

DOI: 10.7667/PSPC151906

OPC UA 及其事件模型在调度全域事件分析中的研究应用

黄春红

(国网厦门供电公司, 福建 厦门 361004)

摘要: 研究在调度全域事件分析中全面应用 OPC UA 标准。分析当前系统中使用的 GES 信息模型、服务接口及调度事件分类, 研究通过 OPC UA 告警和条件等规范定义的 OPC UA 事件模型描述调度全域事件, 及通过 OPC UA 事件服务提供事件访问支持。对 OPC UA 事件服务与 GES 在事件定义和服务能力方面的差异给出了说明。以 CIM 模式、OPC UA 事件分类为基础, 建立事件分析应用的地址空间模型。建立基于 OPC UA 规范的事件分析应用, 在统一地址空间中管理电网模型及事件等数据, 完成事件综合分析。调度全域事件分析遵循 OPC UA 规范, 提升了标准化程度、通信效率和安全性。

关键词: OPC UA; 事件模型; 事件综合分析; 电网调度

Application of OPC UA and its event model in event analysis of dispatch domain

HUANG Chunhong

(State Grid Xiamen Power Supply Bureau, Xiamen 361004, China)

Abstract: The focus of this paper is on applying OPC UA specifications in event analysis of dispatch domain. GES information model, service interfaces used in current system and categories of dispatching events are analyzed first. Then using event model defined in OPC UA alarm and conditions specification to describe power dispatching events, and providing data access support through OPC UA event service are studied. The differences of event definition and capability of service between GES and OPC UA event services are also discussed. Based on CIM and OPC UA event categories, the address space model of event analysis application is set up. Then the event analysis application is developed to analyze events synthetically, with power grid model and event model managed in unified address space. The event analysis application conforms the OPC UA specification and the communication efficiency and security has been improved.

Key words: OPC UA; event model; event correlation analysis; power dispatching

0 引言

大规模电力系统的复杂性使得故障可能单发、并发, 甚至连锁发生^[1-3]。防范故障造成损失的一个可行措施是配置各类测量、监控系统^[4], 获取多层次电网运行信息为调度决策提供辅助^[5], 以及运用各种安全控制方法^[6-7]。其中对电网事件及时做出反应尤为重要, 能够防患于未然或减小损失。文献[8]研究了基于电力调度自动化系统实时数据库和关系数据库的电网事件捕捉方案, 文献[9]根据故障可能造成的损失对故障进行分类筛选, 文献[10]提出了基于故障影响域的预想故障集自动筛选方法, 提升了故障分析计算的效率。文献[11]则构建了调度全域事件综合分析和响应系统, 基于公共信息模型

(Common Information Model, CIM)^[12-13], 统一建模能量管理系统、变电站视频辅助系统、输电在线监测系统、变电在线监测系统、气象信息系统、雷电定位系统、故障信息系统、通信监测系统、智能巡检信息系统、线路地理信息系统等业务系统的电网模型及台账数据, 汇集运行、监测数据和事件数据, 以关联区域为主线, 对事件做出综合的分析和基于融合通信的快速处置, 有效地提高了对多系统事件资源的综合利用和快速响应。

在调度全域事件综合分析和响应系统的事件分类及服务体系方面, 已有系统采用的是 IEC TC57 制定的通用事件与订阅(Generic Eventing And Subscription, GES)服务^[14]。GES 规范通过简单事件、跟踪事件和条件事件划分事件大类, 利用区域、源、

源条件等组织告警来源对象和告警条件等，形成了较为规范的事件描述并通过应用程序接口(API)支持标准化的访问^[15]。但 GES 与 IEC 61970 组件接口规范(Component Interface Specification, CIS)^[16]中其他主要数据访问服务一样，主要考虑在局域网环境下运行，在通信协议适应性、安全方面存在一定的弱点，跨网关的端口设置也相对复杂。OPC 统一架构通过定义完整的信息模型、通信架构和服务有效地解决了 CIS 在应用方面存在的问题，这也是 IEC TC57 决定新一代 IEC 61970 CIS 全面采用 IEC 62541(OPC Unified Architecture, OPC UA)的重要原因^[17]。从电力系统管理及其信息交换领域的国际标准发展来看，基于 OPC UA 的事件服务将逐步替代 GES 事件服务，需要在调度全域事件综合分析和响应系统中研究、应用 OPC UA 事件模型及服务。

本文首先分析 GES 规范信息模型、服务接口及基于 GES 的调度全域事件分类，之后研究包括告警与条件在内的 OPC UA 规范，比较 GES 规范与 OPC UA 的事件定义及服务的异同，再基于 OPC UA 基础事件模型和数据管理方案建立一体化的地址空间模型，全面管理电网模型和事件在内的各类数据，在此基础上综合分析调度领域事件，最终构建出支持新一代标准的调度全域事件分析应用。

1 GES 信息模型、服务接口及调度事件分类

1.1 GES 信息模型及服务接口

GES 信息模型规定服务器按照固定的数据组织方式对外暴露数据^[15]。

图 1 示出了 GES 信息模型构成。上部是对象数据层级、对象拥有的性质(Property)以及条件组成关系。一个区域内可以有多个事件源对象，每个事件源对象有特定的类型以及归属到类型的性质。左下部是条件模型，在条件空间中定义对应于源对象的条件；右侧是事件分类(Category)定义；此外还包含状态转移的模型。

GES 规范用接口规定客户端与服务器的交互。其中，会话接口用于建立客户端与服务器的会话，基于会话创建订阅(Subscription)，以及查询区域(Area)、源(Source)、条件空间(ConditionSpace)、源条件(SourceCondition)、分类(Category)、类型和性质等。建立订阅时客户端向服务器传递回调接口，用于接收各类事件。

GES 事件在传递时归纳为三大类事件报文，即简单事件(SimpleEvent)、跟踪事件(TrackingEvent)和条件事件(ConditionEvent)。简单事件中的字段作为基本属性，可被另两类事件引用。

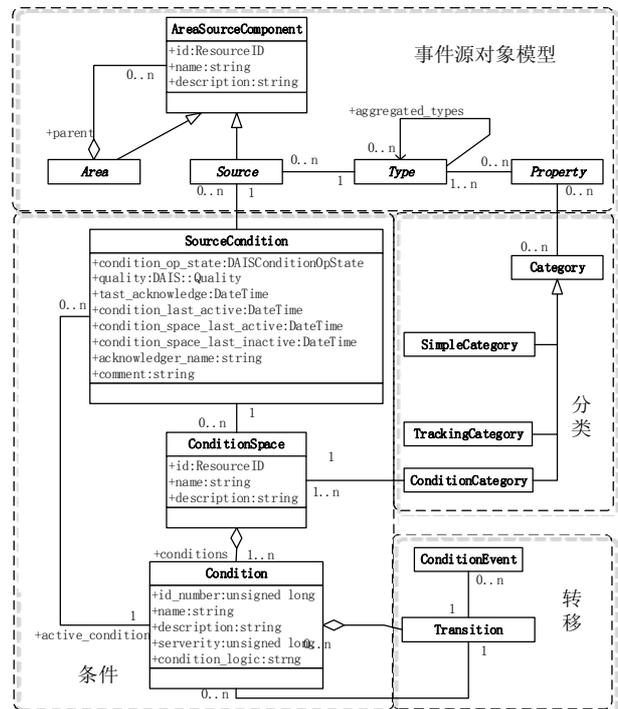


图 1 GES 信息模型

Fig. 1 GES information model

1.2 调度全域事件分类

调度全域事件主要包括能量管理(EMS)系统、变电站设备监测(OMDS)系统、输电线路监测(OMDSLLine)系统、变电设备辅助系统视频(SubstationVideo)、主网通信(MNet)系统、配网通信(DNet)系统、保护信息系统、输电线路视频(LineVideo)系统等等。按照 GES 的事件分类，将仅反映状态变化的事件建模为简单事件，将各系统中的与操作相关的事件建模为跟踪事件，将按条件告警的事件建模为条件事件，同时转换源系统定义的条件。

简单事件包括模块运行、负荷预报报告、状态估计报告、系统安全审计等事件；跟踪事件包括升降操作、置点操作、遥控操作、通道操作、挂牌操作、投退设置操作、保护复归、报警确认、投切操作、替代操作、方案执行、设备禁用、数据设置操作等等；条件事件包括频率类、变压器档位、断路器、分接开关、隔离开关、(微机)保护、遥测超计划、遥测越限、线路状态告警、变电站视频告警、通信告警等等。

各类事件拥有的属性不同，在通过事件报文传递事件数据时，利用 SimpleEvent 中的性质值变量(property_values)传递与事件类别对应的属性集合。

2 OPC UA 规范及事件模型和服务

2.1 OPC UA 规范

OPC UA 是在经典 OPC DA 接口及 OMG 的 DAIS 之后,为解决 OPC XML-DA 的运行效率问题开发的能适应多种平台的新一代数据访问规范^[18]。OPC UA 利用带安全的通信通道实现数据在客户端和服务端间的通信以完成服务调用,支持基于 XML 和更高传输效率的二进制编码。

OPC UA 满足两个方面的核心需求:数据建模和分布式系统通信。数据建模方面,OPC UA 采用面向对象的方式建模数据,具有可扩展的类型系统,能够处理复杂数据和方法,尤其适合与 IEC TC57 公共信息模型等面向对象的行业信息模型相配合。分布式通信方面,注重平台独立性、互操作性、安全和访问控制,以及因特网和防火墙友好。其中因特网和防火墙友好这一特性,能够为系统服务的部署提供极大的便利,也一定程度上克服了之前版本的 CIS 所采用的 CORBA 组件在跨防火墙通信方面存在的问题。

OPC UA 服务是数据提供者(服务器)和数据消费者(客户端)之间的接口。服务以抽象方式定义,涵盖了模型、历史、实时、事件访问等自动化和信息管理领域的常见服务。

OPC UA 用地址空间模型说明如何建立数据间的组织关系^[19],在服务整体规范基础上^[20],分多个部分分别定义了经典接口中模型、实时、历史、事件等各大类的信息模型和访问接口。与先前分别在各个服务中采用不同的数据关联管理不同,OPC UA 在统一的地址空间综合管理各类数据^[21]。

2.2 事件模型

OPC UA 事件以基本事件类型(BaseEventType)为基类,用多个子类型建模各种事件,包括系统管理的数据的方方面面,在两个规范中给出定义。其中,第 5 部分“信息模型”中给出描述系统或装置自身事件的系统事件(SystemEventType)、审计事件(AuditEventType)、语义变化事件(SemanticChangeEvent)和基础模型更改事件(BaseModelChangeEvent)等(图 2)。

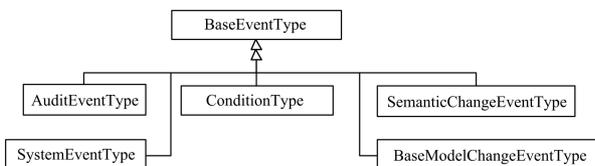


图 2 OPC UA 事件类型概况

Fig. 2 OPC UA event type definition

通过这些高层次事件类及众多子类(如已定义的审计事件类型子类超过 22 个),覆盖了系统服务器中模型数据变化、安全连接及读写审计管理、系统运行等方面。与基于条件生成的事件的“告警和条件”定义单独放在 OPC UA 第 9 部分^[21]。

对于电网调度领域而言,告警和条件有关的事件的重要性要高于其他类的事件。而 OPC UA 也恰恰在这方面给出了更为详细的设计。与 GES 仅规定了几个事件大类不同,OPC UA 在告警和条件模型中定义了详细的事件类型继承树(图 3),可以使用类层次中与告警事件对应良好的类型表征事件。

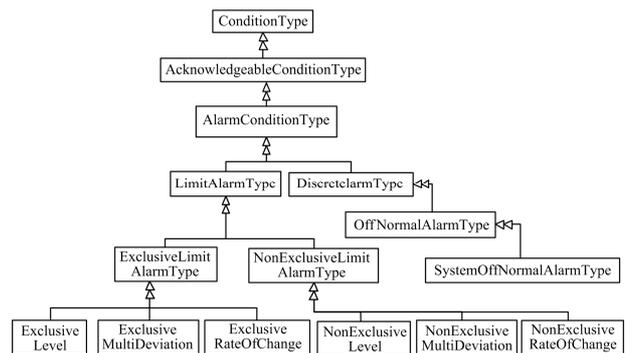


图 3 条件事件类型

Fig. 3 Condition event type

例如,限值告警(LimitAlarmType)和离散量(DiscreteAlarmType)可分别用于建模遥测越限和遥信变位等。而当系统状态转移至不正常时,可使用更具体化的 SystemOffNormalAlarmType。

2.3 事件服务

OPC UA 提供完备的服务集支持客户端与服务器的信息交互。从大类上看,OPC UA 的服务集包括:①用于发现服务器的发现服务集;②进行客户端与服务器连接管理的安全通道和会话服务集;③查找地址空间中信息的视图服务集和查询服务集;④直接读写数据和元数据的读写服务;⑤订阅数据变化和事件的订阅服务集和监视项(MonitoredItem)服务集;⑥调用服务器方法(远程调用)的调用服务;⑦读取历史数据和事件的历史数据读取及历史数据更新服务;⑧修改服务器地址空间构成的节点管理服务集等。

事件访问需首先定位事件服务(器),再建立安全的通信通道和会话;之后通过定位地址空间中的事件源对象,确定建立订阅需要的监视项,并设定过滤条件。上述过程中需要使用多个服务集中的服务,但重点是视图和查询服务集、订阅服务集以及监视项服务集。

事件源通过查找地址空间中的对象和变量实例节点获得。访问地址空间确定事件源对象仅需在服务器模型数据改变后进行。地址空间中的任何作为事件通知器(EventNotifier)的节点都可以作为事件源对象。一个节点可以产生什么样的事件由该节点所属类型定义节点通过“GeneratesEvent”引用的事件类型确定。

OPC UA 的事件信息访问通过建立会话后创建订阅以及事件监视项完成^[20]。利用订阅分组信息源, 设定关注的对象(信息源); 一个监视项完成对一个信息源的管理。在创建监视项(Create MonitoredItems)时指定监视参数, 事件监视项参数的内容包括被监视对象、过滤器等(表 1)。

表 1 事件监视参数

Table 1 Parameters of event monitoring

参数名	描述
itemToMonitor	标识待监视的地址空间中的一个项
monitoringMode	监视模式, 应取值为 REPORTING_2
clientHandle	客户端提供的监视项标识
samplingInterval	抽样间隔 如果为 0 表示有事件即通知
filter	过滤器
selectClauses[]	选择子句列表, 用于选择每个事件通知返回的内容
	whereClause
queueSize	队列大小。如果事件丢失, 生成一个“事件队列溢出”类型的事件
discardOldest	在队列满的时候, TRUE 表示丢弃在队列中最老的(第一个)通知。新的通知被添加到队列的末尾。FALSE 丢弃新的通知, 队列不变。

每条事件中包含的信息是由事件类型确定的。以基本事件类型实例发送的事件主要包含的属性见表 2。各子事件类型会根据自身需求扩展特定的属性。

表 2 基本事件属性

Table 2 Properties of BaseEventType

属性变量名称	属性类型	说明
EventId	ByteString	事件标识
EventType	NodeId	事件类型
SourceNode	NodeId	源节点 ID
SourceName	String	源对象名字
Time	UtcTime	发生时间
ReceiveTime	UtcTime	接收时间
LocalTime	TimeZoneDataType	时区
Message	LocalizedText	消息
Severity	UInt16	重要性

事件一般在产生时发送, 不在地址空间中建立实例对象。告警和条件类型以及条件实例在地址空间中建模, 以响应客户端设定条件值等需求。

3 GES 与 OPC UA 的事件定义及服务差异

从以上对 GES 和 OPC UA 告警与事件模型及服务的分析可以得到 GES 与 OPC UA 在事件定义和服务方面的差异。

事件定义方面, GES 提供了事件和告警的信息模型, 但其通用性和可扩展能力不及 OPC UA 提供的模型。GES 中定义的简单事件、跟踪事件可直接用 OPC UA 中定义的 BaseEventType 和 AuditEventType 实现。复杂一些的条件事件(ConditionEvent), 则利用 OPC UA 告警和条件部分定义的 ConditionType 及其子类实现。在某些已有模型不能覆盖需求的情况下, 可通过派生新子类完成扩展。

服务方面, 除了 OPC UA 比 DAIS 整体拥有的通信安全、二进制和 XML 编码支持、防火墙友好等优势之外, 在订阅和过滤的灵活性方面, OPC UA 事件访问也优于 GES。GES 服务通常由与模型(电网模型等)分立设置的单独的服务器提供, 事件过滤仅针对一个订阅, 无法具体到单独的监视项。OPC UA 的事件服务与源对象的地址空间管理体系融合, 客户端不仅可以过滤事件类型, 还可以选择其想获得的字段, 并且过滤可设定到具体监视项。这样就为客户端的应用提供了更高的灵活性。

4 基于 OPC UA 的调度全域事件分析

考虑到 OPC UA 及事件规范所具备的先进性, 在支持 GES 的基础上, 调度全域事件分析服务增加支持 OPC UA。所进行的设计开发包括电网模型数据的 OPC UA 地址空间组织、事件转换及分析、包括事件订阅在内的 OPC UA 服务实现等。

4.1 地址空间组织

在 OPC UA 服务器中, 所有为客户端提供的对象和相关信息均与服务器的地址空间有关。

OPC UA 地址空间的基本单位是节点。不同类别节点包括固定属性集。其中, 定义类型之间关系的元模型构成了地址空间模型。调度全域事件分析基于 IEC TC57 CIM, 利用 OPC UA 的类型扩展性, 将 CIM 中的类、属性等建模为地址空间模型的节点, 实现基于 CIM 的调度全域分析服务地址空间模型。

OPC UA 服务器通过节点间的引用, 把地址空间组织成一个孔型网状结构。为了便于客户端按照常用的场景层次化检索信息, 通常服务器地址空间

节点以层次结构组织。调度全域分析服务充分利用 OPC UA 的视图定义能力和电网模型先天具有良好的层次关系，建立“站→电压等级→间隔→设备→量测→量测值”、“线路→设备→量测→量测值”等层次结构与站、线关联的网状结构结合的地址空间。各条件类型与相应的节点建立关联。

地址空间的构建是服务器启动时根据视图设置，通过加载数据库中的 CIM 对象数据完成。作为应用服务器，仅接受客户端订阅事件，不接受客户端创建节点请求。

4.2 事件转换及分析

调度全域事件综合分析和响应系统已经实现能量管理系统、输变电设备状态监测、环境监测、通信监测等系统的事件分类建模及汇集，因此，基于 OPC UA 的事件分析尽管具备从源系统直接获取事件信息以及基于变化数据产出事件的能力，但优先采用从已有 GES 服务提取的事件数据。

通过原平台的 GDA、HSDA、TSDA 等标准接口获取电网模型和实时数据以及必要的历史数据，将层次化组织的电网模型对象节点与其支持的事件类型关联，一同构成事件分析应用的地址空间。从 GES 提取的事件累积到事件队列(图 4)。

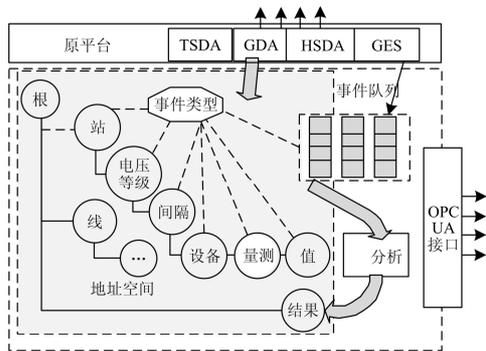


图 4 事件分析应用构成

Fig. 4 Structure of event analysis application

事件提取过程中，按照简单事件转换为 BaseEventType 和 SystemEventType 实例、跟踪事件转换成 AuditEventType 实例、条件事件转换成 ConditionType 及其子类实例的映射方式将各类事件转换为遵循 OPC UA 标准的事件。

分析逻辑由事件队列中的高优先级事件触发，将队列中的事件结合地址空间中模型以及与事件发生时刻相关的实时及历史数结合，构成事件案例分析结果，回写生成地址空间中的新节点对象，通过 OPC UA 接口对外发布。新案例产生时，产生一条“事件分析案例生成”的系统事件，供订阅该类型事件(事件分析客户端等)的应用使用。

4.3 服务实现

OPC UA 服务定义应用层的数据通信,OPC UA 客户端通过调用服务的方法，访问 OPC UA 服务器提供的数据。事件分析应用实现必须的 OPC UA 服务以支持其他类型的事件应用。

基于抽象的 UA 服务定义，OPC UA 栈定义了语言特定的 API。C/C++、Java、C#(.NET)等语言的版本均有经 OPC 基金会认证的软件开发工具包。事件分析应用使用 Prosys 的 Java 版 OPC UA SDK^[22]。

基于 SDK 实现的服务集重点放在与事件访问相关的订阅服务集和监视项服务集，同时实现支持事件服务体系所需要的安全通道服务集、会话服务集、节点管理服务集、视图服务集。

4.4 测试

OPC UA 事件服务发布后，进行两种测试：① 与已经存在的 GES 访问对比测试；② OPC UA 事件服务标准符合性。由于服务器连接信息已知，测试过程不使用查找服务器相关的方法(表 3)。

表 3 OPC UA、GES 事件访问对比测试

Table 3 Comparison test of event access between

OPC UA and GES

测试项目	OPC UA 事件服务	GES
会话建立	使用安全机制。创建安全通道，在安全通道建立成功后创建会话	直接连接目标 CORBA 服务创建会话
事件源对象定位	使用 OPC UA 包含的浏览服务(Browse)定位目标对象，获得节点的 NodeId	连接 GDA 服务或通过浏览 GES 视图获取事件源对象资源标识(ResourceId)
订阅回调地址	无。通过主动查询获取事件。	传递回调地址到服务器端
订阅事件	根据获得的 NodeId 创建监视项(MonitoredItem)	根据获得的目标对象 ResourceId 订阅事件
跨防火墙能力	强，不需要特殊配置	弱，需针对服务器和客户端两侧配置
事件数据传输效率	使用二进制 UA TCP 协议通信与 GES 持平；使用 SOAP/HTTP 通信约慢一个数量级	高

利用 OPC UA 事件服务，对象定位不需使用另外的服务；在使用二进制 UA TCP 协议的情况下可获得与 GES 等同的效率；良好的安全机制使事件数据访问安全性能得到提升；并可方便地跨防火墙访问。

OPC UA 事件服务标准符合性测试根据 OPC UA 协议子集规范实施。OPC UA 规定一个应用(客户端或服务端)需要实现其声明支持的子集中的所有一致性单元才被视作与标准兼容^[23]。调度全域事

件分析服务器声明支持的协议子集包括安全相关协议子集(SecurityPolicy - Basic128Rsa15、Basic256、None)、标准 UA 服务器(Standard UA Server)、节点管理(Node Management Server Facet)、标准事件订阅服务器(Standard Event Subscription Server Facet)等等。事件服务标准一致性测试重点针对选定的告警和条件(A&C)相关的 A & C Confirm(事件确认)、A & C Exclusive Level(互斥限值告警)等等一致性单元(表 4), 共设置 58 个测试用例。

表 4 主要测试用例

Table 4 Main test cases

一致性单元	测试用例	描述
A & C Basic	5	告警和条件模型基础
A & C ConditionClasses	8	支持多个条件类型
A & C Acknowledge	3	告警收悉
A & C Confirm	3	告警确认
A & C Alarm	6	告警支持, 包括启用/停用
A & C Exclusive Level	7	互斥限值告警
A & C Exclusive RateofChange	7	互斥变化率告警
A & C Non-Exclusive Level	7	非互斥限值告警
A & C Non-Exclusive RateofChange	7	非互斥变化率告警
A & C Discrete	5	离散值告警

测试环境由仿真源系统、调度全域事件综合分析和响应系统的模型服务器、事件分析服务器以及测试软件构成。具体测试用例的执行过程为: ① 测试软件建立到事件服务的会话; ② 针对目标节点订阅事件(包括条件设定); ③ 通过仿真源系统实时数据值变化及模拟遥控等操作, 触发事件; ④ 分析比对收到的事件。其中③由人工完成, 用于生成与测试用例相关的事件。全部测试用例运行通过, 表明所实现的 OPC UA 事件服务器能够以符合 OPC UA 规范的方式为客户端提供事件。

5 结论

OPC UA(IEC 62541)为电网调度领域的的数据交换提供了新的接口标准。本文以调度全域事件综合分析和响应系统中事件建模、基于事件综合分析以及提供基于 OPC UA 的事件服务为切入点, 在研究 GES 事件模型、服务与 OPC UA 规范的基础上, 通过转换 GES 事件并利用平台系统的各类数据, 构建了符合 OPC UA 地址空间规范的数据一体化管理体

系, 实现了综合事件分析功能。

事件服务的标准符合性通过测试用例的运行结果得到验证, 提取到事件分析应用中的电网模型数据、事件数据以及在分析过程中产生的新事件, 均通过 OPC UA 服务发布。OPC UA 及其事件模型在调度全域事件分析中的实际应用, 证明了 OPC UA 规范在电网数据管理、事件分析等领域的可用性, 提升了调度全域事件综合分析和响应系统的标准化程度、跨防火墙通信能力和安全性。

OPC UA 提供了从设备到信息系统的全范围的建模及通信架构, 本文的应用验证为在电网调控领域内进一步应用该标准打下了基础。

参考文献

- [1] 刘友波, 胡斌, 刘俊勇, 等. 电力系统连锁故障分析理论与应用(一)——相关理论方法与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9): 148-155.
LIU Youbo, HU Bin, LIU Junyong, et al. Power system cascading failure analysis theories and application I — related theories and applications[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(9): 148-155.
- [2] 蒋程, 刘文霞, 张建华, 等. 含风电接入的发电系统风险评估[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 253-259.
JIANG Cheng, LIU Wenxia, ZHANG Jianhua, et al. Risk assessment of generation and transmission systems considering wind power penetration[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 253-259.
- [3] 丁明, 过羿, 张晶晶, 等. 基于效用风险熵模糊综合评判的复杂电网节点脆弱性评估[J]. 电工技术学报, 2015, 30(3): 214-223.
DING Ming, GUO Yi, ZHANG Jingjing, et al. Node vulnerability assessment for complex power grids based on effect entropy-weighted fuzzy comprehensive evaluation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(3): 214-223.
- [4] 程云峰, 张欣然, 陆超. 广域测量技术在电力系统中的应用研究进展[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(4): 145-153.
CHENG Yunfeng, ZHANG Xinran, LU Chao. Research progress of the application of wide area measurement technology in power system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(4): 145-153.
- [5] 刘育权, 华煌圣, 李力, 等. 多层次的广域保护控制体系架构研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 112-122.
LIU Yuquan, HUA Huangsheng, LI Li, et al. Research and application of multi-level wide-area protection system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5):

- 112-122.
- [6] 陈春, 汪飒, 刘蓓, 等. 一种智能配电网安全运行控制方法[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 357-366.
CHEN Chun, WANG Feng, LIU Bei, et al. A method of safe operation control of smart distribution system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 357-366.
- [7] 蔡宇, 林今, 宋永华, 等. 基于模型预测控制的主动配电网电压控制[J]. 电工技术学报, 2015, 30(23): 42-49.
CAI Yu, LIN Jin, SONG Yonghua, et al. Voltage control strategy in active distribution network based on model predictive control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(23): 42-49.
- [8] 赵家庆, 季胜鹏, 钱科军, 等. 基于事件驱动机制的电网事件快速捕捉方案[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 103-108.
ZHAO Jiaqing, JI Shengpeng, QIAN Kejun, et al. Detection of power system events based on event-driven mechanism[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(23): 103-108.
- [9] 刘怀东, 马林, 王曦冉, 等. 基于概率不安全指标的实时故障筛选策略[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(16): 16-21.
IU Huaidong, MA Lin, WANG Xiran, et al. Strategic of real time contingency screening based on probability insecurity index[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(16): 16-21.
- [10] 李传栋, 张逸, 杨桂钟, 等. 基于故障影响域的多重理想故障集筛选方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 92-99.
LI Chuandong, ZHANG Yi, YANG Guizhong, et al. An anticipated multi-contingencies selection method based on fault influence domain[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 92-99.
- [11] 黄春红. 调度多源事件一体建模及智能分析响应系统[J]. 电气应用, 2014, 33(14): 77-82.
- [12] IEC 61970-301 energy management system application program interface (EMS-API), part 301: common information model (CIM) base[S]. Edition 5, IEC, 2013.
- [13] IEC 61968-11 system interfaces for distribution management, part 11: common information model (CIM) extensions for distribution[S]. IEC, 2010.
- [14] IEC 61970-405 energy management system application program interface (EMS-API): part 405 component interface specification (CIS): generic eventing and subscription[S]. IEC, 2007.
- [15] Object Management Group. Data acquisition from industrial systems specification[S]. Version 1.1. OMG, 2005.
- [16] DL/Z 890.401-2006 能量管理系统应用程序接口(EMS-API)第 401 部分, 组件接口规范(CIS)框架[S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [17] 曹阳, 姚建国, 杨胜春, 等. 智能电网核心标准最新进展[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 1-4.
CAO Yang, YAO Jianguo, YANG Shengchun, et al. Latest advancements of smart grid core standard IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 1-4.
- [18] IEC 62541-1 OPC unified architecture —— part 1: overview and concepts[S]. Edition 1.02. IEC, 2012.
- [19] IEC 62541-3 OPC unified architecture —— part 3: address space model[S]. Edition 1.0. IEC, 2010.
- [20] IEC 62541-4 OPC unified architecture —— part 4: services[S]. Edition 1.02. IEC, 2012.
- [21] IEC 62541-9 OPC unified architecture —— part 9: alarms & conditions[S]. Edition 1.02. IEC, 2012.
- [22] OPC Foundation. Prosys OPC UA Java SDK/Toolkit [EB/OL]. [2015-04]. <https://opcfoundation.org/products/view/72>.
- [23] IEC 62541-7 OPC unified architecture —— part 7: profiles[S]. Edition 1.0. IEC 2012-07.

收稿日期: 2015-10-29; 修回日期: 2015-12-31

作者简介:

黄春红(1970-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化与通信。E-mail: gkk001@163.com

(编辑 魏小丽)