

一种基于知识本体和 SCL 的数字变电站语义交换模型

A Substation Knowledge Semantic Exchange Model Based on Knowledge Ontology and SCL

杜科 DU Ke; 黄凤 HUANG Feng; 郭经红 GUO Jing-hong;
林为民 LIN Wei-min; 李炳林 LI Bing-lin

(中国电力科学研究院信息与通信研究所 南京 210003)

(Research Department of Information and Communication ,China Electric Power Research Institute ,Nanjing 210003 ,China)

摘要: IEC 61850 采用面向对象建模技术对变电站业务功能进行建模, 并通过变电站配置语言 (Substation Configuration description Language SCL) 定义变电站配置描述对象模型。基于 XML Schema 的 SCL 无法实现对变电站自动化系统中所包含的知识语义进行有效的描述和传输交换。基于本体技术对变电站相关知识语义进行建模, 分析变电站在知识语义方面的关联和约束关系, 通过扩展 SCL 实现变电站知识的形式化描述能力, 补充完善 IEC 61850 在知识语义描述方面的不足。

Abstract: IEC 61850 adopts object-oriented modeling techniques to model business functions of the substation, and defines substation configuration description object model by Substation Configuration description Language (SCL). SCL which is based on XML Schema cannot description the knowledge semantic and achieve substation knowledge exchanging of substation automation system. Knowledge semantic of substation was analyzed and substation knowledge was modeled based on ontology technology in this article, including the relationships and constrains of substation knowledge semantic. By extending the label definition of SCL we build the semantic information model and improve the description ability of IEC 61850.

关键词: IEC 61850 ;SCL ;XML Schema ;知识本体 ;知识语义 ;形式化描述

Key words: IEC 61850 ;SCL ;XML Schema ;Knowledge Ontology ;Knowledge Semantic ;Formal Description

中图分类号: TM63

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2012)29-0084-03

0 引言

IEC 61850 是国际电工委员会颁布的变电站自动化网络通信系列标准, 与我国 DL/T 860 变电站通信网络和系统国家标准相对应^{[1][2]}。IEC 61850 采用面向对象技术, 通过逻辑节点 (Logical Node LN)、逻辑设备 (Logical Device LD) 等概念建立起变电站自动化系统信息模型, 并由基于 XML 格式和 XML Schema 构成的变电站配置语言 SCL 来完成模型的形式化描述工作。SCL 的提出使系统设备的自描述、在线配置及即插即用功能得以方便地实现。在 SCL 配置文件中, 按照统一的方法对设备配置进行描述, 可以保证设备之间互相识别, 实现设备之间信息的无缝交换和操作^[3]。

本文通过分析 XML Schema 的基本构成和特点, 总结基于 XML Schema 的 SCL 基本构件的关联关系, 基于本体技术对变电站相关知识语义进行建模, 并通过扩展 SCL 实现变电站运行规范等知识语义的形式化描述能力。举例说明扩展 SCL 知识语义描述能力的形式化描述方法, 指出 XML Schema 在 SCL 语义表达方面的缺陷, 提出基于本体建模技术的变电站自动化通信网络知识语义交换模型的整体框架结构。

1 基于 XML Schema 的 SCL 应用模式分析

1.1 XML Schema 组成和特点 XML Schema 规范由 W3C 委员会于 2001 年颁布, 主要用来描述 XML 文档的合法结构、内容和限制, 同时定义可共享的领域词汇表和 XML 文档的结构并提供它们之间的联系手段。与 XML

DTD(Document Type Definition)相比, XML Schema 增加了丰富的数据类型说明, 内置多种数据类型, 并通过 value space、lexical space 和 facet 三部分组成的三元组表达更复杂的数据语义, 同时还支持用户自定义类型, 引入的名称空间增强了 XML 的语义描述和扩展能力。

1.1.1 XML Schema 组成 XML Schema 由类型定义和元素声明组件构成, 主要用来评价 XML 文档格式的良好性和属性信息的有效性。用于定义类型和声明元素的结构组件分为 3 类, 组件规定了抽象数据的语义, 如表 1 所示。XML Schema 标准中还规范了数据类型定义的方法。内置几十种简单数据类型和多种引用数据类型, 用于各种数据形式化语义描述的需要^[4]。

表 1 XML Schema 组件

结构组件	包含内容
基本组件	简单类型定义 (simpleType) 复杂类型定义 (complexType) 属性声明 (attribute) 元素声明 (element)
次要组件	属性组定义 (attribute group) 同一性定义 (identity constraint) 模型组 (model group) 符号声明 (notation)
帮助组件	注释 (annotation) 模型组 (model groups) 小品词 (particles) 通配符 (wildcards) 属性使用 (attribute uses)

1.1.2 XML Schema 特点 XML 应用的发展趋势表明 XML DTD 由于定义过于简单将逐渐被淘汰, 而 XML Schema 将取而代之。总结目前 XML Schema 的应用可以发现其具有

表 2 XML Schema 特点

优点	缺点
单个 XML 文件可对应多个 Schema 模型开放, 可任意扩充 数据类型丰富, 且可自定义 可基于 DOM 等 API 解析	不具备知识语义的形式化描述能力

作者简介: 杜科 (1977-) 男, 北京人, 工学博士, 工程师, 主要从事电力系统信息化的研究工作。

如表 2 所示的特点。

XML 文档可以通过 XML Schema 来定义一个特定领域的特殊 XML 标记,用以创建在该领域内信息共享与交换的基础。虽然 XML Schema 可以用来确定 XML 文档的结构,但仍仅能描述了语法特征,不能用来确定元素的具体含义以及元素之间的知识语义关联。XML Schema 是用一种层次的方式组织元素,不过这种层次并不包含知识语义,而仅仅是提供了一种语法来复用一些简单的结构以构造更复杂的结构,这样将一个电力系统领域知识内容编码到 XML Schema 时存在多种可能的方式。因此只通过 XML Schema 描述的 SCL 数据仍然缺乏知识语义形式化能力。语义 Web 的研究表明,本体建模技术是增强 XML 在知识语义方面表达能力的有效方法。

1.2 SCL 应用模式分析 鉴于 XML Schema 的上述结构和特点,在正式颁布的 IEC 61850 中完全采用 XML Schema 和一些特别的强化语义表达的方法。XML 新版标准中引入了名称空间、分解了不同模式模块,增加了正确理解和掌握 xsd 文件的难度。V1.4 版本的 SCL 定义文件(.xsd)由 11 个子模块文件组成,如表 3 所示。

表 3 SCL Schema V1.4 文件列表

文件名(.xsd)	说明
SCL	主要的 SCL schema 语法定义,定义每个 SCL 文件根元素
SCL_BaseSimpleType	其他部分中用到的基本简单类型定义
SCL_BaseTypes	其他部分中用到的基本复杂类型定义
SCL_Communication	通信相关语法定义
SCL_Coordinates	坐标相关语法定义
SCL_DataTypeTemplates	数据类型模板相关语法定义
SCL_Enums	XML Schema 枚举类型定义
SCL_IED	IED 相关语法定义
SCL_Maintenance	维护相关语法定义
SCL_Substation	变电站相关语法定义
SCL_variants	变化的 SCL 语法定义

子模块文件间的关联关系由“包含”(Include)元素确定,基础内容由 SCL_Maintenance、SCL_BaseSimpleTypes 和 SCL_Coordinates 三个子模块文件定义,其他子模块文件的逐级关联关系如图 1 所示。

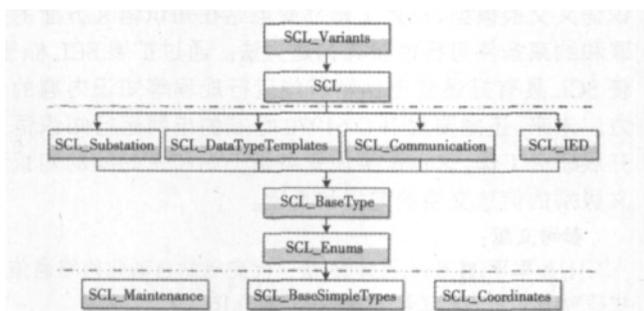


图 1 SCL Schema V1.4 文件关联关系

SCL 配置文件主要包含 Substation、DataTypeTemplates、Communication 和 IED 四个文件。Substation 描述变电站的功能结构、它的主元件及其电气连接,IED 描述所有 IED 的信息,如接入点、逻辑装置、逻辑节点、数据对象和所具备的通信服务能力,Communication 定义逻辑节点之间通过逻辑总线 and IED 接入点之间的联系,DataTypeTemplates 详

细定义了文件中出现的逻辑节点实例类型以及逻辑节点所包含的数据对象与数据属性等。

2 变电站知识语义分析及本体建模技术

2.1 知识语义分析 人类知识可以概括分类成描述、规范、实践性和形式四大领域,描述知识是描述现象或事件的知识,用以追求及建立现象或事件的事实;规范知识是判断现象或事件适切性、好坏、美丑的知识,用以追求现象或事件的价值与信念;实践知识是对现象或事件采取合宜行动、实践的知识,用以追求有效的应用行动;形式知识是描述所有知识的知识。

集成在变电站自动化和专家系统中的知识主要为实践知识,包括变电站相关的各种规程,例如运行规程、两票(工作票、操作票)规程等。虽然各变电站设计结构上的有所不同,但其自动化系统当中所包含的运行知识内容大体上相同,只在细节部分有所不同。因此,文章以济南供电公司的变电站运行规程的通用部分为例对变电站知识语义进行分析。例如,针对电力变压器的正常运行,规范中规定如下所示的知识内容:

①变压器的运行电压一般不应高于该运行分头额定电压的 105%;②主变各侧电流表应满足监视主变过负荷的需要,并在满负荷作红线标志;③变压器的三相负载不平衡时,应监视最大一相的电流;④油浸风冷变压器和干式风冷变压器,风扇停止工作时,允许的负载和运行时间,应按制造厂规定;⑤油浸风冷式变压器当冷却系统故障停风扇后,顶层油温不超过 65℃时,允许带额定负荷运行;⑥强油循环风冷变压器运行时,必须投入冷却器。空载和轻载时不应投入过多冷却器(空载状态下允许短时不投)。各种负载下投入冷却器的相应台数,应按制造厂的规定。按温度和负载投切冷却器的自动装置应保持正常。……

针对基于自然语言所描述的变电站知识难以被计算机识别、处理和分析的问题,首先要通过对变电站运行知识进行有效地整理分类,总结领域内固有的名词定义、关联关系、属性、运行条件和经验性的结论内容。在总结提取领域知识基础上,基于知识的形式化描述语言,可以有效地实现自然语言描述下的不同形式、同一语义的知识向同一形式、同一语义、计算机可识别和分析的内容转换。以变电站运行规范的“电力变压器”设备对象实例,总结抽取规范内容为设备、子设备、属性、条件、约束等几部分,如表 4 所示。

变电站知识语义的形式化描述方法应能够正确、有效、充分的表示知识,能够方便的通过计算机来进行推理和修改,形式简明,有利于对变电站知识的理解和改进。结合变电站领域专家系统的实际情况,文章选择最适合的产生式表示方法来描述变电站运行知识。产生式表示方法的基本形式是:If Condition(条件),Then Conclusion(结论)。另外,基于产生式表示方法的知识还可采用符号表示为:

$$P_1, P_2, \dots, P_n \Rightarrow C_1, C_2, \dots, C_n$$

其中符号 P 代表推理的前提条件,可以是单一前提或者多个,C 表示推理的结论,可以是单一结论或者多个,双箭头表示推理的方向和过程。

2.2 本体建模技术 在知识工程领域中,本体是指对

表 4 “变压器正常运行”规范知识抽取结果

设备	子设备	属性	条件	约束
变 压 器	运行分头 电流表 油浸风冷 干式风冷 风扇 强油循环 风冷 冷却器 自动装置	额定电压 运行电压 A相负荷 B相负荷 C相负荷 强油循环风冷运行 运行时间 顶层油温 温度	正常	电压≤额定电压*105%
			过负荷	电流表量程满足要求
			满负荷	红线标志
			负荷不平衡	监视最大一相的电流
			风扇停止工作	负载≤制造厂规定值 运行时间≤制造厂规定值
			冷却系统故障停风扇	负载≤额定负荷
			顶层油温<=65℃	
			强油循环风冷运行	投入冷却器
			强油循环风冷运行	投入冷却器数量 <过多
			强油循环风冷运行空 载、轻载	不投入冷却器时间≤短 载
各种负载	投入冷却器数量=制造 厂规定值			
按温度和负载投切冷 却器	自动装置状态=正常			

领域知识的共享概念模型和明确的形式化规范说明,它提供了领域中基本术语(知识原子)与关系,并利用这些术语和关系构成知识的外延规则和复杂定义^[9]。知识本体的形式化定义可以用以下四元组表示:Ontology::=<Meta-data, Knowledge Atom, Relationship, Rule>,其中 Meta-data 表示本体的元数据(如:变压器、风扇等);Knowledge Atom 表示知识原子,即领域知识的最小表示单位(如:额定电压、负荷等);Relationship 表示知识原子之间以及不同层次的知识实体间存在的交互作用和影响的集合(如:考虑运行温度与负载投切冷却器);Rule 表示表示利用领域中的知识原子或知识实体之间的关系组合生成的一些规则与操作集(如:负荷不平衡时,监视最大一相的电流)。

在 IEC 61850 标准信息模型基础上引入本体技术, SCL 作为模型的元数据层,变电站知识本体作为其语义层,基于本体的逻辑推理能力构建逻辑层,可以实现变电站知识语义的交互。因为知识语义主要涉及变电站领域的定义、属性、条件、约束等几方面,因此采用本体技术是实现基于 SCL 进行知识语义交换的关键。

2.3 变电站知识语义描述 下面以 IEC 61850 标准 part6 附录中的实例来说明基于 SCL 的变电站知识语义描述形式。变电站结构如图 2 所示,该变电站有两个电压等级 D1-220kV、E1-132kV,5 个间隔分别用虚线框标出。

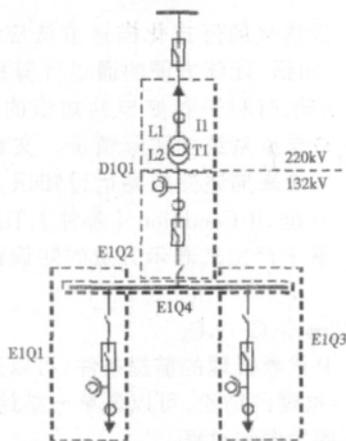


图 2 变电站结构图

下面的 SCL 文件前半部分是对间隔 D1Q1 中变压器 T1 的高、低压侧线圈 W1 和 W2 的描述(截取部分),SCL 语言本身具有 XML 格式的层次特点,能够清晰地描述变电站的功能结构和电气连接关系。

```

<SCL>
<Substation name="example">
<PowerTransformer name="T1" type="PTR">
<LNode lnInst="1" lnClass="PDIF" ldInst="F1" />
<LNode lnInst="1" lnClass="TCTR" ldInst="C1" />
<TransformerWinding name="W1" type="PTW">
<Terminal connectivityNode = "example/D1/Q1/L1"
substationName = "example" voltageLevelName = "D1"
bayName="Q1" cNodeName="L1"/>
...
<Rule Id="R1">
<If><Statement Attribute="STATE" Relation="EQUAL"
value="NORMAL"/></If>
<Then><Statement Object="Tap" Attribute="Voltage"
Relation="LessThan" Value="1.05"/></Then>
</Rule>
<Rule Id="R2">
<If ><Statement Object = "Fun" Attribute = "STATE"
Relation="EQUAL" value="STOP"/>
<Statement Attribute = "TopOilTmp" Relation = "
LessThan" Value="65℃"/></If>
<Then ><Statement Attribute = "STATE" Relation = "
EQUAL" Value="Normal"/></Then>
</Rule>
</PowerTransformer>
</Substation>
</SCL>
    
```

3 结论

文章以济南供电公司的变电站内运行规程的通用部分为例,分析了变电站领域的知识语义特性。结合本体建模技术的四元组解析和产生式表示方法,提出了变电站知识语义交换模型,论述了建立变电站在知识语义方面的关联和约束条件可行性及其构建方法。通过扩展 SCL 标签,使 SCL 具有描述变电站领域的运行规程等知识内容的能力。未来,还需要对 IEC 61970 标准的电网运行知识语义开展研究工作,这也是实现变电站子站和主站间的知识语义级别的信息交换的前提和基础。

参考文献:

[1]孙军平,盛万兴,王孙安.新一代变电站自动化网络通信系统研究[J].中国电机工程学报,2003,23(3):16-19.
 [2]张结.IEC 61850 目标内涵分析[J].电网技术,2004,28(23):76-80.
 [3]IEC 61850 Part 6:Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S].2004.
 [4]樊陈,陈小川.XML Schema 在变电站 IED 配置中应用.电力自动化设备,2007,27(03).
 [5]Patel -Schreider R, Hayes P, Horrocks I. OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax [S/OL]. 2004.