

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0147-06

配网物资新型智能检测装置的通信接口设计

向彬¹,熊虎¹,李家源¹,杨帆¹,杨志淳¹,刘志雄²,龚德凤³(1. 国网湖北省电力有限公司电力科学研究院,湖北武汉430077; 2. 武汉大学电气与自动化学院,湖北武汉430072;
3. 湖北金浪高科技发展有限公司,湖北武汉430074)

摘要:针对目前配网物资检测系统中出现的大量新型智能检测设备,提出了一种新型智能检测设备接入配网物资检测系统的通信接口设计。首先根据配网物资检测工作流程和业务特点,将配网物资检测系统按业务功能划分为4层架构;考虑到目前配网物资检测存在新旧检测设备的实际情况,使用直接接入和通过代理接入两种方式。比较了常用的物联网通信协议,提出HTTP协议比MQTT协议更适合于配网物资检测系统的通信。设计了一种基于JSON格式和HTTP协议的新型智能检测设备的应用层通信接口,使用了基于随机会话号和随机密钥的shaHmac256报文加密方法。最后根据所设计的通信协议,给出了通信报文实例。所设计的通信接口充分考虑了配网物资检测的实际需求,易于实现,安全性好,可适应配网物资检测业务的快速发展。

关键词:配网物资检测;新型智能检测装置;分层架构;通信接口;HTTP;报文加密

中图分类号: TP277;TN915.04

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)02-0147-06

Design of communication interface for new intelligent devices of power grid material inspection

XIANG Bin¹, XIONG Hu¹, LI Jiayuan¹, YANG Fan¹, YANG Zhichun¹,LIU Zhixiong², GONG Defeng³(1. Electric Power Research Institute of Hubei Power Grid Company, Wuhan 430070, Hubei, China;
2. School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China;
3. Hubei King Lang High Tech Development Co., Ltd., Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: A communication interface design for connecting a new type of intelligent testing equipment to the material inspection system is proposed, which in response to the emergence of a large number of new intelligent detection devices in the current power grid material inspection. Firstly, based on the workflow and business characteristics of power grid material inspection, the distribution network material testing system is divided into a 4-layer architecture according to business functions. Then, considering the actual situation of existing new and old testing equipment in the distribution network material testing, two methods are used: direct access and proxy access. After comparing commonly used IoT communication protocols, it is proposed that HTTP protocol is more suitable for communication in distribution network material detection systems than MQTT protocol. It designs an application layer communication interface for a new intelligent detection device based on JSON format and HTTP protocol, using a shaHmac256 message encryption method based on random session numbers and random keys. Finally, based on the designed communication protocol, a communication message example is provided. The designed communication interface fully considers the actual needs of distribution network material testing, is easy to implement, has good security, and can adapt to the rapid development of distribution network material testing business.

Keywords: power grid material inspection; new type of intelligent testing equipment; layered architecture; communication interface; HTTP; message encryption

随着电力系统的发展,大量的新型智能物资检测设备开始投入应用。目前,在配网物资质量管控平台中,存在着各种类型、功能各异的检测设备,其通信物理接口不统一,通信协议一般是由厂家自定义;通信逻辑层次不清晰,设备之间无法互相通信,也难以接入电网物资检测系统。因此,配网物资质量检测结果一般由现场检验人员手工记

录,然后人工录入到物资检测系统,工作效率低下。

随着新型电力系统的发展,“云大物移智链边”等新技术在配网物资管控平台中得到广泛的应用^[1-6]。但是,在配网物资检测系统中设备通信接口方面,目前电力部门并没有明确的规范来指导厂家进行开发,导致目前新型智能检测设备未能很好地接入现有的物资检测系统。

收稿日期:2024-05-09;录用日期:2024-05-21

作者简介:向彬(1992—),男,硕士,高级工程师,从事电网设备状态检测方向的研究。

引用本文:向彬,熊虎,李家源,等.配网物资新型智能检测装置的通信接口设计[J].自动化技术与应用,2026,45(2):147-152.(XIANG Bin, XIONG Hu, LI Jiayuan, et al. Design of communication interface for new intelligent devices of power grid material inspection[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(2):147-152.)

新型智能检测设备接入配网物资检测系统是一个典型的物联网接入应用。在物联网接入接口通信方面,针对不同行业应用,一些学者做了相关的研究。丁震针对矿山智能化建设,设计了智能化矿山通信接口与协议技术体系及模型^[7];韩康针对智能商砼站的通信应用,基于 MQTT (message queuing telemetry transport) 通信协议实现了异构场景下设备接入^[8];武丽英设计了一种 IIoT 网关,实现了串口通信协议和 MQTT 协议之间的转换^[9]。

目前,在配网物资检测系统中检测设备的接入通信接口方面,国内外未见相关研究。针对配网物资检测系统应用需求,提出一种新型智能检测设备接入物资检测系统的通信接口设计。所设计的通信接口充分考虑了配网物资检测的业务需求,易于实现。

1 物资检测业务分析及系统架构

1.1 电网物资检测业务

电网物资质量管控平台业务整体流程如图 1 所示,包括计划制定、现场抽样、物流送样、试验检测和结果反馈环节^[8]。

目前,一些新技术,如机器学习、区块链、物联网引入了配网物资质量管控^[10-11]。各省地市物资部门开发了相关的管控平台软件。

1.2 系统架构分层

根据业务流程,本文提出可将配网物资检测系统将系统按业务和功能划分为 4 层,物流层、检测装置层、通信层、

集控层,如图 2 所示。其中,在试样区存放着已检和待检的试样,通过物流系统由人工或者 AGV(automated guided vehicle) 机器人系统实现运送去检测。在检测装置层,检测装置又分为类固定工位检测系统、集中智能检测系统、移动检测系统(内部)、移动检测系统外部(外部)。通信层则主要由物资检测主干网、子交换机、Wi-Fi 接入网关、5G 专网 Modem 等组成。

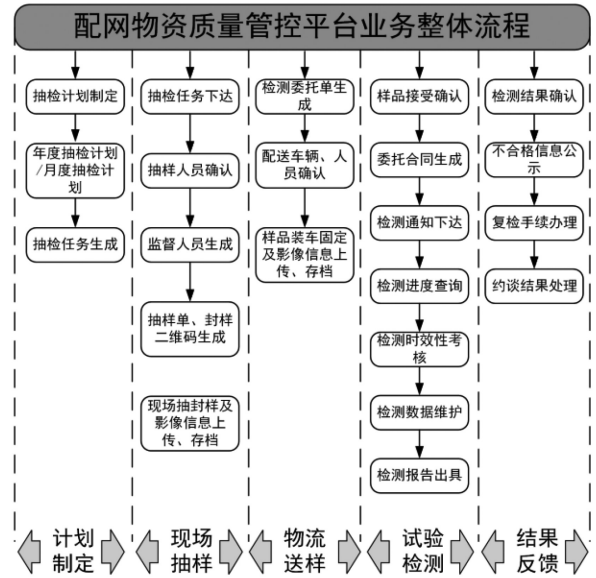


图 1 配网物资质量管控平台流程
Fig. 1 Process of distribution network material quality control platform

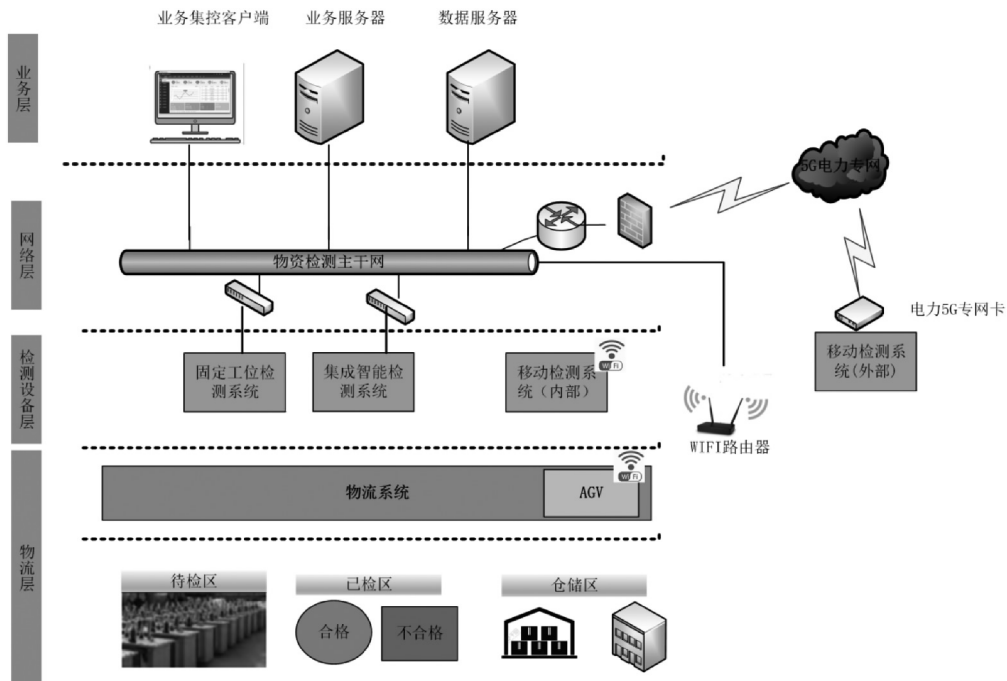


图 2 配网物资检测系统分层架构

Fig. 2 Layered architecture of distribution network material inspection system

图 2 中,固定工位检测系统、集成智能检测系统可用有线以太网或 Wi-Fi 接入主干网,移动检测系统(内部)可用 Wi-Fi 接入主干网、移动检测系统(外部)可用 5G 专网接入^[12-14],然后从网关连入物资检测主干网、AGV 机器人

可由 Wi-Fi 接入主干网。

集控层由服务器、工作站等硬件设备组成,主要运行物资检测质量管控平台软件。本文主要研究和设计检测设备层和业务层的通信。

2 通信接口设计

2.1 通信架构

配网物资检测现场存在多种类型的检测设备,有些检测设备具备以太网(RJ45、Wi-Fi)甚至 4G/5G 通信接口,有些设备则仅仅具备 232/485 通信接口。目前的新型智能检测设备生产厂家可按照所提供的通信协议开发,和平台对接,但有些设备厂家不便更改通信协议或者不具备以太网接口。因此,检测设备接入配网物资质量管控平台主要有 2 种方式,如图 3 和图 4 所示。

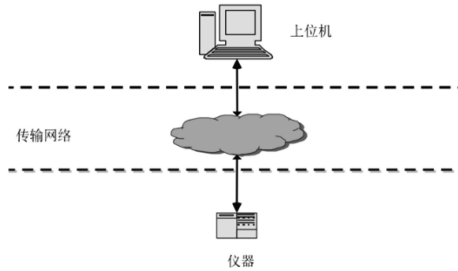


图 3 直接通信架构

Fig. 3 Direct communication architecture

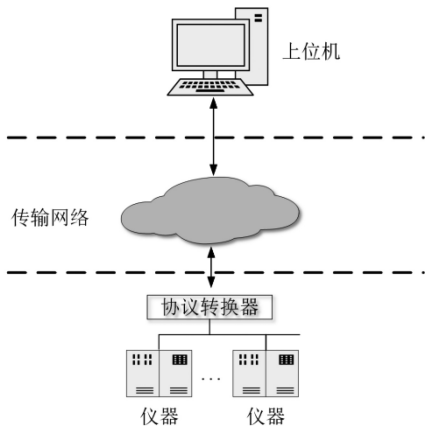


图 4 代理通信架构

Fig. 4 Proxy communication architecture

对于新型智能电力检测设备,其通信架构如图 3 所示,即检测设备和物资质量检测主站按照制定的通信规约直接通信。对于部分不便修改通信协议的设备,则开发相应的协议转换器。协议转换器提供串口、以太网口等接口,转化器和检测设备之间按照检测设备厂家通信协议进行通信,同时,协议转换器通过以太网按照本文制定的通信协议和配网物资检测主站通信。

2.2 物联网通信协议选择

配网物资检测系统属于典型的物联网应用架构,常用的物联网通信协议有 MQTT、HTTP(hyper text transfer protocol)、CoAP(constrained application protocol)等。其中,最常用的是 HTTP 和 MQTT 协议。HTTP 是一种应用广泛而成熟的物联网协议,MQTT 则是近些年来流行的物联网通信协议。这两种协议在网上有着大量的开源代码,便于移植和改造。下面分别作简单的介绍和优缺点对比。

MQTT 协议是为在低带宽、不可靠网络的远程传感器和控制设备通讯而设计的一种协议具有轻量级、网络负载

小等优点,但是在配网物资检测系统中,检测设备(除极少数外部的移动检测设备外)主要工作于局域网内,和配网物资应用系统通信时,带宽非常充足。而且,检测装置通常仅传递测量值,数据量小。因此,MQTT 通信的轻量级带宽优势在配网物资检测应用中不明显。另外,MQTT 协议有下列缺点。

1) MQTT 协议不支持文件传输和视音频传输,在配网物资检测中,经常需要传递文件、图片甚至视频。

2) 不支持与第三方 HTTP 的集成,在物资检测平台软件应用层,基于传统的 HTTP 协议的 WEB 服务器仍然占主流市场,如图 2 中所示。如果使用 MQTT 协议,服务器要实现与 MQTT 协议的互联互通,需要转换。

相比较,HTTP 协议有如下优点。

1) HTTP 协议简单非常成熟,易懂,请求和响应格式清晰,易于实现和调试。

2) HTTP 协议灵活性好,支持各种数据格式,包括文本、图像、视频、音频。

综上考虑,在配网本研究使用 HTTP 协议作为应用层协议。

2.3 传输格式

目前最常用的网络数据传输格式主要为 JSON 和 XML,对比如下。

1) XML:即可扩展标记语言。XML 是一种数据交换的公共语言。在智能电网 IE C61850 通信规约中就大量使用到了 XML 格式。但是 XML 编码较为复杂,编码后的数据量大,传输占带宽较高。服务器端和客户端都需要花费较多的资源来编码和解析 XML,代码复杂且不易维护。XML 的有效载荷太低,封装和解析效率较低。

2) JSON:它是一种轻量级的数据交换格式,易于生成和解码,直观性好。它采用完全独立于语言的文本格式,方便传递数据、字符串等。

目前,JSON 传输格式层次清晰,扩展性能好,占据物联网通信应用主流,并且网上有着 JAVA、Python、C++等多种语言的实现代码和库文件,编程简单。因此新型智能电力检测设备通信报文采用 JSON 的传输格式。

2.4 工作模式

选用请求应答工作模式。开机后测量装置主动以 HTTP 协议登录到主站。登录后,数据传输请求由主站(申请方)发起、反馈方(测量装置)回答等构成,如图 5 所示。

具体实施流程包括:发送方发送请求命令给接收方,等待接收方反馈的情况。接收方执行请求操作,接收方发送执行结果给发出方。如果发送方获得了命令结果,则任务结束,若发送方未能收集到任务信息,按任务超时处理。

请求方的请求命令发出后,启动超时计时器,若在规定时间内未收到答复,则视为超时;超时后重发,重置超时计时器;当超时重发超过规定次数(如 3 次)后,通讯结束,此时上位机断开测量装置的 HTTP 连接。测量装置会重新登录。

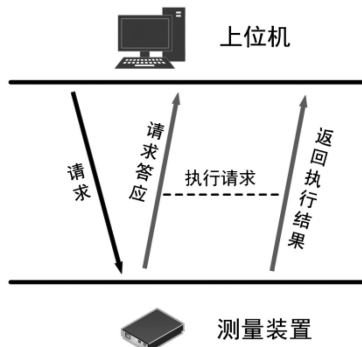


图 5 请求应答模式

Fig. 5 Request response mode

2.5 报文格式设计

按本文前述研究,所设计的通信协议中,主站和测量装置使用基于 HTTP 协议进行,使用请求应答模式进行通信。

测量设备和主站之间交互的信息主要有:注册信息交互、设备信息加交互、测量设备的配置参数交互、测量数据信息交互等。

部分主要的 HTTP 报文编码接口格式如表 1 所示。

1) 文本(数据/图像)报文格式

测量装置上传的数据,有字符串、数字、数据块、图像等,其报文格式,以请求报文格式为例,如图 6 所示。

表 1 部分 HTTP 接口格式

Tab. 1 Partial HTTP interface format

请求 url	请求方式	发送方	代表含义
/api/machine/register	GET	设备	设备首次和主站通信,向主站注册信息
/api/station/registerInfo	POST	主站	主站返回设备的注册 ID 以及注册密码
/api/station/getDeviceInfo	GET	主站	获取设备信息
/api/machine/sendDeviceInfo	POST	设备	将设备信息送给主站
/api/station/getDeviceConfig	GET	主站	获取设备配置
/api/station/setDeviceConfig	POST	主站	修改设备配置
/api/machine/sendDeviceConfig	POST	设备	将配置送给主站
/api/station/getMeasureData	GET	主站	请求设备发送测量信息
/api/machine/getMeasureData	POST	设备	将测量信息发送给主站
/api/server/exit	POST	主站	主站退出此次会话
/api/machine/exit	POST	设备	设备退出此次会话

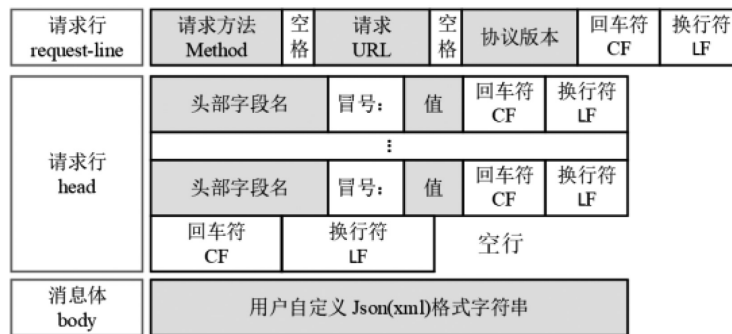


图 6 请求报文格式

Fig. 6 Request message format

2) RTSP(流媒体)报文格式

部分检测设备需要上传实时视音频给主站,可通过标准的 RTSP 协议传输音视频数据。RTSP 报文由开始行、

首部行和实体主体 3 个部分组成。RTSP 请求报文结构如图 7 所示^[5]。

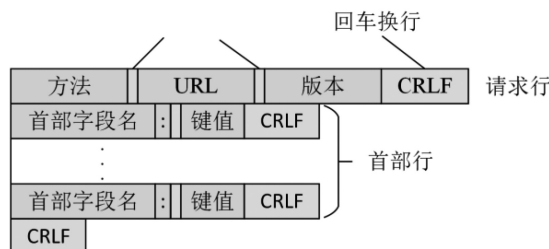


图 7 RTSP 报文格式

Fig. 7 RTSP message format

3 通信接口安全

3.1 通信安全

传统的配网物资检测业务通常在物资公司(电科院)内部进行,并不需要特别的安全防护;少数在外地及现场的检测业务,其检测设备并不远程连入电力业务网,其检测结果一般用纸质报告形式出具。随着移动检测业务的开展,越来越多的移动检测设备有着接入物资检测业务网的需求。在这种背景下,新型智能电力检测设备的网络通信鉴权必须高度重视。

3.2 网络层安全

目前,外部移动检测设备接入配网物资检测系统可依靠5G电力专网进行,以湖北省网公司为例,在移动通信安全方面,采取了如下安全措施。

湖北省网公司融合5G短切片4G短复用电力无线通信专网采用控制面和用户面双独立的安全架构,高于国调《5G电力虚拟专网承载控制类业务安全防护方案(试行)》文件要求的单纯用户面独立的安全架构,且采用七重物理隔离机制,与运营商核心网完全物理隔离,涵盖了终端、基站、承载、核心、主站等全流程环节,同时在数据安全保护、身份认证、用户隐私保护、网间信息保护等方面具有数据加密保护加强措施,使得融合电力无线专网可以被电网完全信任和规模使用^[12]。

3.3 业务层安全

在业务层使用 sessionID+access_key 的业务注册机制,并在报文内容采用 shaHmac256 加密的方式。发送方在发送报文(除注册报文外)时,对报文数据加密方式具体实施如下:

1) 物资检测管理系统中主站电脑里面保存着每个检测装置的编号(deviceID),此ID唯一,比如可用网卡的MAC地址代替。如果检测仪器没有网口,可用协议转换器的MAC地址代替。

2) 当检测装置首次和主站握手通信时,发送主站如果查看设备的握手报文 deviceID 在自己的数据库中,则针对此次会话生成一个随机的临时的 sessionID 以及 sessionKey,作为此次通话的凭证,并同时 will sessionID 以及 accessKey 返给检测装置,检测装置临时保存在本地。

3) 将代发送报文的数据内容的JSON报文编写好,然后遍历JSON结构,获得所有叶子节点的参数名,并按首字符逆序排序。得到字符串集,假设为 {para1s:XX, para2:XXX, para3:XX, ..., paraN:XX}。

4) 将本地保存的此次会话的 sessionKey 字符串也放入到3)中的字符串集中。

{ para1:XX, para2:XXX, para3:XX, ..., paraN:XX, sessionKey:XXX }

5) 将4)中的字符串拼接在一起,然后使用 shaHmac256 算法形成 sign。将 sign 的值附在报文中的 sign 字段,作为校验凭据。

接收方收到数据后首先取出报文中的 sessionID,查询本地保存的临时 sessionID 对应的 session_key,再使用该 session_key 对收到的请求数据进行一次同样的加密操作,如果发现本地计算得到的 sign 不等于数据报文中自带的 sign,则认为数据在通信中被篡改过;否则可以认为数据正常,通过数据校验和身份验证。

4 算例和实现

4.1 报文编码

测量装置收到主站的请求测量数据后,用POST报文反馈给主站信息,下面以一个配电变压器直阻测量设备反馈测量的直流电阻值为例给出设备端传输测量数据给主站的报文结构。

请求类型:POST

content-Type: application/json; charset=utf-8

数据采用JSON格式:

```
{
  "deviceID": "xxxx", //检测设备代码
  "sessionID": "xxxx", //本次会话ID
  "sign": "xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx" //数字签名
  "measures": [
    "dateTime": "yyyy-MM-dd HH:mm:ss", //数据时间
    "materialCode": "xxxx-xxx", //检测的配电变压器代码
    "manID": "xxxx", //检测人员工号
    "datas": [
      {
        "parameter": "301", //301为高压直阻代码
        "value": 3.569712 //参数数值
      }
      {
        "parameter": "302", //302为低压直阻代码
        "value": 0.008368 //参数数值
      }
    ]
  ]
}
```

4.2 报文加密

对4.1中的POST报文,可按下列步骤获得报文中的 sign 字段的值。

1) 测量装置和主站握手时获得此次会话的 sessionID 和 accessKey,由主站随机生成。

2) 遍历报文中的JSON结构,除 sign 外,得到所有叶子节点基于首字母逆序排列的集合,即

```
{ "value": 3.569712, "value": 0.008368,
  "sessionID": "xxxx", "parameter": "301", "parameter": "302",
  "materialCode": "xxxx-xxx", "manID": "xxxx",
  "dateTime": "yyyy-MM-dd HH:mm:ss",
  "deviceID": "xxxx" }
```

3) 在集合中加入 sessionKey

```
{ "value": 3.569712, "value": 0.008368, "
sessionID": xxxx, "parameter": "301", "parameter": "
302", "materialCode": "xxxx-xxx", "manID": "xxxx"
,"dateTime": "yyyy-MM-dd HH:mm:ss", "deviceID": "
xxxx", "sessionKey": "xxxxx" };
```

4) 拼接集合,得到串为

```
{ "value": 3.569712 "value": 0.008368 "sessionID":
xxxx "parameter": "301" "parameter": "302"
"materialCode": "xxxx-xxx" "manID": "xxxx" "
dateTime": "yyyy-MM-dd HH:mm:ss" "deviceID": "
xxxx" "sessionKey": "xxxxx" }
```

5) 使用 shaHmac256 算法对 4) 中的串进行加密,生成序列号,填入到报文中的 sign 字段中。

4.3 实现

协议代码采用 C++ 开发,其中,HTTP 服务及解析使用开源的 cpp-httplib 库,这是一个以 C++11 特性编写的跨平台 HTTP/HTTPS 库。使用时,只需在代码中包含 httplib.h 文件即可。该库里面提供了 HTTP 报文解析接口。

JSON 协议的封装及解码采用跨平台的开源开发包 libjson。它完全兼容 JSON 规范,使用 C 语言开发。

5 结论

为了解决新型智能检测设备接入物资检测系统的通信问题,本文针对其通信接口作了研究。提出将配网物资检测系统按业务功能划分为 4 层架构;设计了一种基于 JSON 格式和 HTTP 协议的新型智能检测设备的通信协议,并使用了基于随机会话号和随机密钥的 shaHmac256 报文加密方法。最后给出了一个通信报文设计实例。所

设计的通信接口充分考虑了配网物资检测的实际需求,易于实现,安全性好。新型智能检测装置基于本文设计的通信协议,可以方便地接入配网物资检测系统。

参考文献

- [1] 向彬,刘志雄,姚尧,等. 配网重点物资采购抽检方案研究[J]. 工业工程, 2021, 24(3):146-152.
- [2] XIANG BIN, LIU ZHIXIONG, ZHANG KUNYI. Flagging implausible inspection reports of distribution transformers via anomaly detection[J]. IEEE Access, 2020, (8):75798-75808.
- [3] 向彬,刘志雄. 一种计及成本约束的配网物资小样本抽检方案[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2022, 44(5):83-88.
- [4] 崔跃君,杨甲明,顾新桥,等. 基于物联网技术的电网物资供应优化模型建立[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(1):108-111.
- [5] 靳阿妮,张彬,陈景瑞,等. 基于支持向量机的火力发电碳排放量智能检测方法研究[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(08):60-63.
- [6] 朱望城,庞松岭,赵海龙,等. 配电自动化双主站通信规约检测方法[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(10):116-121.
- [7] 丁震,孙继平,张帆,等. 智能化矿山通信接口与协议技术规范研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(2):6-13.
- [8] 韩康. MQTT 物联网协议与接入技术研究[D]. 太原:太原理工大学, 2023.
- [9] 武丽英,沈林涛. 工业物联网网关设计[J]. 自动化仪表, 2020, 41(9):51-58.
- [10] 郑志曜,袁衡龙,蔡新华. 基于区块链的配网物资质量管控平台研究及应用[J]. 电力大数据, 2022, 25(7):71-78.
- [11] 孙鹏,张卫东,付刚. 入网设备仓储配送及质量抽检集约化平台关键技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(11):75-81.
- [12] 叶万余. 含面向电力物联网 URLLC 业务的智能网络切片管理方法[J]. 工业工程, 2022, 25(1):129-134.
- [13] 贺尚立,李英敏,刘文昭,等. 电力无线专网 5G 关键技术的应用及前景分析[J]. 自动化仪表, 2023, 44(8):106-110.
- [14] 周想凌. 切片分类下短切片/短复用电力无线专网的融合构建研究[J]. 电力信息与通信技术, 2023, 21(5):69-75.

(上接第 103 页)

- [4] 黄志锋,刘媛华,任志豪,等. 融合改进哈里斯鹰和改进动态窗口的机器人动态路径规划[J]. 计算机应用研究, 2024, 41(2):450-458.
- [5] 何文彪,胡永江,李文广. 基于改进哈里斯鹰算法的异构无人机协同侦察航迹规划[J]. 中国惯性技术学报, 2023, 31(7):717-723.
- [6] LI G, ZHU D, YU Y, et al. Robot path planning based on improved Harris hawk optimization algorithm [C]//2022 5th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (ICOIAS). Dalian, China;IEEE, 2022:209-214.
- [7] HUANG L, FU Q, TONG N. An improved Harris hawks optimization algorithm and its application in grid map path planning [J]. Biomimetics, 2023, 8(5):428.
- [8] 林静,郑傲醒,管伟新. 城市轨道交通自动化机械设备控制与路径规划[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(10):148-153.
- [9] LI S, DENG C, SUN R, et al. Multi-path intelligent planning method based on grid division and value calculation[J]. IFAC-PapersOnLine, 2018, 51(17):179-184.
- [10] 马文字,许云猛,王玉甲. 改进人工势场法的水陆两栖机器人路径规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(12):10-13, 17.
- [11] 凌琛. 考虑能耗的无人机路径规划及海洋捕食者算法求解[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(1):5-8, 13.
- [12] 王高,焦明华,徐作瑜. 基于多信息融合的变电站移动机器人巡检路径规划研究[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(3):48-51, 83.
- [13] HEIDARI A A, MIRJALILI S, FARIS H, et al. Harris hawks optimization; Algorithm and applications [J]. Future generation computer systems, 2019(97):849-872.
- [14] KENYERES M, KENYERES J. Examination of average consensus with maximum-degree weights and metropolis-hastings algorithm in regular bipartite graphs [C]//2022 20th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). Stary Smokovec, Slovakia;IEEE, 2022:313-319.
- [15] HE Q, LIU H, DING G, et al. A modified Lévy flight distribution for solving high-dimensional numerical optimization problems [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2023(204):376-400.
- [16] WEI H, ZHANG X, FANG Z. An adaptive Quasi-Hyperbolic Momentum Method Based on AdaGrad + Strategy [C]//2022 International Conference on Image Processing, Computer Vision and Machine Learning (ICICML). Xi'an, China;IEEE, 2022:649-654.