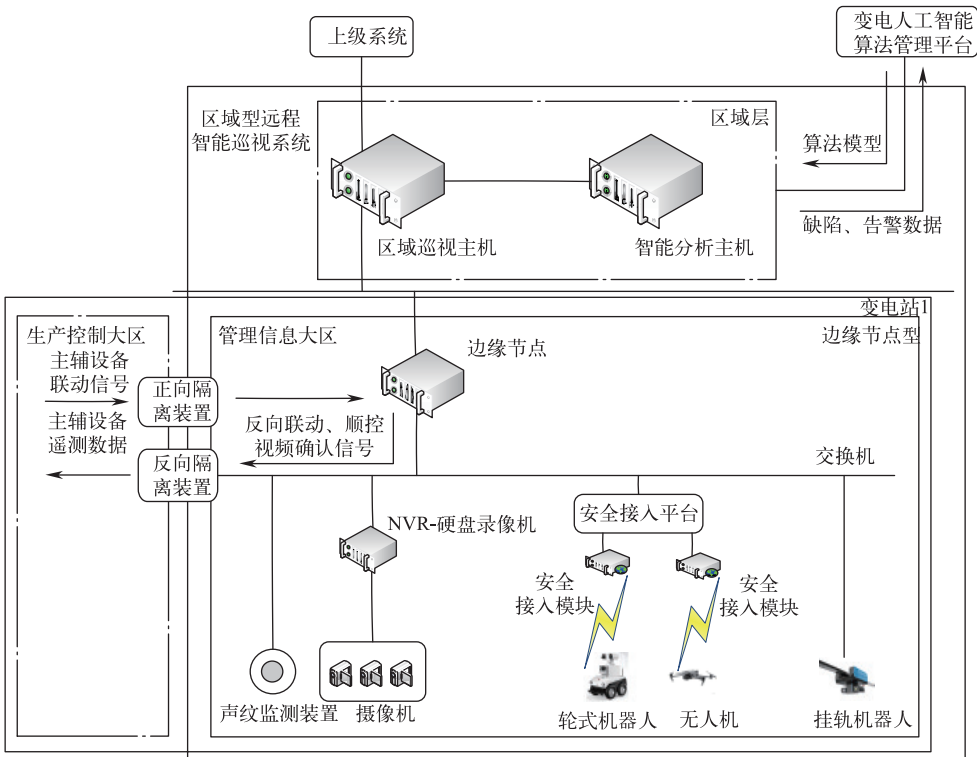


图1 硬件测试回路

平台设计

1. 需求分析

系统检测平台模拟部件、协议及接口对象见表

1。因接口较多，指令模块较复杂，本文仅针对综合前端模拟器的需求进行详细分析，其需求如图2所示。

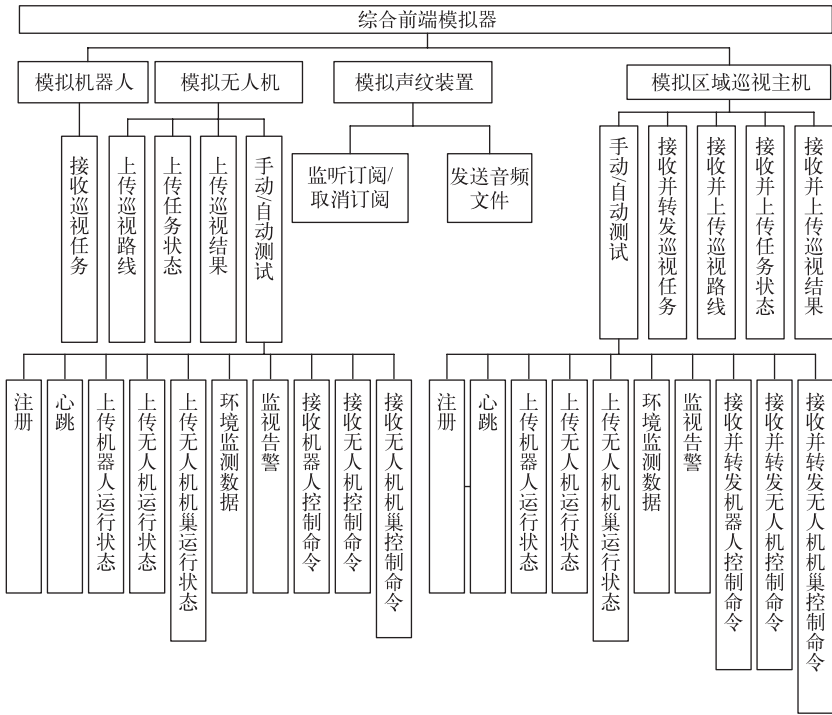


图2 综合前端模拟器需求分析图

表1 系统检测平台模拟部件、协议及接口对象表

模拟部件		协议	接口对象	需求
综合前端设备	机器人	TCP/IP+FTP	边缘节点	具有完成注册、心跳、环境检测、巡视路线巡视结果等信息的上传功能
	无人机		边缘节点	测试声纹设备挂载能力及双通道音频文件字节序传输与存储一致性
	声纹	MQTT+TCP/IP	边缘节点或区域主机	具有完成任务下发、设备控制及设备运行状态、环境监测及巡视结果等数据接收功能
	区域巡视主机	TCP/IP+FTP	边缘节点	具有完成任务下发、设备控制及设备运行状态、环境监测、巡视结果等数据的接收功能以及任务闭环率查询等功能
上级系统		TCP/IP+FTP	区域主机	具有从区域主机接收图片进行分析并反馈结果的功能；具有从区域主机接收算法更新并反馈更新结果反的功能
区域巡视主机与智能分析主机	区域巡视主机	TCP/IP+FTP	分析主机	具有从区域主机接收图片进行分析并反馈结果的功能；具有从区域主机接收算法更新并反馈更新结果反的功能
	智能分析主机		区域主机	具有资源文件同步、监控索引点位发送、一键顺控及反向联动的功能
主辅设备		UDP+CIM/E格式文件	边缘节点	具有资源文件同步、监控索引点位发送、一键顺控及反向联动的功能

2. 设计方案

平台架构设计如图3所示，在经典的三层构架方案上，增加DVR层和Helper层。这种新型架构方案延展并细化到各模块的设计中。

DVR层包含数据模型、变量及线程资源管理，Helper层由多个动态链接库项目组成，每个项目均可独立开发与维护，实现开发解耦合，提高开发效率和安全性。

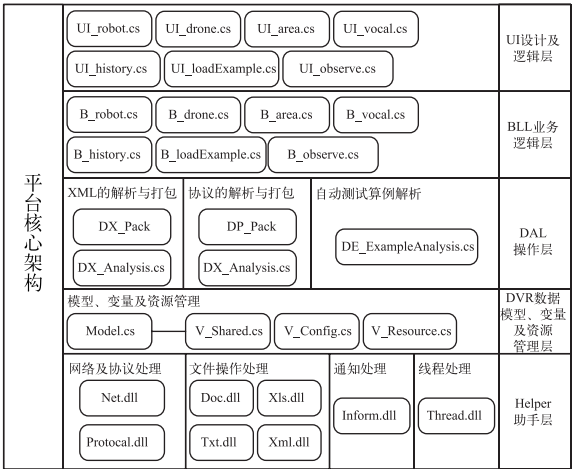


图3 平台核心架构

3. Petri网建模

研发过程中为了发现并解决系统逻辑处理的死锁、竞争等性能问题，提高系统的鲁棒性，在页面设计中采用Petri网建模仿真的模式，对系统设计进行优化。

本节详细描述综合前端模拟器界面的Petri网模型，如图4所示，各元素含义见表2。其中，各模拟部件的页面设计框架一致，即库所p2、p9、p10、p11、p12和变迁t1、t5、t15~t20的设计框架一致，故本文模型仅详细展示机器人的Petri网模型。采用Random模式对该模型进行系统仿真，仿真结果无死锁，无竞争，验证了平台逻辑设计无明显缺陷。

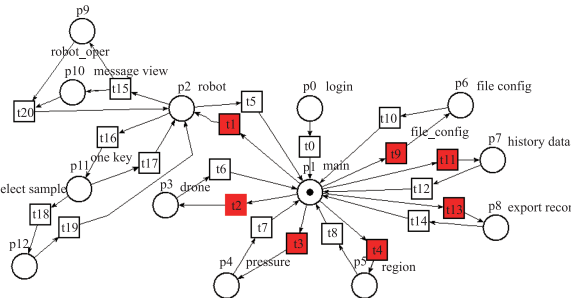


图4 综合前端模拟器的Petri模型

表2 综合前端模拟器Petri模型元素含义

库所	含义	变迁	含义
p0	登录页面	t0	采用用户名密码，登录成功
p1	主页面	t1	模拟机器人
p2	机器人测试主页面	t2	模拟无人机
p3	无人机测试页面	t3	模拟压力测试站
p4	压力测试页面	t4	模拟区域主机
p5	区域主机测试页面	t5	结束模拟机器人
p6	Json配置文件选择页面	t6	结束模拟无人机
p7	历史数据页面	t7	结束模拟压力测试站
p8	导出报告后台线程	t8	结束模拟区域主机
p9	机器人测试主页面内框架-指令框	t9	导入Json配置文件
p10	机器人测试主页面内框架-消息表框	t10	退出Json配置文件选择
p11	选择一键测试算例	t11	查看历史报文
P12	自动测试后台线程	t12	退出查看历史报文
		t13	启动导出报告后台线程
		t14	退出导出报告后台线程
		t15	鼠标移动至内框架
		t16	开启一键测试
		t17	人工退出一键测试
		t18	确认自动测试算例
		t19	自动测试完成
		t20	鼠标离开内框架

4. 消息处理机制

在实际的智能巡视系统投运过程中，同一个IP地址对应不同设备的情况较为普遍，所以在消息处理机制的设计环节采用通信唯一标识的方式应对这个问题，唯一标识对照见表3，采用标识名与数字序号结合的方式，数字序号在数据库中可递增，但是不能重复。同时，同一设备多条信息处理，采用消息序列号机制，根据收发性质不同分为接收序列号和发送序列号，以此记录存储消息序列。

表3 唯一标识对照

含义	唯一标识
机器人	Robot01
无人机	Drone01
边缘主机	Edge01
区域巡视主机	Region01
上级系统	Host01

平台测试

实际测试过程中，采用某个厂家的全套设施，包括边缘主机、区域巡视主机、智能分析主机、交换机、摄像机和NVR等必要的组成设备，按图1的架构将所有设备的物理硬件连接后开始检测，测试现场如图5所示。



图5 检验检测现场

综合前端模拟器分别模拟机器人、无人机、边缘节点及区域巡视主机，测试厂家的前端与边缘主机接口协议一致性和边缘主机与区域主机的协议一致性，能够实现图2的所有功能，且程序未发生死锁，CPU占用率较低，消息处理无延时、不错乱。平台的其他模拟器均采用类似的方法独立测试，都得到了较好的测试结果，验证了变电站智能巡视系统检测平台的功能。

结束语

本文以变电站智能巡视系统的检验检测方法为研究对象，设计开发了一套基于C# Winform的变电站智能巡视系统检测平台，采用新三层架构设计理念 and Petri网建模仿真分析，分别设计综合前端模拟器、上级系统模拟器、区域巡视主机与智能分析主机模拟器和主辅设备模拟器，利用TCP/IP、MQTT等技术协议将设备接入网络，实现了变电站智能巡视系统各部件接口协议一致性及功能的自动化检测。以综合前端模拟器为例进行测试，结果表明，设计的测试平台能够完全模拟变电站机器人、无人机、声纹装置及区域巡视主机，有效地进行注册、心跳、环境监测数据交互、控制指令交互等接口性能与功能的验证工作，为区域型智能巡视系统的接口协议一致性及功能的检测提供了新思路、新方法和可靠的测试平台，大幅缩短检测时间，快速定位问题，有效提升检测效率和准确性，消除人员差异性因素影响，具有一定推广价值。EA

(收稿日期：2023-04-20)

参考文献

[1] 韩柳, 吴聪颖, 肖智宏. 新型数字智能变电站监控及巡视系统应用研究[J]. 现代电子技术, 2023, 46(3): 156-160. DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2023.03.029.

[2] 马银戎, 刘庆东, 鲍慧. 变电站智能巡视后台管理系统的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 125-129.

[3] 曹楠, 李刚, 王冬青. 智能变电站关键技术及其构建方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 63-68.

[4] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 24-27.

[5] 李江成, 刘建戈, 张鹏宇, 等. 变电站数字孪生技术研究与应用[J]. 电气应用, 2022, 41(7): 29-36.

[6] 蔡杰, 陈富国, 陈亮. 一种模型自动更新的变电站智能巡视系统设计[J]. 河南科技, 2021, 40(15): 23-26.