

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200775

基于 MQTT 协议的配电物联网云边通信映射研究

孔垂跃, 陈羽, 赵乾名

(山东理工大学电气与电子工程学院, 山东 淄博 255000)

摘要: 配电物联网中存在维护困难、监测薄弱、设备互操作性差的问题。基于 IEC 61850 来规范智能电子设备(IED)的信息模型和信息交换方法, 可以实现设备的互联、互通、即插即用和数据的融合。分析了配电物联网云主站与边设备的通信场景及需求, 研究了基于轻量级的 MQTT(消息队列遥测传输)通信协议的 IEC 61850 抽象通信服务映射实现方法, 建立了云主站与边设备信息交互的 IEC 61850 通信子集。搭建了测试平台, 通过功能实验和性能实验验证了映射方法的可行性。基于 MQTT 的 IEC 61850 通信映射可实现配电物联网云边设备的互联互通。

关键词: 配电物联网; 云主站-边设备通信; IEC 61850; MQTT 协议; 通信映射

Research on cloud-side communication mapping of the distribution internet of things based on MQTT protocol

KONG Chuiyue, CHEN Yu, ZHAO Qianming

(College of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Abstract: There are problems in the distribution Internet of Things (D-IoT), such as difficult maintenance, weak monitoring and poor interoperability of devices. Based on IEC 61850, the information model and information exchange method of Intelligent Electronic Devices (IEDs) are standardized. This can realize the interconnection, intercommunication, plug and play and data fusion of devices. This paper analyzes the communication scenarios and requirements between a cloud master station and edge devices in the D-IoT, studies the implementation method of IEC 61850 abstract communication service mapping based on the lightweight MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) communication protocol, and establishes a subset of IEC 61850 communication for information interaction between the cloud master station and edge devices. A test platform is built, and the feasibility of the mapping method is verified through functional and performance experiments. The communication mapping of IEC 61850 based on MQTT can realize the interconnection and intercommunication of the cloud master station and edge devices in the D-IoT.

This work is supported by the National Key Research and Development Project of China (No. 2016YFB0900600), the Science and Technology of State Grid Corporation of China (No. 52094017000W), and Key Research and Development Program of Shandong Province (No. 2019GGX103019).

Key words: distribution internet of things; cloud master station-edge device communication; IEC 61850; MQTT protocol; communication mapping

0 引言

经过多年的发展, 配电网已经从单纯的电力网络向智能能源一体化方向演变, 但配电网的发展过程中仍面临不少问题。一方面, 网络结构复杂、设备数量多、标准化程度低导致管理和维护困难^[1],

故障频发, 严重影响着用户的用电体验; 另一方面, 异质能源系统融合、用户侧用能多样性需求增长^[2], 使得传统配电网监控难以满足运行控制的需求。以物联网技术为依托, 建设配电物联网, 实现配电网全面感知、数据融合及智能应用, 是解决配电网运行控制的有效技术手段。从部署上看, 配电物联网采用“云、管、边、端”的架构。“云主站”是云化的主站平台, 以虚拟化技术为客户提供远程资源, 采用云计算、大数据、人工智能等技术, 实现物联网架构下的全面云化。“边设备”是靠近信息采集设备,

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2016YFB0900600); 国家电网公司科技项目资助(52094017000W); 山东省重点研发计划项目资助(2019GGX103019)

具有边缘计算能力的分布式智能代理,就地或就近提供智能决策和服务,同时对筛选后的数据上传至云主站^[3]。

配电物联网实现的关键在于即时通信,通信协议会影响通信的速度、效率和可靠性,应根据应用环境、通信需求选择合适的协议^[4]。文献[5]介绍了用于物联网环境中的路由协议,并对物联网通信协议作介绍。文献[6]对现有电力系统使用的通信协议和物联网通信协议进行比较,并建议在云主站与边设备的通信中采用消息队列遥测传输(MQTT)协议。由 IBM 提出的 MQTT 协议具有低功耗、简单、开放、易于实现的特点,适合在配电物联网云主站与边设备的通信中使用。

配电物联网感知产生海量多源异构数据,虽然单个数据价值小,但将海量数据整合利用会产生巨大的价值^[7]。采用统一的信息模型,规范的语义才能实现数据的融合,避免形成信息孤岛,实现设备间的互联互通^[8],进而充分挖掘数据的价值。

IEC 61850 规约采用面向对象的建模方法、抽象通信服务接口(ACSI)和特殊服务映射(SCSM)等诸多先进技术,定义了现场智能电子设备(IED)的信息模型与信息交换的方法,增强了设备间的互操作性,可以实现设备间的互联、互通及即插即用^[9]。IEC 61850 标准已广泛应用于数字化变电站,随着标准的完善和成熟,其技术和方法已从变电站推广至配电网领域。

IEC 61850 已经发布的映射方案主要是面向变电站自动化领域的。映射到制造报文规范(MMS),对于变电站以外的应用,存在软件实现复杂、资源消耗大等缺点,在边设备中难以应用。IEC 61850-80-1 规范了公共数据类模型与 IEC 60870-5-101/104 的映射,但这种映射方式无法传输信息对象模型的描述数据,难以满足配电物联网的通信需求。文献[9]提出了 Web Services 和 104 组合的映射方式,此映射的实时性和数据传输的安全性不能得到有效保障。文献[10-11]分析了配电网应用 IEC 61850 的通信映射需求,并给出 IEC 61850 到 XMPP 协议的映射方法。但 XMPP 协议数据负载过重,根据 XML 格式生成和读取消息导致信息交互变慢及协议本身流量消耗大的缺点使其难以适应配电物联网的通信环境。

1 “云主站-边设备”通信方式及要求

1.1 “云主站-边设备”的通信特点

现有的配电网通信系统结构复杂,有光纤(EPON 技术、工业以太网)、无线(电力专网、4G/5G

公网)、配电线载波通信等多种通信方式^[12]。近年来,5G、6LoWPAN(IPV6 低速无线版本)和 LPWAN(低功耗广域网)等技术的兴起,将会推动无线通信技术在配电物联网中的应用^[13]。边缘计算终端分布分散、通信环境复杂,考虑到部署及维护成本等因素的影响,现阶段的通信采取以有线通信为主,无线通信为辅的组网方式^[14]。

1.2 “边设备”对通信协议的要求

边设备具备边缘计算和通信能力,但设备本身内存资源较小,使用互联网类“重量级”通信协议不仅会增加部署和使用成本,而且对设备本身来说也是一个巨大的挑战。

物联网体系下的边设备是大量端设备的通信汇集节点,不同场景下通信流量变化较大。为适应各场景需求,应尽量减少通信协议本身的消耗,提高带宽利用率和传输效率,降低使用成本。MQTT 协议在解决此类问题时具有优势^[15]。

2 MQTT 协议

2.1 MQTT 信息传输方式

MQTT 协议采用发布/订阅模式,提供一对多的消息传递。发布/订阅模型通过建立消息代理作为通信的中介,实现发布者和订阅者间的间接通信。

发布/订阅模式是一种异步通信的方式,实现了发布者和订阅者在时间、空间和控制流三方面的解耦,即双方在交互时,无需同时在线;无需知道对方 IP 和端口号;不会阻塞各自的进程^[16]。

2.2 MQTT 协议特点

一个 MQTT 数据包是由固定头、可变头、消息体三部分构成。其中只有固定头是必须的,其余部分可根据数据包的类型作选择,最小的数据包只有 2 bit,协议交换最小化,以降低网络流量。

MQTT 协议提供三种消息发布服务等级,以满足对不同类型消息的可靠高效传输。QoS=0,最多一次,适用于短间隔发布的状态数据。QoS=1,至少一次,消息发送速度较快,能保证消息的可靠到达,可应用场景较多。QoS=2,有且仅有一次,实时性相对较低,通信压力会增大,适用于重要数据的可靠传输。三种 QoS 下的通信流程如图 1 所示。

使用 MQTT 协议信息交互时,消息通过服务器转发,避免了由消息体寻址而导致的消息体过大的问题,从而有效提高了带宽利用率。基于 TCP/IP 协议的基础网络连接,支持 TLS/SSL 加密,保证其能够提供相对可靠的消息传输服务。提供心跳机制。通过间断性地发送 PING 报文来维持客户端跟服务器之间的心跳连接,以达到降低功耗的目的。

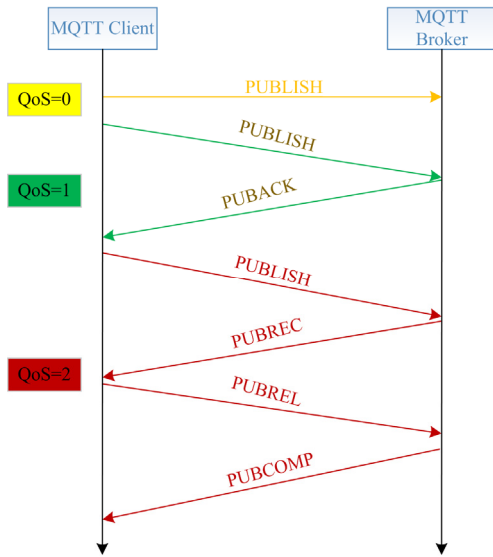


图 1 三种 QoS 下的通信流程示意图

Fig. 1 A schematic diagram of the communication process under three QoS

3 IEC 61850 与配电物联网典型场景

3.1 IEC 61850 应用于配电物联网

统一完备的信息模型、数据语义和信息交换方法是实现海量配电物联网设备互联互通和即插即用的必要条件。而现有电力系统通信协议(如 DNP 3.0, IEC 60870-5-101/104 等)采用点表的方式组织数据,无对信息来源及与其他数据关系的描述,将难以实现配电网运行信息的无缝交换,会形成信息孤岛^[17]。

IEC 61850 给出了此类问题的解决方案。IEC 61850 对信息采用面向对象的自描述方法,在数据源头就对数据进行自我描述,数据本身都带有自我说明,使得现场的验证和数据库管理和维护工作大大简化^[18],使得数据意义及数据间的关系清晰明了,实现配电网内信息的无缝交换。数据采用面向对象自我描述方法会使报文略微增大、降低传输效率,但随着网络传输速率、通信带宽的不断提高和通信协议的不断完善,现有的通信技术与通信协议能够弥补其弊端。

IEC 61850 对电力系统必需的信息传输网络服务进行总结,并通过定义抽象通信接口 ACSI 提供虚拟镜像访问真实数据和真实设备的途径^[19],以多个 ACSI 服务模型,打破了传统以点表访问数据的方式,实现了面向服务的模式。ACSI 只是一个概念性的接口,不能提供通信服务。需通过 SCSM 将 ACSI 定义的服务和模型映射到具体的通信协议。

3.2 配电物联网云边交互场景分析

配电物联网云边交互典型运行场景包括数据

采集与监视、终端与物管云平台的自适应接入、智能运维、掉电重启及参数重设等。

数据采集和监视功能是配电物联网的基本功能支撑。其核心功能为“两遥”,即对现场的运行设备进行监视,实现数据采集、参数调节、动态显示、更新和告警等功能,为配电调度员提供相应信息。在此基础上对应用层做开发,即对大量设备状态信息及配电网运行信息的分析^[20],可以实现配电网的智能运维,包括电压分布计算、配变负荷预测、供电可靠性预测、分布式能源即插即用、充电桩终端有序管理等^[21]。

实现配电物联网的状态全面感知,离不开大量终端设备及边设备的支持,需在新增大量设备的基础上保证设备的正常稳定运行。因此需要考虑设备接入过程及出现故障时的信息交互。在新设备的首次接入的过程中,边设备需将设备身份信息上传,并从云主站获取配置信息。当设备因故障出现掉线重启时,设备再次接入需将上线信息上送至云主站,并接收来自云主站的参数设置信息。

3.3 云边交互的数据分析

边设备作为配电物联网中数据中转地,与下层的端设备连接,将端设备的采集信息进行初步处理与筛选后上传至云主站,上传至云主站的数据可分为业务数据流和管理数据流。

业务数据流主要为边缘计算终端遥信、遥测、统计、告警等业务相关数据。边设备往往会将端设备的业务数据汇总发送,来减轻云主站的处理压力。当底层端设备较多时,数据包可能会有十几千字节甚至几十千字节,但多数对安全性和实时性要求不高。

管理数据流主要为边缘计算终端容器管理和应用程序的部署、启动、停止等管理相关数据。此类信息的数据包较小,往往只有几千字节,但因涉及设备的整定与部署,对信息的安全性要求较高。

考虑到边设备采用的通信方式和底层接入的端设备的数量不同,并综合分析弹性系数法^[22]、排队论的带宽预测法^[23]和基于混合队列模型的带宽预测法^[24],当云边通信带宽为 2 Mbps 时能够满足各项业务的 QoS(丢失率、延迟、时延抖动)要求。

4 IEC 61850 到 MQTT 协议的映射

4.1 通信架构

配电物联网中云边信息交互使用 MQTT 协议作为消息总线,按以下原则部署。

1) 在云主站中部署 MQTT Broker,并为物管平台提供高级应用开放接口。

2) 边设备作为 MQTT 客户端, 与云主站中 MQTT Broker 相连。

3) 物管平台作为 MQTT 客户端, 通过 MQTT Broker 与边设备通信。

4.2 IEC 61850 到 MQTT 协议的映射方法

IEC 61850 映射到 MQTT, 有直接映射法和间接映射法两种。直接映射法, 即将 IEC 61850 定义的数据对象采用 JSON 编码, 数据对象使用 MQTT 协议传输、ACSI 服务使用 MQTT 协议实现。

直接映射法的过程如下: 在应用层将 IEC 61850 定义的分层模型和抽象通信服务和接口服务映射为 MQTT 协议的数据对象和服务(同 IEC 61850-8-1 MMS 映射的定义); 在表示层采用 JSON 数据格式进行编码, 形成基于 JSON 的数据单元; 在会话层管理通信实体, 建立关联 ID 附加于 SPDU 中; 然后进入传输层, MQTT 则根据服务类型的不同将消息封装到对应的 Topic 进行传输, 并在应用层对通信双方进行身份验证, 在会话层采用 SASL/SSL 加密规则对通信进行加密。映射过程如图 2 所示。

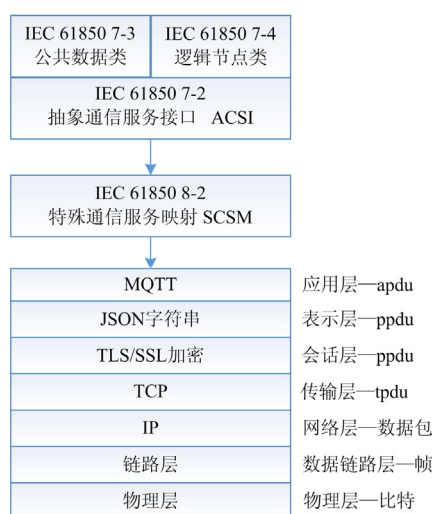


图 2 IEC 61850 到 MQTT 协议映射

Fig. 2 Mapping of IEC 61850 to MQTT protocols

在 IEC 61850 已有的映射方案中, 映射到 MMS 采用 ASN.1 的基本编码规则(Basic encoding rules, BER), 映射到 XMPP 协议采用 XML 编码规则(XML encoding rules, XER)。相比于 BER 和 XER 编码规则, JSON 数据格式简单、易于读写和解析、传输使用流量少, 更适合配电物联网的应用环境。因此, 映射到 MQTT 协议采用 JSON 的编码方式更合适。

4.3 数据映射

数据映射是通信映射的基础。配电物联网各应用功能交互的数据量大, 但数据类型与配电自动化

系统相似, 可直接建模为 IEC 61850-7-2 标准中定义的数据对象, 并映射至 JSON 数据类型, 通过 JSON 数据标签封装数据的值。

JSON 支持四种基础数据类型: 字符串(string)、数字(number)、布尔型(boolean)、NULL 值; 两种特殊类型: 数组(array)、对象(object)。六种数据类型组合可封装各类数据, 无需对数据类型进行扩充。数据映射如表 1 所示。

表 1 数据映射

Table 1 Mapping of data

IEC 61850 7-2 数据	MQTT 映射	
	JSON 数据类型	值域
Boolean	Boolean	true/false
Int8	numbers	任意合法数值
Int16		
Int 8U		
Int 16U		
Float 32	Strings	单精度浮点数
Enumerated	numbers	值的有序集
CODE ENUM		值的有序集
OCTET STRING		最大长度符合
VISIBLE STRING	Strings	IEC 61850 7-2 和
UNICODE		IEC 61850 7-3 的
STRING		规定

4.4 服务映射

配电物联网云主站与边设备信息交互类型多、通信条件复杂、对实时性和安全性要求存在差异, 为适应不同类型的功能需求, 需结合 IEC 61850 选择配电物联网云主站与边设备通信所需的对象模型和 ACSI 服务, 再进行服务映射。

通过对配电物联网云主站与边设备信息交互的场景及需求分析, 总结了所需 IEC 61850 服务的 MQTT 映射, 具体映射如附录 A 所示。

4.5 映射示例

IEC 61850 到 MQTT 协议的通信映射中, 不同类型的报文可直接通过 Topic 来区分, 无需对报文进行扩展和分类。Topic 中定义了使用对象和服务方式, 具体的服务参数由 payload 携带。当无参数时 payload 可为空。

数据访问请求与数据访问响应的消息格式及消息编码, 如附录 B 所示。交互过程中, 物管平台使用 V1/{LDs}/{LNs}/ GetAllDatatValues/Request 主题向边设备发送参数查信息。其中 V1 代表逻辑设备编号; LDs 代表逻辑设备名称; LNs 代表逻辑节点名称; GetAllDatatValues 代表使用的 ACSI 服务; Request 表示此信息为访问请求。具体的访问参数由

payload 携带。发送的同时订阅 V1/{LDs}/{LNs}/GetAllDatatValues/Response 主题，用于接收响应信息。

边设备收到 V1/{LDs}/{LNs}/GetDataObject Values/Request 主题携带的请求消息后，将响应消息体封装至 V1/{LDs}/{LNs}/GetDataObject Values/Response 主题的 payload 中，并发送至服务器。V1/{LDs}/{LNs}/GetDataObject Values 各代表意义与请求主题相同，Response 代表此信息为访问响应。

4.6 云边信息交互

边设备与云主站的交互报文可以细分为设备管理、参数配置、数据采集、主动上送四大类。

设备管理类信息包括添加和删除子设备、参数预置、参数激活等。参数查询类信息主要包括参数查询、更新子设备状态等。此类报文内容少、使用频率低，但对安全性和可靠性有较高要求。可使用 SASL 和 SSL 加密组合来保证安全性，为保证消息的可靠性，消息的发布应使用 QoS=1 或 QoS=2 来完成。

数据采集类信息主要包括正常运行时的量测值、环境数据值、设备运行状态值等。此类数据一般内容较多，使用频率高，允许信息的偶尔丢失。在进行数据采集时的信息交互可使用 QoS=0 来完成。为保证在高频率通信下的传输效率，对需上传至云主站的数据包，边设备有以下两种处理方式。

1) 收到立即发送

即对需上传至云主站数据包不处理，直接将单个数据包上送至云主站。此方式具有较高的实时性，但会增加通信成本。

2) 对收到的数据包进行分类组包，打包后发送。

即边设备完成信息的分类，对不同端设备的同一类数据(如温度、湿度、电压值等)进行组包，定时或按数据量的大小上传至云主站。此方式会对实时性有一定的影响，但可降低通信的压力，云主站对收到的信息也更容易分类处理。

主动上报类信息主要包括设备数据定时上报、异常信息主动上报和告警信息上报等。此类报文往往应用于突发事件的信息传输中，对于信息的实时性和可靠性具有较高的要求。为保证消息的可靠性，消息的发布应使用 QoS=1 或 QoS=2 来完成。主动上报类信息中的告警信息具有较高的优先级，需要优先于其他类型消息传输。

在此提出两种优先传输方案。

1) 服务器在发送前进行排序

针对服务器有消息积压，带宽充足的情况，服务器对收到的告警信息和正常的量测信息进行排

序，优先发送告警信息。

2) 中止正常信息的发送，优先发送告警信息。

针对服务器有消息积压，带宽不足的情况，为保证告警信息的实时性，可中止正常信息的发送，优先发送告警信息。

4.7 MMS-MQTT 的间接映射法

IEC 61850 到 MQTT 的映射还可以采用 MMS-MQTT 的间接映射法。间接映射法，即将 IEC 61850 映射到 MMS，使用 JSON 对 MMS 信息对象描述，再采用 MQTT 传输 JSON 信息。

MMS-MQTT 间接映射在中间多出一个 MMS 映射的环节，其原理与直接映射相似。间接映射虽可以借鉴现成的 MMS 开发经验、便于实现现有设备的升级改造，但其实现较为复杂，使用 MMS 商用开发包，会增加边设备的制造成本。而直接映射映射过程相对简单，可直接利用开源 MQTT 代码库开发使用。考虑普遍适用性和成本控制问题，在配电网物联网云边通信中，直接映射方案相对更好。

5 实验验证

5.1 功能性实验

为验证 MQTT 协议映射的有效性，搭建了如图 3 所示的试验系统。PC1 端搭载 MQTT 服务器，选用 EMQ X 作为 MQTT 服务器。树莓派 3B 开发板作为客户端。

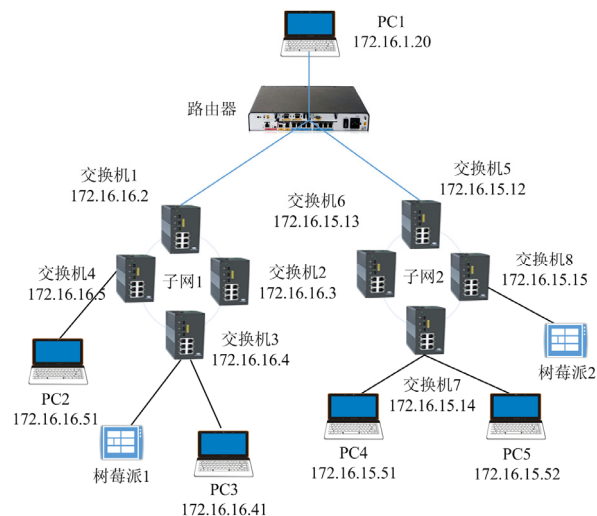


图 3 MQTT 实验系统

Fig. 3 Test system of MQTT

实验模拟了边设备云主站向 MQTT Broker 连接，云主站向端设备获取信息模型、端设备上报实时数据、遥控等功能。验证了其功能上满足了配电网物联网云主站与边设备的通信需求。

5.2 性能实验

采用上述的实验系统,对 MQTT 协议进行性能测试,系统带宽设置为 2 Mbps,并通过两台电脑模拟其余在线用户,用以产生网络背景流量。

试验分别在两个子网中模拟了 4 000、6 000、8 000、10 000 个客户端同时向主站发起连接,2 min 内均能完成测试,且多次测试连接成功率均在 99.5%以上。

本文以下所有延迟测试均为整个通信过程完成的总时间,包括 QoS=1 和 QoS=2 时的确认信息返回时间。以 Wireshark 抓到的数据包时间来计算延迟,为网络链路层延迟,不包括计算机处理延迟。

为验证报文大小对传输延迟的影响,实验测试了 500 组 6 种不同大小报文在使用 QoS=1 时的平均传输延迟。如图 4 所示,通信报文的延迟随报文的增大而增大,使用 SASL/SSL 加密的平均延迟高于无加密的平均延迟。

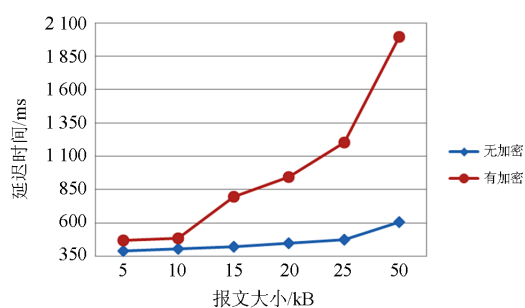


图 4 不同报文大小的传输延迟

Fig. 4 Transmission delays for different message sizes

为验证不同消息质量等级对传输延迟的影响,实验测试了报文大小为 25 kB 时,加密和不加密情况下三种消息质量等级的传输延迟,如图 5、图 6 所示。为使加密与不加密延迟对比显著,本次测试使用的密钥为 2048 B。

经测试: 1) 在无加密且 QoS=0 时,平均传输延迟为 197 ms, QoS=1 时平均传输延迟为 475 ms, QoS=2 时平均延迟为 785 ms; 2) 在传输加密且 QoS=0 时,平均传输延迟为 993 ms, QoS=1 时平均传输延迟为 1 202 ms, QoS=2 时平均延迟为 1 460 ms。传输延迟随消息质量等级的提高而增大,主要是确认信息的传输延迟和服务器的处理延迟。有加密时传输延迟明显大于无加密的时延迟,主要是服务器的加解密延迟。本次测试所采用的密钥较大,实际应用中采用较小的密钥,可以降低一定的延迟。

基于 TCP/IP 的设计使 MQTT 协议在可靠性方面成绩优秀,在高网络背景流量的情况下,以上多

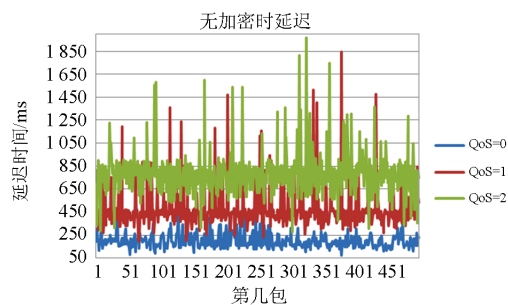


图 5 无加密时 25 kB 报文三种消息质量等级的传输延迟

Fig. 5 Transmission delay of three message quality levels for 25 kB messages without encryption

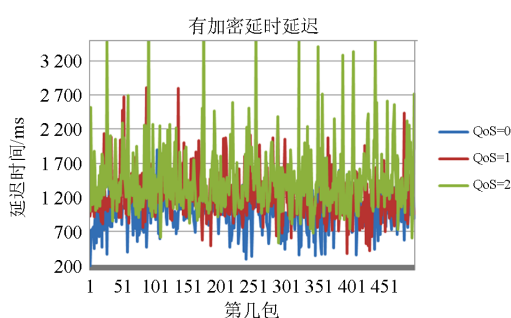


图 6 有加密时 25 kB 报文三种消息质量等级的传输延迟

Fig. 6 Transmission delay of three message quality levels for 25 kB messages with encryption

次测试均未出现数据丢失现象。

受计算机时钟精度及定时影响,延迟测试存在一定误差,QoS=0 时误差相对较大,但并未影响整体趋势,误差在可接受范围之内。

6 结论

以物联网技术为依托,配电物联网是解决配电网全面监控的有效途径。边缘计算+云主站的模式是未来配电物联网的发展方向^[25],为解决配电物联网云主站与边设备之间通信据传输的标准化与数据描述模型问题,本文提出在配电物联网云边通信中采用 IEC 61850 通信规约。在分析云主站与边设备的运行场景及交互需求后,提出使用 MQTT 协议作为云主站与边设备信息交互的应用层通信协议,并总结归纳出云主站与边设备信息交互所需的 IEC 61850 通信服务子集,给出了通信服务子集到 MQTT 协议的通信映射方法。通过功能性实验验证了映射的可行性,通过性能实验验证了映射的实用性。为 IEC 61850 在配电物联网中的应用进行了有益的探索。

附录 A

Server	MQTT Topic	Method	Qos
Server			
GetServerDirectory	V1/GetServerDirectory/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/GetServerDirectory/Response		
Logical Device			
GetLogicalDeviceDirectory	V1/{LDs}/GetLogicalDeviceDirectory/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/GetLogicalDeviceDirectory/Response		
Logical Node			
GetLogicalNodeDirectory	V1/{LDs}/{LNs}/GetLogicalNodeDirectory/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetLogicalNodeDirectory/Response		
GetAllDataValues	V1/{LDs}/{LNs}/GetAllDataValues/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetAllDataValues/Response		
Data			
GetDataValues	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataValues/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataValues/Response		
SetDataVaules	V1/{LDs}/{LNs}/SetDataVaule	Publish	0or1or2
GetDataDirectory	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataDirectory/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataDirectory/Response		
GetDataDefinition	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataDefinition/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataDefinition/Response		
DataSet			
GetDataSetValues	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataSetValues/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataSetValues/Response		
SetDataSetValues	V1/{LDs}/{LNs}/SetDataSetValues	Publish	0or1or2
GetDataSetDirectory	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataSetDirectory/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetDataSetDirectory/Response		
File			
GetFile	V1/GetFile/Request	Subscribe+Publish	2
	V1/GetFile/Response		
SetFile	V1/SetFile	Publish	2
GetFileAttributeValues	V1/GetFileAttributeValues/Request	Subscribe+Publish	2
	V1/GetFileAttributeValues/Response		
Control			
Select	V1/{LDs}/{LNs}/Select/Request	Subscribe+Publish	1or2
	V1/{LDs}/{LNs}/Select/Response		
SelectWithValues	V1/{LDs}/{LNs}/SelectWithValues/Request	Subscribe+Publish	1or2
	V1/{LDs}/{LNs}/SelectWithValues/Response		
Operate	V1/{LDs}/{LNs}/Operate	Publish	1or2
Setting group control block			
SetEditSGValue	V1/{LDs}/{LNs}/SetEditSGvalue	Publish	1or2
GetEditSGValue	V1/{LDs}/{LNs}/GetEditSGvalue/Request	Subscribe+Publish	1or2
	V1/{LDs}/{LNs}/GetEditSGvalue/Response		
SelectActiveSG	V1/{LDs}/{LNs}/SelectActiveSG	Publish	2
Reporting and logging			
BRCB			
Report	V1/{LDs}/{LNs}/BRCB/Report	Subscribe+Publish	1or2
GetBRCBValues	V1/{LDs}/{LNs}/GetBRCBValues/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetBRCBValues/Response		
SetBRCBValues	V1/{LDs}/{LNs}/SetBRCBValues	Publish	1or2
URCB			
Report	V1/{LDs}/{LNs}/URCB/Report	Subscribe+Publish	1or2
GetURCBValues	V1/{LDs}/{LNs}/GetURCBValues/Request	Subscribe+Publish	1
	V1/{LDs}/{LNs}/GetURCBValues/Response		
SetURCBValues	V1/{LDs}/{LNs}/SetURCBValues	Publish	0or1or2
Additional Services			
Associate		Connect	
Release		Disconnect	
Abort		Disconnect	

附录 B

数据访问	请求	响应
主题	V1/{LDs}/{LNs}/ GetAllDataValues/Request	V1/{LDs}/{LNs}/ GetAllDataValues/Response
消息体	<pre> {"confirmed-RequestPDU": { "invokeID": "123", "ConfirmedServiceRequest": { "read": { "-specificationWithResult": "false", "variableAccessSpecification": { "listOfVariable": { "SEQUENCE": { "variableSpecification": { "name": {"domain-specific": { "domainId": "CONTROL", "itemId": "GGIO1" } } }, "alternateAccess": { "CHOICE": { "unnamed": { "selectAlternateAccess": } } } } } } } } } </pre>	<pre> {"confirmed-ResponsePDU": { "invokeID": "123", "ConfirmedServiceResponse": { "read": { "listOfAccseeResult": { "AccessResult": { "success": { "structure": { "Data": [{ "structure": { "Data": [{ "integer": "1" }, { "strings": "000000000000" }, { "utc-time": "017215E30000001F" }] } }], { "structure": { "Data": [{ "strings": "10" }, { "strings": "000000000000" }, { "utc-time": "017215E30000001F" }] } }], "#text": " [.....] " } } } } } } } } </pre>

参考文献

- [1] 潘旭, 王金丽, 赵晓龙, 等. 智能配电网多维数据质量评价方法[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(5): 1375-1384.
PAN Xu, WANG Jinli, ZHAO Xiaolong, et al. Multi dimensional data quality evaluation method for intelligent distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(5): 1375-1384.
- [2] 欧阳邵杰, 曾博, 邱泽晶, 等. 面向用户差异化需求的智能配电网综合资源优化规划和配置方法[J]. 电力建设, 2017, 38(2): 38-44.
OUYANG Shaojie, ZENG Bo, QIU Zejing, et al. Integrated resource optimizing planning and allocation method of intelligent distribution network for differentiated demands of users[J]. Electric Power Construction, 2017, 38(2): 38-44.
- [3] 吕军, 栾文鹏, 刘日亮, 等. 基于全面感知和软件定义的配电物联网体系架构[J]. 电网技术, 2018, 42(10): 3108-3115.
LÜ Jun, LUAN Wenpeng, LIU Riliang, et al. Architecture of distribution internet of things based on widespread sensing & software defined technology[J]. Power System Technology, 2018, 42(10): 3108-3115.
- [4] KUNTSCHKE R, WINTER M, GLOMB C, et al. Message-oriented machine-to-machine communication in smart grids[J]. Computer Science-Research and Development, 2017, 32(1-2): 131-145.
- [5] SHAHDAD S Y, KHAN M, SULTANA H, et al. Routing protocols for constraint devices internet of things network[C] // International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), April 4-6, 2019, Chennai, India: 114-117.
- [6] 应俊, 蔡月明, 刘明祥, 等. 适用于配电物联网的低压智能终端自适应接入方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(2): 22-27.
YING Jun, CAI Yueming, LIU Mingxiang, et al. Adaptive access method of low voltage intelligent terminal for distribution internet of things[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(2): 22-27.
- [7] CHEN Hao, WANG Xiaojuan, LI Zhi, et al. Distributed sensing and cooperative estimation/detection of ubiquitous power internet of things[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(2): 151-158. DOI: 10.1186/s41601-019-0128-2.
- [8] 戴观权, 蔡泽祥, 蔡煜, 等. 基于 IEC 61850 的配电网网络化保护通信建模与实时性可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(20): 97-103.
DAI Guanquan, CAI Zexiang, CAI Yu, et al. Modeling and real-time reliability analysis of communication network for networked protection of distribution network based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(20): 97-103.
- [9] 韩国政, 徐丙垠, 索南加乐, 等. 基于 IEC 61850 的配电网自动化通信技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 62-66.
HAN Guozheng, XU Bingyin, SUONAN Jiale, et al. Communication technology for distribution automation based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 62-66.
- [10] 韩国政, 徐丙垠, 张俊涛, 等. IEC 61850 的 XMPP 映射方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(3): 147-152.
HAN Guozheng, XU Bingyin, ZHANG Juntao, et al. Method of IEC 61850 mapping to XMPP[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(3): 147-152.

- [11] 侯晓宁. 基于 XMPP 的配电自动化 IEC 61850 通信映射研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
HOU Xiaoning. Research on communication Mapping of distribution automation IEC 61850 based on XMPP[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019.
- [12] ÇORAK B H, OKAY F Y, GÜZEL M, et al. Comparative analysis of IoT communication protocols[C] // 2018 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), November 12-14, Rome, Italy: 1-6.
- [13] 陈皓勇, 陈永波, 王晓娟, 等. 基于 LPWAN 的泛在电力物联网[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(8): 1-8.
CHEN Haoyong, CHEN Yongbo, WANG Xiaojuan, et al. Ubiquitous power internet of things based on LPWAN[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(8): 1-8.
- [14] 何奉禄, 陈佳琦, 李钦豪, 等. 智能电网中的物联网技术应用与发展[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 58-69.
HE Fenglu, CHEN Jiaqi, LI Qin hao, et al. Application and development of internet of things in smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 58-69.
- [15] VISHAL K, GAYATRI S, CHANDRA S. WSN and IoT based smart city model using the MQTT protocol[J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2019, 22(8): 1423-1434.
- [16] 刘丽. 基于 MQTT 的物联网系统文件传输方法的研究与应用[D]. 西安: 陕西科技大学, 2018.
LIU Li. Research and application of file transfer method in Internet of things based on MQTT[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2018.
- [17] 韩国政, 陈羽, 徐丙垠. 基于 IEC 61850 的配电网故障检测与保护信息模型[J]. 供用电, 2019, 36(7): 8-12.
HAN Guozheng, CHEN Yu, XU Bingyin. Information model for distribution network fault detection and protection based on IEC 61850[J]. Distribution & Utilization, 2019, 36(7): 8-12.
- [18] 何磊. IEC 61850 应用入门[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [19] BI Yanbing, L Jiang, WANG Xiaojie, et al. Mapping of IEC 61850 to data distribute service for digital substation communication[C] // 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, November 21-25, 2013, Vancouver, Canada: 1-5.
- [20] 楼平, 王崑, 胡杨, 等. 基于物联网的电力通信智能移动运维系统平台[J]. 自动化仪表, 2019, 40(11): 31-35.
LOU Ping, WANG Qin, HU Yang, et al. Power communication intelligent mobile operation and maintenance system platform based on internet of things[J]. Process Automation Instrumentation, 2019, 40(11): 31-35.
- [21] 肖振锋, 辛培哲, 刘志刚, 等. 泛在电力物联网形势下的主动配电网规划技术综述[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 43-48.
XIAO Zhenfeng, XIN Peizhe, LIU Zhigang, et al. An overview of planning technology for active distribution network under the situation of ubiquitous power internet of things[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 43-48.
- [22] 施永益, 黄忠东. 基于排队论和 QoS 的电力系统主干网带宽估算[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 50-53.
SHI Yongyi, HUANG Zhongdong. Bandwidth estimation of power system backbone networks based on queuing theory and QoS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(18): 50-53.
- [23] 陆俊, 李子, 朱炎平, 等. 智能配用电信息采集业务通信带宽预测[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 1277-1282.
LU Jun, LI Zi, ZHU Yanping, et al. Communication bandwidth prediction for information gathering services in power distribution and utilization of smart grid[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 1277-1282.
- [24] 王志伟, 李建歧, 黄毕尧. 基于混合队列模型的配电网状态监测业务通信带宽预测[J]. 电力建设, 2019, 40(11): 1-7.
WANG Zhiwei, LI Jianqi, HUANG Biyao. Communication bandwidth prediction based on hybrid queue model for condition monitoring service in distribution network[J]. Electric Power Construction, 2019, 40(11): 1-7.
- [25] 司羽飞, 谭阳红, 汪泓, 等. 面向电力物联网的云边协同结构模型[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(24): 7973-7979.
SI Yufei, TAN Yanghong, WANG Hong, et al. Cloud edge collaborative structure model for power internet of things[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(24): 7973-7979.

收稿日期: 2020-07-03; 修回日期: 2020-09-11

作者简介:

孔垂跃(1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能电网和配电自动化; E-mail: 407649105@qq.com

陈羽(1974—), 男, 通信作者, 博士, 副教授, 研究方向为智能电网和配电自动化; E-mail: chen yukh@163.com

赵乾名(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能电网和配电自动化。 E-mail: 404163626@qq.com

(编辑 姜新丽)