

公共信息模型的 OPC UA 地址空间管理

谢善益¹, 杨强¹, 徐庆平²

(1. 广东电网有限责任公司电力科学研究院, 广东省广州市 510080; 2. 威海欣智信息科技有限公司, 山东省威海市 264209)

摘要: 国际电工委员会(IEC)能量管理系统接口(EMS-API), 是为了促进电力企业应用间的集成而制定的标准。针对 EMS-API 标准的组件接口规范(CIS)升级为采用过程控制对象链接与嵌入(OPC)统一架构(OPC UA)技术这一改变, 就如何使用 OPC UA 对电力公共信息模型(CIM)进行管理, 提出了 CIM 到 OPC UA 地址空间模型的映射规则、CIM 对应 UA 节点的标识、命名以及关联关系的处理方法; 基于 OPC 基金会开发的 UA Stack 库, 研究实现了 CIM 的 OPC UA 服务器, 并对研究结果进行了实际验证。

关键词: 能量管理系统接口; IEC TC57; 公共信息模型; 组件接口规范; 过程控制对象链接与嵌入; 统一架构; 地址空间模型

0 引言

近年来, 随着各种先进技术在电网中的广泛应用, 智能化已经成为电网发展的必然趋势, 发展智能电网在世界范围内已形成共识^[1-3]。在各国有关智能电网的架构研究及标准制订中, 由国际电工委员会(IEC)制定的能量管理系统接口(EMS-API)标准, 作为智能电网建设中构建标准语义模型、提升互操作性的标准, 每一次都被囊括其中^[4-7]。一体化电网运行智能系统(operation smart system, OS2)通过参考 EMS-API 应用集成框架, 遵循并增强公共信息模型(common information model, CIM)^[8-9], 建立融合组件接口规范(component interface specification, CIS)定义的通用数据访问接口的运行服务总线(operation service bus, OSB)实现^[10-11], 为主站各个中心及其能量管理系统(EMS)、广域测量系统(WAMS)、保护信息系统、电能计量系统等应用提供了统一、规范的集成通道, 促进了电力二次一体化的横向专业融合和纵向信息贯通目标的实现。

2011 年 3 月, IEC TC57 WG13 向 IEC 提交了废止 IEC 61970 402/403/404/405/407 标准所确定的旧版 CIS 的报告^[4], 并确定最新版的 CIS 服务直接采用过程控制对象链接与嵌入(object linking and embedding for process control, OPC)统一架构(OPC unified architecture, OPC UA)规范, 并将

OPC UA 作为 IEC 62541 标准由 IEC TC65E 制定出版^[4]。OPC UA 的优点在于为自动化应用定义了一致的、完整的地址空间、服务模型和安全模型。从而允许一个单一的 OPC UA 服务器将模型、实时、事件及历史等各类数据统一到它的地址空间里, 并以一套统一的、可靠安全的接口向外提供服务。OPC UA 的统一地址空间模型设计避免了传统 OPC 中模型、实时、事件及历史等各类数据分立描述、分立访问, 从而导致客户端数据集成困难的问题。然而, OPC UA 并非专门针对电力自动化应用制订, 而是一种通用的工业控制自动化应用间接口标准。OPC UA 规范所定义的地址空间(AddressSpace)模型, 与被明确采用为电力信息模型的 CIM 不同, 是 OPC UA 专有的信息模型描述方式。因此, 如何协调与集成电力 CIM 和 OPC UA 地址空间模型, 是在 OSB 中升级应用 OPC UA 所必须解决的问题。OPC UA 规范明确了一个 OPC UA 服务器会支持多种信息模型^[12], 并在附录 A 中提供了信息建模时用到的设计思路的总览^[13]。文献^[14]提出了需要将 CIM 映射到 UA 地址空间模型中, 但仅仅指出使用 CAS OPC UA Address Space Model Designer 工具可以完成部分工作, 却并未对如何映射给出明确的规则。在 IEC 基于 OPC UA 制定的 IEC 62541 系列标准中, 也未对在 OPC UA 服务器中如何对 IEC TC57 CIM 数据进行管理进行额外的定义。

本文针对 CIM 数据的 OPC UA 地址空间管理进行研究, 给出具体实现的解决方法。

收稿日期: 2015-06-23; 修回日期: 2015-10-26。

上网日期: 2016-06-01。

1 OPC UA 的信息建模

在新一代 CIS 规范 OPC UA 中,信息模型构建的规则和基础构件是 OPC UA 地址空间模型。UA 信息模型使用地址空间模型的概念来定义其自有的、领域特定的类型和约束,以及明确定义的实例。UA 建模的基本概念是节点以及节点之间的引用,OPC UA 地址空间以一组用引用形式连接起来的节点来描绘它的内容^[12-13]。

尽管 OPC UA 地址空间采用的是面向对象的表达方式,但并未采用标准的面向对象的统一建模语言(unified modeling language, UML)构造型;而是以<<TypeExtension>>版型扩展的方式为其地址空间模型构建了自己的一套 UML 构造型,包括:对象类型(ObjectType)、变量类型(VariableType)、数据类型(DataType)、引用类型(ReferenceType)、对象(Object)、变量(Variable)、方法(Method)、视图(View)。所有这些 UA 节点构造型均继承于同一个基本类型(BaseNode)。BaseNode 中定义了 ID 标识(NodeId)、浏览名字(BrowseName)、显示名字(DisplayName)以及节点类型(NodeClass)等 UA 节点的公共属性。在地址空间中,OPC UA 服务器一体化地管理了对象数据实例、信息模型及元模型。

OPC UA 规范提供的基础信息模型定义了一组标准节点^[13],包括:标准对象类型节点、标准变量类型节点、标准引用类型节点、标准数据类型节点、标准对象和变量节点。这些标准节点共同定义了一个空 OPC UA 服务器的地址空间,是所有 UA 地址空间支持的其他信息模型的构建基础。

2 IEC TC57 CIM

CIM 是一个抽象模型,它描述电力企业的主要对象,特别是那些与电力运行有关的对象^[9]。在电力行业,随着 IEC TC57 下的各个工作组负责的 IEC 61970、IEC 61968 等标准的实施,IEC TC57 CIM 得到了广泛的应用。

在早期,CIM 采用实体-关系模式来描绘。从 cim_u07a.mdl 发布开始,CIM 开始以面向对象方式表达,采用 UML 来描绘。CIM 使用了 UML 面向对象建模技术中标准的包、类、属性、关联、对象等模型构造,并使用 UML 类图对 CIM 中电力应用各种实体对应的 UML 类型间的关系进行方便的展示。为了方便管理和维护,整个 CIM 划分为若干个包。电力系统中的各种实体类型,例如变压器、发电机或负荷等,以 UML 类建模。CIM 只涉及问题域实体类,每个实体类仅其属性及与其他类的关系被描述。

在电力系统中具有唯一标识的一个具体对象则被建模成它所属类的一个实例。

3 CIM 的 OPC UA 地址空间管理

通常情况下,OPC UA 服务器会支持多种信息模型(见图 1),其中一些可能基于其他的信息模型。为了尽可能不给 UA 客户端造成困难,供应商应当尽量使用 UA 基础模型,对特殊信息的建模则通过模型扩展的方式提供。对于电力应用而言,电力系统特殊的信息模型,即 IEC TC57 CIM,已经由不同于 OPC 基金会的 IEC 组织所制定。因此,在电力系统应用 OPC UA,首先需要基于 UA 基础模型,将 CIM 数据(包括 CIM 模式数据及 CIM 对象数据)映射到 UA 地址空间中进行管理。



图 1 OPC UA 多信息模型支持
Fig.1 Multi-information model support of OPC UA

3.1 CIM 的 UA 地址空间映射

为在 OPC UA 服务器中支持 CIM 信息模型,可以采用在 UA 基础模型基础上,以建立 CIM 数据与 OPC UA 地址空间模型之间的标准映射的方式达成。这主要涉及如下两种信息模型描述方式间的映射:①CIM,主要包含包、类、属性、关联、对象等概念;②OPC UA 信息模型采用的地址空间模型,主要包含对象类型、变量类型、数据类型、引用类型、对象、变量、方法等概念。

尽管两种信息模型的描述采用了不同的 UML 构造型,但他们都采用面向对象的建模方式,在元模型层次其概念是一致的,特别是 OPC UA 地址空间模型支持的构造型要更加丰富,CIM 可以无损地映射到 OPC UA 地址空间模型。

CIM 到 OPC UA 地址空间模型的映射主要包括模型模式定义和对象实例两个层次,根据它们在面向对象建模方式中的语义,可以确定如附录 A 表 A1 所示映射规则。

在 CIM 模式定义层次,以 CIM 对象类型到 UA 对象类型节点的映射为例,由 IEC 61970 CIM 定义的间隔(Bay)类型映射为如附录 A 表 A2 所示的 UA 对象类型节点:①CIM 对象类型 Bay 映射为 UA 对象类型节点;②CIM 对象类型 Bay 的取值为

基本数据类型 Boolean、枚举类型 BreakerConfiguration 的属性 bayEnergyMeasFlag、breakerConfiguration 等分别映射为与 UA 对象类型节点 Bay 之间具有 HasProperty 引用关系的多个 PropertyType 类型节点;③ CIM Bay 类型的 MemberOf__Substation、MemberOf__VoltageLevel 关联关系则直接映射为 UA 引用类型节点。

在 CIM 对象实例层次,以 CIM Bay 对象类型“201 出线间隔”为对象实例,采用附录 A 表 A1 确定的映射规则如下:① CIM Bay 对象类型“201 出线间隔”对象实例映射为 UA 对象节点;②“201 出线间隔”对象实例的取值为基本数据类型 Boolean、枚举类型 BreakerConfiguration 的属性 bayEnergyMeasFlag、breakerConfiguration 等分别映射为与 UA 对象节点“201 出线间隔”之间具有 HasProperty 引用关系的多个 PropertyType 类型节点;③“201 出线间隔”对象实例的 MemberOf__Substation、MemberOf__VoltageLevel 关联关系则直接映射为 UA 引用类型节点。

3.2 CIM 数据 UA 节点的标识及命名

UA 节点的 NodeId 属性,用于在服务器中唯一标识一个 UA 节点;在 CIM 中,对应的概念是每个 CIM 数据实例的统一资源标识符(uniform resource identifier, URI)。因此, CIM 数据的 UA 节点的 NodeId 属性则可以直接采用 CIM 数据实例的 URI 标识。其中,NodeId 的命名空间序号部分由 URI 标识的容器部分确定,而其取值部分则取值为 URI 标识的片段部分。

每个 UA 节点都包含浏览名字(BrowseName)以及显示名字(DisplayName)两个名字:①浏览名字是节点的浏览名,是一个非本地化的人可读名称,综合其地址空间和文本取值,可以作为一个 UA 节点的唯一标识;②显示名字是节点的本地化名称,用于作为节点名称展示给用户,不要求唯一性。

对于 CIM 模式数据,其浏览名字可以采用其 URI 标识,而显示名字则直接采用其标签(rdf:Label)属性取值即可。

绝大部分 CIM 实体对象类型所继承的共同父类 IdentifiedObject 类提供了可用的对象命名属性:①name 属性,是任意的人类可读的、可能不唯一的用于命名对象的自由文本;②mRID 属性,是建模主管机构发放的主资源标识,在一个交换上下文中是全局唯一的。在使用 RDF 语法的 CIM 可扩展标记语言(XML)数据文件中,mRID 映射到 rdf:ID 或

rdf:about 属性来标识 CIM 对象元素。

对于 CIM 对象数据,IdentifiedObject 类的 name 属性是对应 UA 对象节点的显示名字(DisplayName)的一个良好选择;而 mRID 属性为 CIM 对象提供了一个直接和严格的标识,这个属性的取值可以作为 CIM 对象 UA 节点的 BrowseName 取值的一个选项。

3.3 CIM 关联关系的 UA 地址空间维护

在 CIM 模型中,两个 CIM 对象类型间的关联关系,包含两个被这两个类作为关联性质(CIM Role Property)引用的关联端点(UML AssociationEnd)。在映射到 UA 地址空间模型时,每个关联性质被映射到 UA 地址空间模型中的一个 UA 引用类型。在 CIM 中,这两个关联性质互为对方的反演角色(InverseRole);在 UA 地址空间中,映射而来的两个 UA 引用类型的名字互为对方的反演名字(InverseName)。CIM 中对于一个关联性质的取值必须是其值域类型或值域类型的子孙类型的约束,也被添加到所映射到的 UA 引用类型的目标节点的取值上。

与 CIM 描述基于的 UML 关联建模不同的一点是,UA 引用类型支持“继承”概念。这对于在一些 UA 服务(例如 Browse 服务)中,在指定对引用类型进行过滤时特别有用。在 UA 标准信息模型中,所有的 UA 引用类型总是 UA 标准引用类型 References 的两个子类型继承而来:①HierarchicalReferences,所有层次引用类型的基类;②NonHierarchicalReferences,非层次化引用类型的基类。所有的 CIM 关联关系,应当根据其语义,选定这两个类型或其更恰当的标准子类型。影响映射的一个重要参考是 CIM 中关联关系的属性“是否聚集(cims:isAggregate)”,如果其取值为“true”,则应考虑映射为 UA 抽象引用类型 Aggregates(属于 HierarchicalReferences 引用继承树)的一个具体子类型。例如, CIM 对象类型 Substation 与 Voltagelevel 之间的 Substation_Contains__VoltageLevels 关联关系,其“是否聚集”属性取值为“true”,因此映射为 Aggregates 引用类型的子类型。

另一方面,UA 规范要求不能在两个节点之间存在的关联关系同时包含一个引用类型及其父引用类型,为遵循这一约束,可约定 CIM 对象节点间的引用关系只能使用由 CIM 关联关系映射而来的 UA 引用类型,引用名字采用 CIM 关联性质的名

字。例如，前文描述的 Substation。Contains _VoltageLevels 关联关系应是映射到一个新的名字取值为 Contains_VoltageLevels 的引用类型，而不能直接采用某个标准的具体引用类型，如“HasComponent”。

作为一种特殊的关联关系——对象类型之间的继承关系，在 CIM 和 UA 地址空间模型中，其语义是一致的。因此，CIM 对象类型间的继承关系，直接映射到标准的 UA 引用类型 HasSubtype。例如，在 CIM 中 Substation 类型继承于 EquipmentContainer 类，则在 OPC UA 地址空间中它们映射到的 ObjectType 类型节点之间存在 HasSubtype 引用。

如 3.1 节所述，CIM 到 OPC UA 地址空间模型的映射主要包括模型模式定义和对象实例两个层次；模型模式定义和对象实例之间的关联关系，从面向对象的角度，主要由对象实例和对象类型之间的“IS A”关联关系描述，在 OPC UA 地址空间中，这个“IS A”关联关系被明确建模为“HasTypeDefinition”引用，例如，Substation 类型对象“佛山站”与 Substation 对象类型之间是“IS A”关系，则在 OPC UA 地址空间中它们分别映射到的 Object 类型节点和 ObjectType 类型节点间则存在一条“HasTypeDefinition”引用。

3.4 CIM 对象实例的 UA 标准入口

为了提升客户机和服务器的互操作性，OPC UA 地址空间被组织为一个层次结构，并且对于所有服务器而言，其最高级别都是标准化的。

图 2 展示了这个最高级别的标准化结构^[12]，其中所有对象通过使用 Organizes 引用来组织，并且将 FolderType 对象类型作为类型定义。

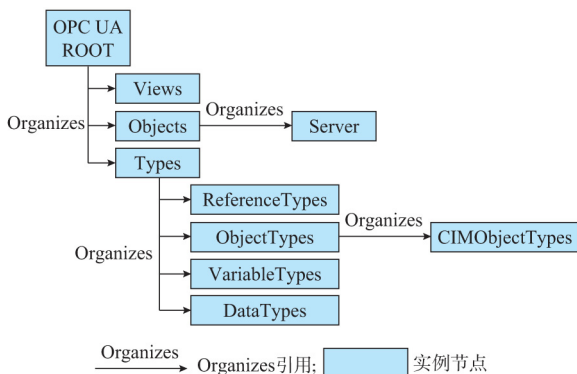


图 2 标准地址空间结构
Fig.2 Standard address space structure

所有由 CIM 映射而来的 UA 节点均遵循这一

标准化结构，每个映射结果会根据其节点类别被自动归属到相应的目录(UA FolderType)对象下，例如 Objects, ObjectTypes 等。

如果需要明确地与 UA 标准信息模型或可能包含的其他信息模型区分，则可以在每种 UA 节点类别对应的目录节点下添加一个以“CIM”为前缀的子目录节点，以容纳相应的 CIM 映射结果。例如，在 Types 下的 ObjectTypes 节点下添加一个名字为“CIMObjectTypes”的目录节点作为所有 CIM 中对象类型映射结果的根层次节点。在此节点之下，每个 CIM 包都会根据前文所述的 CIM 数据到 UA 地址空间的映射规则映射为相应的 UA 目录节点，且上下层次间统一用 Organizes 引用组织起来。

4 CIM 的 OPC UA 服务器实现

4.1 实现方案

在 Java 平台下，使用 Eclipse 作为开发工具，所实现的 CIM 数据 OPC UA 服务器系统方案如图 3 所示。这个服务器系统采用标准的 OPC UA 分层应用程序架构，将符合 IEC TC57 CIM 信息模型规范的电网模型数据，映射转换到同一 OPC UA 地址空间。此服务器系统对与模型节点相关的实时、事件、历史数据进行统一管理，并以 OPC UA 服务对外发布，向系统内部或外部的电力系统应用提供标准的 OPC UA 服务支持。

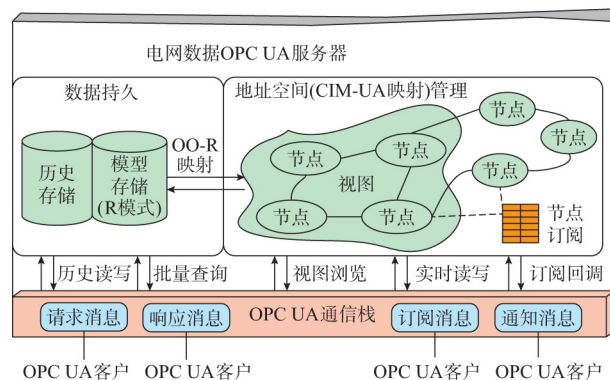


图 3 CIM 数据 OPC UA 服务器
Fig.3 OPC UA server for CIM data

图 3 中的 OPC UA 客户端、服务器端交互使用的 OPC UA 通信栈(UA Stack)层，是由 OPC 基金会统一开发提供的标准实现，目前提供了基于 ANSI-C, C# 和 Java 三种编程语言的 UA Stack 实现。使用此标准实现的 UA Stack，可以确保不同厂商 UA 应用之间的互操作性。

4.2 模型持久化和 UA 查询服务实现

如图 3 所示,在 CIM 数据 OPC UA 服务器系统中,实际并存着三种模型描述,分别是:①CIM 描述,定义了电力系统对象域模型,使用 UML 描述的面向对象模型;②UA 地址空间模型描述,由 UA 服务器运行时采用,使用 UML(扩展版型)描述的面向对象模型;③持久化关系模型描述,电力系统对象的持久化方案,使用关系模式描述的关系模型。其中,作为对现实世界电力系统对象的直接抽象,电网对象域模型的 CIM 是核心,是基础,另外两种数据描述方式,都由 CIM 映射而来。CIM 到 UA 地址空间模型的映射为本文所阐述的主要内容;而持久化关系模型采用标准的关系模式描述方式,是由 CIM 模式按照成熟的面向对象模型到关系模型映射(O-R)映射规则映射而来,其最终形式根据所映射到的目标关系数据库管理系统而不同。

O-R 映射规则的基本做法是将对象类型映射为实体表格,属性映射为表格列;对象间关系映射为关联表格。其关键之处在于对继承关系的处理,即子类所从父类继承的属性取值是放置在父类映射到的实体表格中,还是子类映射到的实体表格。考虑到获取一个对象的所有属性取值是一个更加常用的操作,CIM 数据 OPC UA 服务器系统采用了继承属性对应的数据列放置在子类映射到的实体表格中的做法。这样做的好处是在访问一个对象的所有属性取值时无需访问多个表格。

基于 O-R 映射规则,由 CIM 映射得到的持久化关系模型是 UA 查询服务(Query Services)实现的基础。在最简单情形下,一个查询一类 CIM 对象的多个属性取值的 UA 查询被转换为对所访问 CIM 对象类型映射到的一个实体表格的访问;而一个复杂 UA 查询服务则会根据传入参数被分解为对一到多个对象实体表格和关联表格的过滤访问。

4.3 UA 订阅与回调服务的实现

在旧版 CIS 中,数据变化及事件的回调通知采用直接调用客户端实现的回调接口这样的双向通信机制。这种设计的问题在于:一是难于穿越防火墙,二是增加了客户端实现的难度。在 OPC UA 中,为了避免旧版 CIS 的问题,其客户端获取数据变化及事件的回调通知采用轮询机制,即客户端在定义监视项以订阅数据和事件后,需要通过发布(Publish)服务获取新的数据变化及事件告警信息。

为了避免类似客户端不再使用订阅仍会发送通知等意外情况的发生,OPC UA 制定了完备的订阅

发布模型,对订阅的生命周期维护、消息丢失的检测和重发、消息队列大小等方面给出了明确的处理规则^[15-16]。在 CIM 数据 OPC UA 服务器系统中,通过为客户端的订阅建立订阅项监控队列、数据变化及事件通知消息队列完整实现了 OPC UA 的订阅发布模型。举例而言,为处理监视项的采样速率可能比订阅的发布速率更快的情形,所实现的通知消息队列,支持被配置为或者排队缓冲所有通知、或者仅排队缓冲该定义要传输的最近通知;同时,在通知消息队列中,通过为每个消息都分配一个允许客户端检测丢失消息的序号,支持客户端通过这个序号确定是否丢失了一条消息。

4.4 在输变电设备远程诊断信息平台中的应用

输变电设备远程诊断信息平台,已基于以 IEC TC57 CIM 为基础定制的输变电设备状态监测统一信息模型(unified condition monitoring model, UCMM),完成 1 550 座变电站和 3 767 条线路的 UCMM 建模,其中主变为 3 189 台、断路器为 11 438 台、杆塔为 164 140 基,所有信息已汇聚融合并提供 CIS 发布^[17]。

平台建设初始采用的是旧版的 CIS 规范。为适应 OSB 规范中 CIS 技术的更新换代,输变电设备远程诊断信息平台通过实施 CIM 的 OPC UA 地址空间管理方案,实现了 OSB 中通用数据访问服务从旧版 CIS 到新版 CIS,即 OPC UA 服务的升级。

经过平台升级后的运行验证,新的 OPC UA 电网运行数据发布方式完全覆盖了旧版 CIS 服务的功能,通过将基于 UCMM 整合的输变电设备状态监测的模型,实时、历史以及告警事件等数据转换至 OPC UA 地址空间进行管理,并以统一的 OPC UA 接口对外发布,解决了旧版 CIS 服务数据分立描述、分立访问而导致的客户端数据集成困难的问题,达到了预期的效果。

4.5 性能指标分析

OPC UA 技术必须满足的需求之一就是维持甚至提高传统 OPC 的性能,此处的性能并不仅仅指更高的通信速度,也包括应用需要更少的资源和存储空间。

OPC UA 提供了 UA TCP 和简单对象访问协议/超文本传送协议(SOAP/HTTP)两种传输协议以及 UA XML 和更关注应用性能需要的 UA 二进制两种编码规范,并支持通信协议和编码规范间的所有组合,保证了通信的高效性及跨越防火墙的数据传输能力。需要注意的是,OPC UA 为实现其安

全模型而在传输层之上构建的安全通道层所采用的安全级别对通信性能有很大的影响。

通过分别对采用旧版 CIS 及新版 CIS, 即 OPC UA 服务的两版电网运行数据发布方式数据效率的测定, 可以确定: ①在采用非安全远程通信配置下, 基于 UA TCP 传输协议和二进制编码格式时, OPC UA 相对于旧版 CIS 的通信性能的提升介于读取小块数据的 1.1 倍到读取 10 000 个变量的 1.5 倍之间; ②在 OPC UA 采用了旧版 CIS 所没有的高级安全措施时, OPC UA 通信仍然和旧版 CIS 性能相当; ③在采用 SOAP/HTTP 传输协议时, 采用二进制编码格式和 XML 数据编码格式之间的通信开销差异很大: 采用二进制编码格式时, 能够达到稍小于 UA TCP 通信协议的效率; 而采用 XML 编码格式时, 传输小消息速度要慢 1.5 倍, 而传输大消息可能慢 20 倍。这一比较表明, 即使在因为需要使用互联网协议穿越防火墙通信时, 通过采用 UA 二进制编码, 仍然能够保证通信的高效性, 这是传统 CIS 技术无法做到的。

与包括旧版 CIS 在内的所有标准接口技术一样, OPC UA 产品实现的性能更依赖于应用程序的效率和系统访问数据的内部性能, 而不是 OPC UA 通信本身。从 OPC UA 地址空间模型实现的角度, 在一般小型的示例服务器中, 不同的 UA 节点模型直接映射到内存中相应的数据结构, 其特点是每个 UA 节点内存结构包含其所属 UA 节点类型所能拥有的所有 UA 属性的描述, 节点间的引用关系也实现为内存结构间的引用关系, 但对与大规模数据而言, 这种实现并不恰当。因为在实际中, 并非每个 UA 节点都关心并提供其 UA 节点类型所有的 UA 属性, 直接的内存映射会浪费大量的内存空间。从 CIM 映射的角度, 更恰当的方式仍然是面向对象的对象-属性-取值描述方式, 而这对于旧版 CIS 或者新版的 OPC UA 是一致的。在输变电设备远程诊断信息平台接口技术从旧版 CIS 到 OPC UA 升级时, 其内部的内存资源管理实现并未有大的改变, 也因此并无明显的区别。

从另一方面来说, 尽管目前主内存的单位价格愈来愈低, 但是总是谋求将所有的数据都加载到内存中也是不合适的。通常采用基于访问热点的部分数据缓冲到内存的方式来兼顾数据接口访问效率和系统整体的数据容量。在输变电设备远程诊断信息平台中, 即采用了这种兼顾访问效率和存储效率的方案。

5 结语

本文提出了一种 IEC TC57 CIM 的 OPC UA 地址空间管理办法, 实现了更为便捷、安全的电力系统数据的管理及交换, 使 OPC UA 这种通用的工业控制自动化应用间接口标准更加适用于电力系统自动化应用。

基于 OPC 基金会统一提供的 UA Stack 实现的 CIM 的 OPC UA 服务器, 已成功应用于输变电设备远程诊断信息平台, 实现了电力系统数据的高效共享, 为第三方应用提供了一个具有统一地址空间、服务模型和安全模型, 易用以及不低于旧版 CIS 服务通信性能的数据交换接口。

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

参考文献

- [1] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.
- [2] 王益民. 坚强智能电网技术标准体系研究框架[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(22): 1-6.
WANG Yimin. Research framework of technical standard system of strong & smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(22): 1-6.
- [3] 余贻鑫, 刘艳丽. 智能电网的挑战性问题[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(2): 1-5. DOI: 10.7500/AEPS20141204007.
YU Yixin, LIU Yanli. Challenging issues of smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2): 1-5. DOI: 10.7500/AEPS20141204007.
- [4] 曹阳, 姚建国, 杨胜春, 等. 智能电网核心标准 IEC 61970 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.
- [5] 辛耀中, 石俊杰, 周京阳, 等. 智能电网调度控制系统现状与技术展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 2-8. DOI: 10.7500/AEPS20141008024.
XIN Yaoshong, SHI Junjie, ZHOU Jingyang, et al. Technology development trends of smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 2-8. DOI: 10.7500/AEPS20141008024.
- [6] 刘涛, 米为民, 陈郑平, 等. 适用于大运行体系的电网模型一体化共享方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 36-41. DOI: 10.7500/AEPS20140930008.
LIU Tao, MI Weimin, CHEN Zhengping, et al. Integrated sharing scheme for grid model and graphics applicable to grand operation system[J]. Automation of Electric Power Systems,

- 2015, 39(1): 36-41. DOI: 10.7500/AEPS20140930008.
- [7] 姚建国,杨胜春,单茂华.面向未来互联电网的调度技术支持系统架构思考[J].电力系统自动化,2013,37(21):52-59.
YAO Jianguo, YANG Shengchun, SHAN Maohua. Reflections on operation supporting system architecture for future interconnected power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(21): 52-59.
- [8] 能量管理系统应用程序接口(EMS-API):第1部分 导则和一般要求:DL/T 890.1—2007[S].北京:中国电力出版社,2008.
- [9] 能量管理系统应用程序接口(EMS-API):第301部分 公共信息模型(CIM)基础:DL/T 890.301—2004[S].北京:中国电力出版社,2005.
- [10] 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:DL/T 890.401—2006[S].北京:中国电力出版社,2007.
- [11] 汪际峰.一体化电网运行智能系统的概念及特征[J].电力系统自动化,2011,35(24):1-6.
WANG Jifeng. Concept and features of integrated grid operation smart system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(24): 1-6.
- [12] OPC unified architecture: Part 3 address space model: IEC 62541-3[S]. 2015.
- [13] OPC unified architecture: Part 5 information model: IEC 62541-5[S]. 2015.
- [14] ROHJANS S, USLAR M, APPELRATHH J. OPC UA and CIM: semantics for the smart grid[C]// 2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D 2010), April 19-22, 2010, New Orleans, LA, USA: 8p.
- [15] OPC unified architecture: Part 4 services: IEC 62541-1[S]. 2011.
- [16] OPC unified architecture: Part 1 overview and concepts: IEC 62541-1[S]. 2012.
- [17] 谢善益,杨强,梁成辉,等.输变电设备远程诊断信息平台中的统一状态监测模型研究[J].电力系统保护与控制,2014,42(11):86-91.
XIE Shanyi, YANG Qiang, LIANG Chenghui, et al. Research of unified condition monitoring information model in data platform of power transmission equipment remote monitoring and diagnosis[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 86-91.

谢善益(1971—),男,硕士,教授级高级工程师,主要研究方向:电网自动化系统。E-mail: kways@126.com

杨强(1986—),男,通信作者,硕士,工程师,主要研究方向:电力设备状态监测主站系统。E-mail: yangqiang0101@163.com

徐庆平(1979—),男,工程师,主要研究方向:分布式软件构建,基于 IEC 61970/61968 公共信息模型/组件接口规范、对象链接和嵌入统一架构等的电力自动化系统开发。E-mail: xuqingping@cimstech.com

(编辑 王志鸿)

Address Space Management of OPC UA for Common Information Model

XIE Shanyi¹, YANG Qiang¹, XU Qingping²

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co. Ltd., Guangzhou 510080, China;

2. Weihai CIMSTech Co. Ltd., Weihai 264209, China)

Abstract: The international electrical commission (IEC) energy management system application program interface (EMS-API) is a standard to encourage the integration between power enterprise applications. Since the component interface specification (CIS) of EMS-API standard has been upgraded to object linking and embedding for process control (OPC) unified architecture (UA) technology, this paper studies the problem to manage the common information model (CIM) data by using the OPC UA address space model. The mapping rules from the CIM data to the OPC UA address space model, the rules of mapping the identifier and name of the UA node to CIM instances, and the process method of relationship in CIM data, are proposed. Subsequently, based on the UA Stack library developed by the OPC foundation, the CIM data OPC UA server is realized and verified in practice.

Key words: energy management system application program interface (EMS-API); IEC TC57; common information model (CIM); component interface specification (CIS); object linking and embedding for process control (OPC); unified architecture (UA); address space model