

# 可扩展消息和在线表示协议在分布式馈线自动化中的应用

侯晓宁, 陈羽, 徐丙垠

(山东理工大学电气与电子工程学院, 山东省淄博市 255000)

**摘要:** 基于配电终端之间对等数据交换的分布式馈线自动化在应用过程中需要有规范的通信服务及必要的安全防护。研究了可扩展消息和在线表示协议(XMPP)应用于分布式馈线自动化系统的 IEC 61850 通信映射方法。XMPP 的加密传输机制保证了分布式馈线自动化测控信息的安全, 通过试验平台测试了该方法的传输性能, 配电终端之间的传输延时可满足缓动型分布式馈线自动化要求。

**关键词:** 分布式馈线自动化; IEC 61850; 映射方法; XMPP

## 0 引言

基于配电终端之间对等交换测控数据的分布式馈线自动化(feeder automation, FA)技术, 因其利用信息全面、就地控制速度快以及性能完善等优点而得到广泛关注。但应用过程中也存在需要解决的问题: ①各厂家的配电终端信息通信采用私有的信息模型和通信机制, 缺乏标准的信息模型和通信机制的支持, 导致无法实现不同配电终端的互操作; ②配电终端之间的通信缺乏统一的组网方案和必要的安全防护技术。

为规范配电终端的数据通信, 基于 IEC 61850 标准的信息模型和通信映射方法的研究日益增多, 以实现设备间的互联互通<sup>[1-3]</sup>。在信息模型方面, 文献[4]通过扩展出 3 个专用逻辑节点, 分别为故障定位逻辑节点(FLOC)、故障隔离逻辑节点(FISO)和非故障区域恢复供电逻辑节点(FRES), 完成智能分布式 FA 的控制逻辑; 文献[5]建立了基于智能分布式 FA 功能的 IEC 61850 终端设备信息模型。针对通信服务映射, 文献[6]从数据流量、通信带宽以及内容完整性等方面分析国际电工委员会(IEC)已发布映射协议(IEC 60870-5-101/104、制造报文规范(MMS)、Web Services)的优缺点; 文献[7]和文献[8]指出针对分布式控制应用的快速报文传输方式采用通用面向对象变电站(generic object

oriented substation event, GOOSE)事件实现。

对于分布式馈线自动化, 其配电终端不仅需要与主站通信上报监测数据, 也需要同相邻终端通信快速处理故障。现有的基于 IEC 61850 标准的开放式通信的研究中, 通信安全是一个重要问题。目前已发布的映射方案中, 映射协议本身未就通信双方进行认证且未对信息进行加密处理, 例如 IEC 61850-80-1 101/104 映射以明文方式进行传输。同时, 国家电网有限公司发布的国家电网调〔2011〕168 号《电力二次系统安全防护总体方案》(以下简称网调 168 号文)及配套的《配电二次系统安全防护方案》对终端与主站之间的通信提出了安全防护方案, 但未涉及终端与终端之间的通信安全。为此, IEC 第 57 技术委员会(IEC TC57)正在制定基于可扩展消息和在线表示协议(extensible message and presence protocol, XMPP)的 IEC 61850 通信映射方法标准, 希望可以解决配电终端间通信的安全问题, 适应结构复杂和多种通信介质并存的配电网。

本文基于 XMPP 协议的工作机制和安全机制, 研究了分布式馈线自动化系统应用 XMPP 的 IEC 61850 通信映射方法, 搭建试验平台测试了该方法的传输性能。

## 1 分布式 FA

分布式馈线自动化系统由配电主站、智能配电终端单元(smart terminal unit, STU)以及对等通信网络等构成。主要功能是: ①系统正常运行时各 STU 监测相应的一次开关设备状态信息并上报主站; ②系统发生故障时, STU 之间对等实时交互数

收稿日期: 2018-04-25; 修回日期: 2018-07-08。

上网日期: 2018-08-27。

国家重点研发计划资助项目(2016YFB0900600); 国家电网公司科技项目(52094017000W)。

据,实现故障定位、隔离及供电恢复(fault location, isolation and service restoration, FLISR)功能,并将处理结果上报主站。

配电线路发生短路故障,出口断路器及相关 STU 检测到故障电流。断路器跳闸切除故障,检测到故障电流的 STU 启动 FA 功能,根据相邻开关是否有故障电流流过进行故障区段判断。图 1 中,因 STU0 与 STU1 分别检测到 CB1 与 S1 处有故障电流流过,判断故障未发生在 CB1 相邻区段。STU2 检测到与 S1 相邻的开关 S2 处无故障电流则判断故障发生在 K1 点所在区段。确定故障区段后,参与决策控制的 STU 运行 FLISR 算法,生成故障隔离及恢复方案。STU1 与 STU2 执行命令分别断开开关 S1 与 S2,隔离故障区段并发送确认信息。STU3 与 STU0 先后执行命令闭合联络开关 S3 和断路器 CB1,恢复供电。

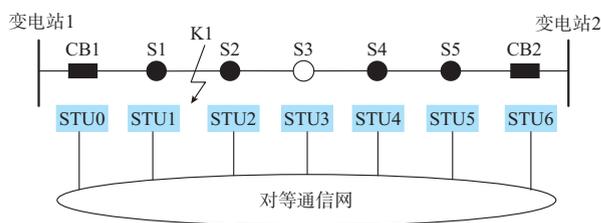


图 1 开环架空线路分布式 FA 系统  
Fig.1 Distributed FA system for an open loop overhead line

若配电线路包含分布式能源(distributed energy resource, DER),因 DER 的接入改变配电网网络结构和电气量变化,需基于故障电流幅值比较或相位比较进行故障定位<sup>[9]</sup>。

根据参与决策控制的 STU 个数不同,分布式 FA 的实现模式分为协同控制型和代理终端控制型<sup>[10]</sup>。

### 1.1 协同型分布式 FA

协同型分布式 FA 是指多个(2 个及以上)STU 共同决策,协同完成分布式 FLISR 功能。当线路发生故障时,检测到现场开关的故障信息的 STU 启动 FA 功能,与相邻 STU 对等交换信息并运行 FLISR 算法,独立进行逻辑判断,确定故障区段。生成故障隔离恢复方案后,各 STU 就地发送序列控制命令,相应开关执行动作,实现 FLISR 操作。

### 1.2 代理型分布式 FA

代理型分布式 FA 是由一指定 STU 完成 FLISR 功能的决策控制,一般以馈线为单位选定变电站出口电源开关处的 STU 为该代理终端,其余终端统称为从 STU。环网内各 STU 将检测到的信

息传达给相应的代理终端,由代理终端启动故障处理逻辑并决策开关动作,将控制命令传给相应的从 STU。该模式下,分布式 FA 的工作原理类似于集中式 FA<sup>[2]</sup>,其中,代理终端等效于配电站。

### 1.3 分布式 FA 的数据通信安全

近年来网络安全事件频发,2015 年乌克兰和 2016 年以色列均因电力系统遭遇黑客攻击,导致停电事故发生。这表明电网网络与信息安全风险长期存在,并亟须得到有效防护。

在分布式 FA 系统中,数据交互对象主要为配电终端和配电主站。配电终端分布室外,范围广,所处物理环境多为无人看守,极易遭遇攻击。数据交互内容涉及实时测量的电流、电压信息、故障指示、开关位置以及控制命令等,其操作对象直接面向线路分段开关。若配电终端被攻击或交互数据遭遇泄露、篡改,传达错误指令,将直接导致线路停电等事故发生。

目前针对配电网安全防护,国家电网有限公司实施了网调 168 号文,该文件对配电终端和主站进行了比较详细的安全防护,而对配电终端之间的通信安全未明确规定。

技术报告 IEC 61850-90-5 在广域相角测量应用中结合通信安全标准 IEC 62351,通过建立密钥分发中心(key distribution center, KDC),采用签名认证方式进行安全防护。该方法较适合代理型分布式 FA,但应用于协同型分布式 FA 时密钥需求数量多,管理复杂。此外,作为密钥分发中心的配电终端由于计算能力有限,密钥不能太长,安全防护能力有限。

## 2 XMPP 通信映射

XMPP 协议是一种基于可扩展置标语言(extensible markup language, XML)的开源通信协议,已由互联网工程工作小组完成其标准化,发布并更新了核心协议 RFC 6120, RFC 6121 和 RFC 6122<sup>[11-14]</sup>。IEC TC57 正在制定的 IEC 61850-8-2 标准采用 XMPP 映射方式解决网络安全性问题。

### 2.1 XMPP 工作机制

XMPP 的典型网络架构见附录 A 图 A1。XMPP 支持客户端/服务器端(C/S)与服务器端/服务器端(S/S)模式应用,也可通过网关与外部网络通信。XMPP 客户端间通信需与 XMPP 服务器建立连接,并由服务器进行转发。

1)客户端通过 TCP/IP 与服务器建立连接,可选设传输层安全协议(transport layer security,

TLS)的加密选项以保证传输流信息安全。

2)客户端、服务器采用简单授权与安全层协议(simple authentication security layer, SASL)取得身份认证。

3)开启 XML 新流,进行客户端资源绑定形成完整的标识符(jabber identifier, JID)。

4)客户端制定目标地址 JID,服务器查找认证后,2个客户端建立会话,具体的消息片段以消息节(XML stanza)形式封装于流中间,以 XML 流形式传输。XMPP 定义了 3 种不同消息节: <iq>, <presence>和<message>用以实现不同功能。

## 2.2 XMPP 通信映射方法

基于 XMPP 的映射即是 IEC 61850 定义的数据模型和通信服务映射到 XMPP 通信协议栈。首先,它在应用层将 IEC 61850 定义的分层模型和抽象通信服务接口(abstract communication service interface, ACSI)服务映射为数据对象和服务(同 IEC 61850-8-1 MMS 映射的定义)。在表示层,采用抽象语法标记(abstract syntax notation one, ASN.1)提供的 XML 编码规则(XML encoding rules, XER)而非 IEC 61850-8-1 中应用的基本编码规则(basic encoding rules, BER)。会话层管理 2 个关联通信实体,建立关联 ID 附加于消息中。然后进入传输层, XMPP 则根据服务类型的不同将消息封装为对应的消息节进行传输。

1)请求/响应类服务,例如: Associate, GetServerDirectory 和 SetDataValues 等,映射为 <iq>小节。

2)主动推送类服务,例如: Report 等,映射为 <message>小节。

3)配电终端或主站在状态映射为 <presence>小节。

针对 IEC 61850 定义的信息交换服务, XMPP 支持 C/S 模式的核心服务,但不支持 GOOSE 服务。部分相关 ACSI 服务与 MMS 和 XMPP 的映射如表 1 所示。

表 1 部分相关 ACSI 服务与 MMS 和 XMPP 的映射  
Table 1 Related ACSI services mapping to MMS and XMPP

ACSI 服务	MMS 协议数据单元	XMPP 消息节及类型
Associate	initiate-RequestPDU	IQ type-set
Associate	initiate-ResponsePDU	IQ type-result
GetDataValues	read-Request	IQ type-get
GetDataValues	read-Response	IQ type-result
SetBRCBValues	write-Request	IQ type-set
SetBRCBValues	write-Response	IQ type-result
Report	informationRequest	Message type-normal

## 3 基于 XMPP 映射的分布式 FA

### 3.1 系统架构

分布式 FA 应用 XMPP 的系统架构见附录 A 图 A2, STU 既可作为 IEC 61850 客户端,又可作为 IEC 61850 服务端,若作为 XMPP 通信的客户端,需通过 TCP/IP 协议连接到架设在通信网络中的 XMPP 服务器上,并由服务器转发实现客户端间会话。服务器的配置可根据系统规模及服务器的负荷来选择,例如:①在主站单独架设 1 台服务器或在前置机运行 XMPP 服务端应用程序;②分区域设置,例如以馈线组<sup>[15]</sup>为单位配置服务器。

协同型分布式 FA 和代理型分布式 FA 因参与决策控制的 STU 个数不同,导致数据流向和数据传输量的不同。配电线路发生故障时,协同型与代理型分布式 FA 在进行故障隔离及恢复时的数据传输量相差不大。在进行故障定位时,由于协同型需要相邻 STU 的双向交互,经服务器转发次数较多,且服务器处理信息量大。代理型则仅需由从 STU 传达给代理 STU,交互数据转发少,实时性能要好于协同型分布式 FA。

### 3.2 映射示例

分布式 FA 数据的传输主要包括 2 个方面:模型数据和实时数据。模型的传输可以通过多次获取服务或者以文件形式进行传输,用以描述 STU 的功能模块、信息对象组成等。实时数据包括系统正常运行时的量测值,以及故障时的状态量变化和 control 命令等,采用 IEC 61850 定义的 Report 服务将数据集内规定的数据和数据属性报告和记录。

基于 XMPP 采用的 XML 进行相应扩展,将对象数据和服务函数嵌入扩展标签中并封装在相应的 XML 消息节内以 XML 流的形式传输。分布式 FA 的部分传输信息流组织示例见附录 B 表 B1 和表 B2。

### 3.3 通信安全防护

基于 XMPP 的分布式 FA 通信模式为配电终端—服务器—配电终端(或配电主站),同时也需进行服务器间的通信。故其通信安全保障应基于 3 种模式,即:①C/S 模式;②S/S 模式;③端到端(end-to-end)模式。

为保证传输流的安全, XMPP 设有 TLS 和 SASL 这 2 个层次的安全机制,且已内置于 XMPP 核心技术规范。TLS 用于通信通道加密,保证传输流的安全;SASL 用于用户授权与认证。

SASL 协商期间发送的一些验证信息,例如登

录名和密码都是以明文的方式传输。所以,在 SASL 协商之前先进行基于 TLS 的纯文本通信协议扩展 (STARTTLS) 协商。STARTTLS 握手成功后,初始化实体(在此指的是 XMPP 客户端)必须通过加密的连接发送一个建立新初始化流的标志,然后开启 SASL 协商。SASL 可提供 SCRAM-SHA-1, CRAM-MD5 和 PLAIN 等多种认证机制,如果进行 SASL 协商,通信实体需实现一个或多个认证机制。安全协商流程见附录 A 图 A3。

终端 STU1 向终端 STU2 发送消息,需经服务器的转发,会经历解码再重新加密发给 STU2 的过程,窃听者会利用此间隙窃取消息,故通信安全也需保障端到端模式,即在源端到终端需始终以密文形式传输。RFC 3923 规定了实现基于 XMPP 的端到端签名及对象加密的规范。

#### 4 实时传输延时测试

为了测试 XMPP 传输 IEC 61850 信息的实时性,搭建了如图 2 所示的试验系统,由光纤以太网交换机、路由器、个人计算机(PC)以及相关应用软件等组成。PC1 安装 XMPP 通用服务器 Openfire。PC2 至 PC7 为 XMPP 客户端。其中,PC2 和 PC3 分别模拟智能配电终端 STU1 和 STU2 用于收发 XMPP 数据测试。利用 PC4 至 PC7 模拟配电网中服务器上的其余在线用户,实现用户登录以及各用户相互之间的通信,用以产生通信网络中的背景流量。试验测试中,共模拟用户 502 个。客户端程序基于 Java 语言实现, XMPP 类库使用 Smack 库。

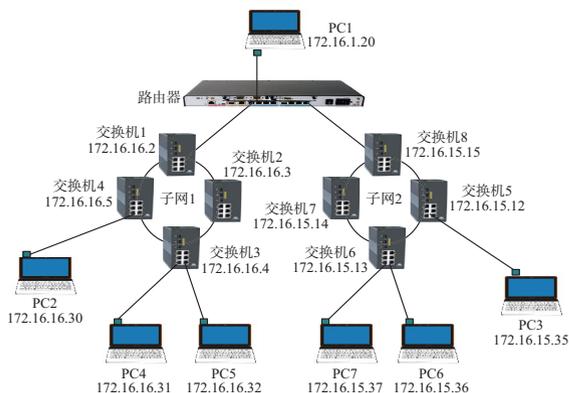


图 2 XMPP 试验系统  
Fig.2 Prototype system of XMPP

通信延时测试采用乒乓测试方法,以测试端发送和接收数据包的平均时间作为端到端数据传输延时。不同大小的报文各发送 5 000 包,测试得到的端到端数据传输延时包括网络传输延时以及服务器

处理延时。发送到服务器的数据包,需在服务器处理的数据包队列中等待并由服务器转发到目的地址。若传输的数据包为加密数据包,由于不同 STU 的密钥不同,则在服务器中需要先解密,再加密后转发。故服务器的处理延时主要包括服务器加解密延时以及服务器转发延时。

由图 3 可知,通信报文大小对传输延时影响较大,基本呈现为传输延时随报文的增大而增大。有安全加密的平均延时高于无安全加密平均延时,主要是因服务器的加解密延时。基于 XMPP 传输 IEC 61850 数据对象,要结合 IEC 61850 的数据类型和服务参数进行基于 XML 的扩展,形成多层定义标签以封装数据。故典型的 XMPP 封装的数据包一般在千字节以上。以 3 075 B 的报文为例,其基于 XMPP 有安全加密的端到端平均传输延时约为 4.904 9 ms,最大延时约为 17 ms。由图 4 可知,该报文下的传输延时主要集中在 4~6 ms,出现的延时数值较大点非连续出现。

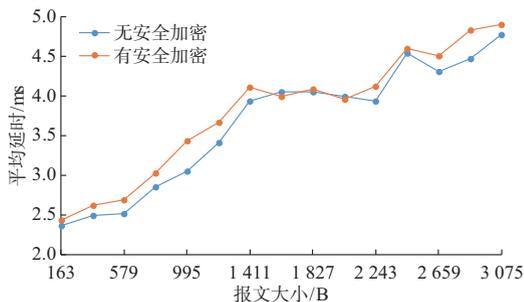


图 3 不同报文大小的端到端平均传输延时  
Fig.3 End-to-end average transmission delay for different packet sizes

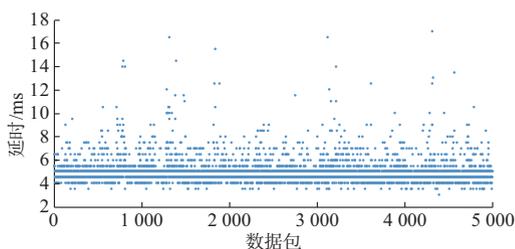


图 4 报文大小为 3 075 B 的数据包传输延时测试散点图  
Fig.4 Scatter plot of the transmission delay test with packets size of 3 075 bytes

在 CPU 主频为 2.2 GHz 的 PC 上对该报文进行加密延时的测试,测得时间为 0.3 ms。折算到采用 Blackfin 为处理器,主频为 300 MHz 的 STU,其加密延时约为 2.25 ms。故基于 XMPP 传输从 STU 发送端进行加密到 STU 接收端收到消息的传输延时约为 7.514 9 ms。

文献[7]介绍了配电网的分布式快速报文采用 GOOSE 传输,并测得基于 GOOSE over UDP 方案的分布式测控报文在 1.5 kB 范围内,其传输延时在 2 ms 以内。相比之下,基于 XMPP 的分布式测控报文在 1.5 kB 下的传输延时较大,平均延时约为 3.9 ms。主要原因是 XMPP 数据包为保证安全需要经过服务器转发。另因 XMPP 采用 XML 纯文本编码形式,在传输相同的 IEC 61850 信息内容时, XMPP 报文较大,故延时则也相应增大。

国家标准<sup>[16]</sup>中规定:①速动型分布式 FA 对等通信故障信息交互延迟时间不大于 20 ms;②缓动型分布式 FA 对等通信故障信息交互报文延迟时间不大于 200 ms。根据测试,3 075 B 的报文在安全加密时的端到端最大传输延时为 17 ms。但在现场应用时, XMPP 数据包大小可能大于 3 kB。且与实际应用的通信环境相比,试验测试的网络环境稳定,服务器性能较好。因此, XMPP 报文实际传输时的最大传输延时可能超过 20 ms,但满足缓动型分布式 FA 的信息交换传输延时要求,故可在缓动型分布式 FA 中进行基于 XMPP 的应用探索。对于速动型分布式 FA 需要进一步研究其他安全的通信方式以满足要求<sup>[17-19]</sup>。

此外, XMPP 利用自身的安全机制,进行身份验证和数据流的加密传输,满足了网络安全服务体系规定的 4 个要素:认证、授权、数据保护和认可。GOOSE over UDP 方案结合 IEC 62351 标准,仅采用简单的数字签名认证方式,安全防护能力有限,存在信息被窃听、被篡改的风险,且密钥的管理增加了工程调试和运行管理难度。相比之下, XMPP 方案能够在保证信息安全的基础上,确保配电网故障及时响应,更适合于对安全性能要求较高的配电网。

## 5 结语

为规范分布式 FA 的通信映射,解决 STU 之间的通信安全防护问题,本文研究了 XMPP 在分布式馈线自动化功能应用中的 IEC 61850 通信映射问题,基于 XML 扩展和内置的安全机制可实现对数据的加密及完整性传输。而加解密算法在一定程度上影响传输实时性,通过试验测试了 XMPP 的实时传输延时。

试验结果表明,基于 XMPP 方案的传输延时大于 GOOSE over UDP 方案,但满足缓动型分布式 FA 信息交互延迟不大于 200 ms 的要求,且基于 SASL 和 TLS 的用户授权、认证和通信通道加密技

术,可实现配电网的横、纵向信息安全防护,为智能配电终端、分布式电源监控终端的接入提供了一种安全有效的通信映射方式。

下阶段,将针对具体应用研究报文大小和服务模型的优化方案以提高 XMPP 通信性能,并进行验证。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

## 参考文献

- [1] 任雁铭,操丰梅. IEC 61850 新动向和新应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 1-6.  
REN Yanming, CAO Fengmei. New development and new application of IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(2): 1-6.
- [2] 王志,熊文,陈羽,等. 基于 IEC 61850 的集中式馈线自动化信息模型[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(8): 133-137. DOI: 10.7500/AEPS20160821001.  
WANG Zhi, XIONG Wen, CHEN Yu, et al. Information model of centralized feeder automation based on IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(8): 133-137. DOI: 10.7500/AEPS20160821001.
- [3] 任雁铭,操丰梅,张军. IEC 61850 Ed 2.0 技术分析[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(3): 1-5.  
REN Yanming, CAO Fengmei, ZHANG Jun. Technical analysis of IEC 61850 Ed 2.0 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(3): 1-5.
- [4] 凌万水,刘东,陆一鸣,等. 基于 IEC 61850 的智能分布式馈线自动化模型[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 90-95.  
LING Wanshui, LIU Dong, LU Yiming, et al. Model of intelligent distribution feeder automation based on IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(6): 90-95.
- [5] 陈云国,戴胜,杨乘胜,等. 基于 IEC 61850 的智能分布式馈线自动化系统建模[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 189-222.  
CHEN Yunguo, DAI Sheng, YANG Chengsheng, et al. IEC 61850-based modeling of intelligent distributed feeder automation system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6): 189-222.
- [6] 韩国政,徐丙垠,索南加乐,等. 基于 IEC 61850 的配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.
- [7] 范开俊,徐丙垠,陈羽,等. 配电网分布式控制实时数据的 GOOSE Over UDP 传输方式[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(4): 115-120. DOI: 10.7500/AEPS20150615006.  
FAN Kaijun, XU Bingyin, CHEN Yu, et al. GOOSE over UDP transmission mode for real-time data of distributed control applications in distribution networks [J]. Automation of Electric

- Power Systems, 2016, 40(4): 115-120. DOI: 10.7500/AEPS20150615006.
- [8] 陈晓杰,徐丙垠,陈羽,等.配电网分布式控制实时数据快速传输技术[J].电力系统保护与控制,2016,44(17):151-158.  
CHEN Xiaojie, XU Bingyin, CHEN Yu, et al. Real-time data fast transmission technology for distributed control of distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(17): 151-158.
- [9] 唐成虹,杨志宏,宋斌,等.有源配电网的智能分布式馈线自动化实现方法[J].电力系统自动化,2015,39(9):101-106. DOI: 10.7500/AEPS20141219002.  
TANG Chenghong, YANG Zhihong, SONG Bin, et al. A method of intelligent distributed feeder automation for active distribution network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 101-106. DOI: 10.7500/AEPS20141219002.
- [10] 高孟友.智能配电网分布式馈线自动化技术[D].济南:山东大学,2016.  
GAO Mengyou. Distributed feeder automation technology for smart distribution network[D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [11] 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. DOI: 10.7500/AEPS20160714008.  
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. DOI: 10.7500/AEPS20160714008.
- [12] Extensible messaging and presence protocol (XMPP): core; RFC 6120[S]. 2011.
- [13] Extensible messaging and presence protocol (XMPP): instant messaging and presence; RFC 6121[S]. 2011.
- [14] Extensible messaging and presence protocol (XMPP): address format; RFC 6122[S]. 2011.
- [15] 范开俊.智能配电网分布式控制技术及其应用[D].济南:山东大学,2016.  
FAN Kaijun. Distributed control technologies and its application in smart distribution network[D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [16] 配电自动化终端技术规范:GB/T 35732—2017[S].北京:中国电力出版社,2017.  
Technical specifications of intelligent remote terminal unit of distribution automation: GB/T 35732—2017 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2017.
- [17] 徐丙垠,薛永瑞,李天友,等.智能配电网广域测控系统及其保护控制应用技术[J].电力系统自动化,2012,36(18):2-9.  
XU Bingyin, XUE Yongduan, LI Tianyou, et al. A wide area measurement and control system for smart distribution grids and its protection and control applications[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 2-9.
- [18] 高孟友,徐丙垠,范开俊,等.基于实时拓扑识别的分布式馈线自动化控制方法[J].电力系统自动化,2015,39(9):127-131. DOI:10.7500/AEPS20140604003.  
GAO Mengyou, XU Bingyin, FAN Kaijun, et al. Distributed feeder automation based on automatic recognition of real-time feeder topology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 127-131. DOI: 10.7500/AEPS20140604003.
- [19] 刘健,赵树仁,负保记,等.分布智能型馈线自动化系统快速自愈技术及可靠性保障措施[J].电力系统自动化,2011,35(17):67-71.  
LIU Jian, ZHAO Shuren, YUN Baoji, et al. Fast self-healing technology in distributed intelligent feeder automation systems and its reliability enhancement [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 67-71.

侯晓宁(1993—),女,硕士研究生,主要研究方向:智能电网和配电自动化。E-mail: hxn0635@163.com

陈羽(1974—),男,通信作者,博士,副教授,主要研究方向:配电网自动化和智能电网。E-mail: chenylukh@163.com

徐丙垠(1961—),男,博士,教授,主要研究方向:电力系统故障检测、配电网自动化和智能电网。E-mail: xuby@vip.com.cn

(编辑 杨松迎)

## Application of Extensible Message and Presence Protocol in Distributed Feeder Automation

HOU Xiaoning, CHEN Yu, XU Bingyin

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

**Abstract:** Distributed feeder automation based on peer-to-peer data exchange between distribution remote terminal units (RTUs) needs standardized communication protocol and necessary security protection. This paper studies the communication mapping method of IEC 61850 with application of extensible message and presence protocol (XMPP) in distributed feeder automation system. The encryption mechanism of XMPP ensures the communication safety of distributed feeder automation. The transmission performance is tested and the transmission delay between distribution RTUs can meet the requirements of regional slow distributed feeder automation.

This work is supported by National Key R&D Program of China (No. 2016YFB0900600) and State Grid Corporation of China (No. 52094017000W).

**Key words:** distributed feeder automation; IEC 61850; mapping method; extensible message and presence protocol (XMPP)