

IEC 61850 模型信息的规则表达与校验研究

梅德冬, 樊瑞, 周斌

(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: IEC 61850 信息模型一致性校验的核心问题是如何对模型信息的规则进行表达。通过对 SCL Schema 的分析后发现, Schema 表达了 SCL 语言要素的基本语法结构, 受限于 Schema 语言的特点, 对不同语法层次上的信息间的约束表达较弱, 无法用其来完整地表达 IEC 61850 模型规则。通过引入 Schematron 语言, 分析其对 SCL 信息规则表达的规律, 实现了 IEC 61850 模型信息的复杂约束条件的表达, 提出将 SCL Schema 表达与 Schematron 语言的表达结合起来, 对 IEC 61850 信息模型的规则完整表达。最后分析了实现 IEC 61850 模型一致性校验的两种方法, 得出基于复合模式语言校验的方法更为简单实用的结论。

关键词: IEC 61850; 一致性校验; 信息规则; SCL Schema; Schematron; 模式校验

Research on regular expressions and check of IEC 61850 model information

MEI Dedong, FAN Rui, ZHOU Bin

(Nari Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: The core problem of IEC61850 information model conformance checking is how to express the information rules. Through the analysis of the SCL Schema, it is discovered that Schema only expressed the basic syntax of the SCL elements, constrained by the characteristics of Schema language, it has the weak expression of the information constraints between different syntax levels, and then can not be used to describe the whole rules of IEC61850 model. Through the introduction of Schematron language, and then with the analysis of expression's regulations on SCL information rules, the IEC61850 modeling information's complicated constrains are expressed. Expressions of SCL Schema together with Schematron are presented to wholly describe modeling rules of the IEC61850. Finally, based on the analysis of two methods of IEC61850 model's conformance checking, it is concluded that the validating by composite pattern languages is a more simple and practical method.

Key words: IEC 61850; consistency check; information rules; SCL Schema rules; Schematron; model validating

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)03-0131-06

0 引言

IEC 61850 标准作为变电站通信体系中完整解决方案, 在国内新建变电站中获得了广泛的应用, 以 IEC 61850 技术为基础的智能变电站, 成为智能电网建设的重要环节。在智能变电站的推广实施中发现, 目前遇到的较普遍的问题是设备信息模型不规范, 从而影响了设备间的互操作及集成调试^[1-2]。

变电站的信息模型主要由 ICD、CID、SCD 等 SCL 文件构成, 在 IEC 61850-6 中定义了 SCL 文件的语法^[3], SCL(Substation Configuration Language) 语言是建立在 XML 语言基础上的变电站配置语言, 它采用面向对象的方法, 对变电站设备及二次系统

进行抽象, 定义出一系列与设备功能相关的元素类型及其属性类型, SCL 文件中具体功能设备的描述即是这些类型的实例化结果。SCL 语法表达采用了 XSD(XML Schema Definition)语言, XSD 是 W3C 定义的一种模式语言, 在 XML DTD 的基础上发展而来, 于 2001 年成为 W3C 的标准, 其本身也建立在 XML 的基础之上, 能够对对象 XML 文件的结构和元素规则进行规定。IEC 61850-6 附录定义了完整的 SCL Schema 规则^[3], 在标准的 XML 编辑软件上(如 XMLSpy), 通过 Schema 文件, 可以方便地对 SCL 文件的语法一致性进行校验^[1], 这是提高变电站设备信息模型规范性的一种简捷的方法。

在实际工程应用中, 由于 SCL schema 文件对

IEC61850 模型的信息规则覆盖不够, Schema 校验局限较大, 通常需要配合第三方开发的校验软件来实现对模型的完整校验^[1-2,4]; 本文通过分析 IEC 61850 信息模型规则表达的要求, 分析 SCL Schema 语言的特点, 提出在 Schema 文件中, 嵌入另一种模式表达语言, 与 SCL Schema 形成互补, 充分表达 IEC 61850 信息模型规则, 从而实现对 IEC 61850 信息模型的完整校验。

1 SCL 的 XSD 表达分析

1.1 SCL Schema 概述

SCL 的 Schema 文件^[3,5]以 xsd 为扩展名, 包括 SCL.xsd、SCL_BaseSimpleTypes.xsd、CL_BaseTypes.xsd、SCL_Communication.xsd、SCL_DataTypeTemplates.xsd、SCL_Enums.xsd、SCL_IED.xsd、SCL_Substation.xsd 共 8 个文件, 其中, SCL.xsd 是主文件, 引用了 SCL_Communication.xsd、SCL_Substation.xsd、SCL_IED.xsd、SCL_DataTypeTemplates.xsd、四个子规则文件, 分别代表了 SCL 文件中的四个主要部分: Communication(通信)、Substation(变电站一次设备)、IED(智能电子设备)、DataTypeTemplates(数据类型)的定义; SCL_BaseSimpleTypes.xsd、SCL_BaseTypes.xsd 和 SCL_Enums.xsd 则是对 SCL 基本元素属性的类型和约束进行了定义。

1.2 SCL 的 Schema 表达分析

在 SCL 的 Schema 文件中, 主要表达了如下几种语法关系。

1) 信息要素的所属关系

Schema 中规定了 SCL 文件的根元素是 SCL, 它包含 Header、Communication、Substation、IED、DataTypeTemplates 五种子元素, 每个子元素又可以包含若干子元素, 如 IED 包含 Services 和 AccessPoint 元素, 同时通过在元素中定义若干属性来充实、具体化所要表达的信息要素, 如 IED 具有 name、type、manufacturer 等属性, 描述装置的名称、类型、制造商等信息。通过这种方式, Schema 文件完整地表达了 SCL 语言的语法结构树。

2) 信息属性的约束关系

在 SCL 文件中, 元素属性的取值并不是任意的, 需要遵循一定的规定, Schema 文件描述了这些规定, 如一些元素的名称属性 name 是 tName 类型, 表示遵循非空规则字符串的约束、另一些如 DOI 元素属性 name 是 tRestrName1stU 类型, 规定了大写首字母、由字母和数字组成的字符串约束, 这些约束通常是通过 Schema 的 restriction 组件来表达。另一类约束表达了不同属性之间的约束, 如唯一性约

束、存在性约束等, 比如在 SCL 文件中, 存在多个 IED 时, IED 的 name 属性必须是唯一的; 唯一性约束主要通过 Schema 的 unique 组件来表达。

SCL Schema 可以非常清晰地表达模型文件中应该包含的信息、可以包含的信息以及信息的表示格式。图 1 展示了一幅 IEC61850 模型中逻辑设备的语法结构图, 由图 1 可见逻辑设备必须具有一个 inst 属性和一个 LN0 元素, inst 表示逻辑设备的实例名称, 它是一个由类型 tName 约束的字符串, LN0 元素由 tLN0 类型扩展得到; 同时逻辑设备还可以包含可选的信息, 如一个 ldName 属性, 任意个 LN 元素等。

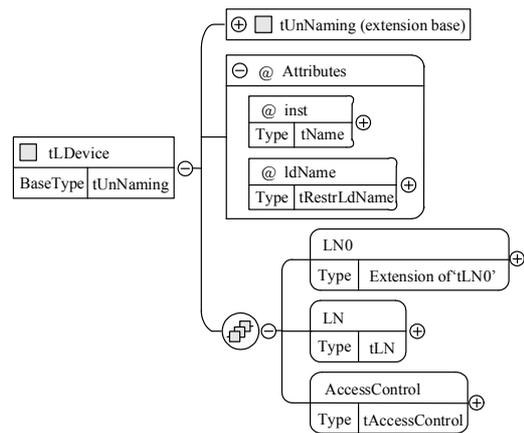


图 1 逻辑设备语法结构图

Fig. 1 Logic device's grammar structure

在 IEC 61850 标准中, Schema 语言主要描述了 IEC 61850 最基本的模型语法(SCL 语言的语法规则), 对于模型信息语法规则的表达并不充分, 如 IEC 61850-7-2 要求逻辑设备中至少包含三个逻辑节点^[6]: LLN0、LPHD 和另外一个逻辑节点, SCL Schema 文件中并没有表达这类要求。如要实现用 XML 模式校验的方法来对 IEC 61850 模型进行校验, 则需要对这些模型规则进行表达, 但通过研究发现, Schema 语言表达某些约束比较困难。

事实上, XML Schema 语言是一种结构定义语言, 它的特点在于能够表达信息的语法结构, 定义出从根节点到叶子节点的完整语法树, 对于树中各分支之间的关联关系^[7-9], Schema 中也有一些组件如: sequence、choice、unique、keyref 等, 可以进行简单的表达, 但表达能力较弱。例如在图 1 中, LN0、LN 和 AccessControl 元素之间就是一种 sequence 约束, 要求这三种元素必须按次序出现; 在逻辑节点中, 报告控制块的名称必须是唯一的, SCL_IED.xsd 用 unique 表达这种约束。

```
<xs:unique name="uniqueReportControlInLN0">
  <xs:selector xpath="/scl:ReportControl"/>
  <xs:field xpath="@name"/>
</xs:unique>
```

Schema 中最复杂的关系约束是 keyref, 如对报告控制块的 datSet 属性的约束, SCL_IED.xsd 中描述如下:

```
<xs:key name="DatSetKey">
  <xs:selector xpath="/scl:DataSet"/>
  <xs:field xpath="@name"/>
</xs:key>
<xs:keyref name="ref2DatsetRpt" refer="DatSetKey">
  <xs:selector xpath="/scl:ReportControl"/>
  <xs:field xpath="@datSet"/>
</xs:keyref>
```

含义是报告控制块的 datSet 属性的值必须是同一 LN 中数据集元素 name 属性的引用。

对于 IEC 61850 模型信息中复杂的关系, 如数据集中 FCDA 的存在性^[6]、逻辑节点数据初始化 DOI/DAI 的有效性^[3]、IEC 61850-7-2 中要求的逻辑节点前缀和实例号总长度的约束^[6]、IEC 61850-7-3 和 7-4 中定义的 CDC 和 LN 中必须存在的内容、可选的内容以及次序的要求^[10-11]、通信配置 (Communication) 中 GSE 和 SMV 控制块的存在性等要求^[1], Schema 无法进行表达。

本文通过研究, 考虑引入另一种 XML 模式语言 Schematron, 对 SCL Schema 未充分表达的部分进行描述, 通过标准 XML 文档语法约束的方法充分地表达 IEC 61850 信息模型的规则。

2 Schematron 语言及特点

Schematron^[12] (ISO 标准 ISO/IEC 19757-3:2006) 是一种使用不同于文档类型定义 DTD、RELAX NG 或 XSD 方法的模式语言。在 Schematron 中, 针对要进行检查的 XML 文档记录一组规则, 而不是绘制出试图表达 XML 格式的从根节点到叶节点的整个树结构。这一特性使 Schematron 不仅可用作一种独立的模式语言, 还可作为其他模式语言的补充。

Schematron 没有如 XSD 般复杂的语法, 它提供了一种简单方便且极其有效的方法对 XML 文档进行语法语义约束验证。Schematron 的验证机制在 XPath 表达式的基础之上发挥作用, XPath 强大的表达能力是 Schematron 的核心基础。Schematron 文档遵循 XML 的格式, 六种常用组件 schema、ns、pattern、rule、assert 和 report 涵盖了 Schematron 主

要功能。

schema 组件是 Schematron 文档的根元素, 可以包含 title、ns、pattern、phase 等子元素, 在 schema 中可以指定文档中使用组件的命名空间, 如 <schemaxmlns="http://www.ascc.net/xml/schematron">, 指定了文档的默认命名空间。

ns 组件用于指定 XML 目标文档的命名空间, 具有 prefix 和 uri 两个属性, 它们用于定义目标文档词汇的命名空间前缀和与该前缀绑定的命名空间名称。

pattern 是验证规则 rule 的集合, 类似的 rule 可以组织在一起形成 pattern, pattern 可以用来创建阶段 phase, 这样可以为验证过程提供不同的选择。

验证规则 rule 组件, 包含 assert 和 report 组件, 它包含一个 context 属性, 其值是一 XPath 表达式, 规定了什么样的元素/属性触发这一规则, 当表达式运算结果为 true 时, 触发对其子元素 assert 和 report 的判断。

断言 assert 组件包含一个 test 属性, 其值为一 XPath 表达式, 当规则 rule 被触发时, 对 assert 的 test 属性进行测试, 当表达式的值为 true, 表示规则满足, 当为 false 时, 将出现一个验证错误, 在这种情况下, assert 元素体中的内容将作为错误信息发出, assert 元素体允许混合内容(文本与元素交错)。report 组件格式与使用方法与 assert 类似, 不同点在于 report 的触发条件为 test=true, 而 assert 为 test=false; report 指令通常被用来交换关于 XML 实例的信息。

Schematron 的核心是 XPath 表达式, XPath 用于在 XML 文档中精确定位信息, 在 IEC61850 的模型信息的规则约束中, 很多都可以转化为 XPath 表达式的组合关系。

3 应用 Schematron 表达 IEC 61850 模型语法规则

在 IEC 61850 标准中, 信息模型的语法规则比较分散, 除了第 6 部分定义的 SCL 语法外, 在第 7-2、7-3、7-4 以及 8-1 部分都有针对具体模型要素的规定, 下面以几类 IEC 61850 的模型规则为例, 分析如何使用 Schematron 语言来进行表达。

1) IEC61850-7-3 和 7-4 定义的数据和逻辑节点类型表达

在 IEC61850-7-3 和 7-4 中, 定义了各种应用场景的公用数据类和逻辑节点类, 规定了必须存在的成员和条件存在的成员, 如 7-4 中规定所有具体的

LN 类(LPHD 除外)都从公用逻辑节点类派生^[11], 都必须包含公用逻辑节点定义的四个数据对象: Mod、Beh、Health、NamPlt, 用 Schematron 语言可以表达如下:

```
<rule context="LNNodeType[@lnClass!='LPHD']">
  <asserttest="/DO[1][@name='Mod'][@type=//DOT
type[@cdc='INC']/@id]
  and /DO[2][@name='Beh'][@type=//DOType[@
cdc='INS']/@id]
  and /DO[3][@name='Health'][@type=//DOType
[@cdc='INS']/@id]
  and /DO[4][@name='NamPlt'][@type=//DOType
[@cdc='LPL']/@id]"/>
</rule>
```

test 表达式中包含了四个同时满足的条件, 以第一个条件为例, 它表达的含义是: LNNodeType 中第一个元素的 name 属性为 Mod 且 type 属性所引用的数据类型为 INC。

2) 模型中信息的复杂引用^[2]

在 SCL 文件中, 不同层次的信息之间有时存在着横向的联系, 如数据集成员 FCDA 引用了 LN 实例中的数据, 其属性 ldInst、prefix、lnClass、lnInst 及 doName 等必须是有效的, 对于这一类约束, 可用 Schematron 表达如下:

```
<rule context="FCDA">
  <assert test="/@ldInst=../../@inst and
//LNNodeType[@id=(current())/*[@lnClass=current()
/@lnClass][@prefix=current()/@prefix][@inst=current()
/@lnInst])/@lnType]/DO[@name=current()/@doName]
  "> FCDA 非法
  </assert>
</rule>
```

test 表达式所表达的含义是: FCDA 的 ldInst 属性必须是数据集所在的逻辑设备 inst, prefix、lnClass、lnInst 组成的 LN 实例必须在此逻辑设备下存在, 且此 LN 实例的 lnType 所引用的 LNNodeType 中必须存在与 FCDA doName 属性相同的数据对象。

3) 模型中相关信息体的数量约束

诸如逻辑设备至少包含三个逻辑节点实例, 逻辑节点实例的前缀和实例号的总长度不大于 12 的约束^[2], Schematron 可以非常方便地表达, 以逻辑设备至少包含除 LLN0、LPHD 之外的另一个逻辑节点为例, Schematron 表达如下:

```
<rule context="scl:LDevice">
  <assert test="exists(/scl:LN0) and
```

```
exists(/scl:LN[@lnClass='LPHD']) and
count(/scl:LN)>=2">
LD 至少包含三个逻辑节点(包括 LLN0、LPHD)
  </assert>
</rule>
```

在国内的 IEC 61850 工程应用中, 模型文件同时还需要遵守 Q/GDW 396 的工程化模型规定^[13], Q/GDW 396 的规定可认为是对 IEC 61850 模型规则的细化, 它同样遵守了 IEC 61850 的信息模型规则, Schematron 同样可以对这些模型约束进行表达。

由以上例子中可以看出, Schematron 可以非常灵活地对 XML 文档的内容进行约束, 能够表达 XSD 无法表达的语法语义规则; 但同时, 它对结构化的语法规则表达能力较弱, 表达的效果不好。如能在 SCL Schema 的基础上, 在 SCL Schema 所建立的 IEC 61850 模型语法结构定义上, 引入 Schematron 约束, 则能够更充分地表达 IEC 61850 信息模型规则。

4 在 SCL Schema 中嵌入 Schematron 规则

XSD 架构提供了良好的扩展性^[9], 在其特定架构元素 xs:annotation 中定义了一个专为扩展用的应用程序信息元素 xs:appinfo, 可以在其中添加 Schematron 特定的数据, 来扩展 XSD 的架构验证; 在 XSD 的根元素 xs:schema 中声明 Schematron 的命名空间 xmlns:sch="http://www.ascc.net/xml/schematron", 将 Schematron 命名空间元素 ns 声明嵌入到顶层的 xs:annotation 中, 将 Schematron 模式元素 pattern 嵌入到 SCL Schema 的相关类型定义的 xs:annotation 中; XML 的模式校验软件在依据 xsd 文件进行校验时, 通过与 XSD 不同的命名空间限定符来提取 Schematron 的校验规则, 对 SCL 文件进行 Schematron 校验。

下面以 SCL 文件中逻辑设备至少包含三个逻辑节点的规则要求为例, 展示了将 Schematron 规则嵌入到 SCL Schema 文件(SCL_IED.xsd)中的方法:

```
<xs:schema xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL"
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:sch="http://www.ascc.net/xml/schematron"
xmlns:scl="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL"
targetNamespace="http://www.iec.ch/61850/2003/
SCL" elementFormDefault="qualified" >
<xs:annotation>
<xs:appinfo>
  <sch:title>Schematron validation for SCL
</sch:title>
```

```

<sch:ns prefix="scl" uri="http://www.iec.ch
/61850/2003/SCL"/>
</xs:appinfo>
</xs:annotation>
<xs:complexType name="tLDevice">
  <xs:annotation>
    <xs:appinfo>
      <sch:pattern name="rule for LD">
        <sch:rule context="scl:LDevice">
          <sch:assert test="exists(/scl:LN0) and
exists(/scl:LN[@lnClass='LPHD']) and
count(/scl:LN)>=2">
LD 至少包含三个逻辑节点(LLN0、LPHD 及其他)
          </sch:assert>
        </sch:rule>
      </sch:pattern>
    </xs:appinfo>
  </xs:annotation>
  ...
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

示例在 XML 的编辑软件 Oxygen XML Editor 中运行, 可以对 SCL 文件中的逻辑设备实例进行有效验证, 对于验证失败的情况, 还可以友好地输出自定义的提示信息。

通过这种方式, 可将 IEC 61850 中已规定而 SCL Schema 无法表达的语法、语义规则嵌入到 XSD 文件中, 两者融为一体, 完整的表达 IEC 61850 标准对变电站设备模型信息的要求; 目前, 主流的 XML 编辑软件都支持 XSD 的这种 Schematron 扩展, 不存在兼容性问题; 在工程应用中, 可为设备模型信息的规范性检查提供极大的便利。

5 模式校验在模型校验中的应用比较

目前在模型校验的工程应用中, 可分为三个层次的校验: SCL 语法校验, IEC 61850 模型语法校验, 国网模型规范校验, 对于这三个层次, 通常需要采用三种方法, 对 SCL 语法采用 Schema 模式校验, 对 IEC 61850 模型语法采用商业模型校验软件 (如 kema 公司的 sclChecker) 校验, 对国网模型规则采用设备厂家自己开发的校验工具; 总体来说校验过程复杂, 需要购买商用校验软件, 需要进行软件开发^[2,4], 随着信息模型规定的愈加详细, 开发工作量大。

通过模型校验的实际应用发现, 采用模式语言

(Schema+Schematron)来表达信息模型的规则, 利用表达文件对信息模型进行校验, 不需要编写校验软件, 实现简单方便, 可同时完成三个层次的校验; 表达的内容可读性好, 标准化程度高, 易维护性强。

6 总结

IEC 61850 标准自 2003 年发布以来, 在国内外得到了广泛的研究与应用, 随着标准第二版的颁布和智能变电站的推广与实施, IEC 61850 的应用已提到了一个新的阶段, 从单纯作为通讯规约进入到规范功能、端子、语义方面的应用, 信息模型规则的完善显得尤为迫切和重要。

本文通过研究 SCL Schema 对 IEC 61850 信息模型语法语义的表达, 以及 Schematron 语言的特点, 得出如下结论:

1) XML Schema 能够充分描述信息模型的结构层次和语法要素, 但在表达 IEC 61850 模型信息语义和信息间的相互约束关系时存在困难;

2) Schematron 不以描述文档的语法结构为目的, 提供了简单灵活的指令, 能够对 SCL 文件中信息语义提供强大的约束功能, 与 XML Schema 的语法规则形成互补;

3) Schematron 嵌入到 XSD 文件中, 与 Schema 规则成为一体, 可以实现对 SCL 模型文件的一致性验证, 降低对各种模型校验工具的依赖。

参考文献

- [1] 王珍珍, 孙丹. IEC 61850 配置文件测试的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 95-98, 123.
WANG Zhenzhen, SUN Dan. Research on testing of IEC 61850 configuration files[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 95-98, 123.
- [2] 何磊, 田霞, 韩永进. IEC 61850 配置文件工程化测试探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 147-150.
HE Lei, TIAN Xia, HAN Yongjin. Research on the testing of IEC 61850 configuration file in engineering[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 147-150.
- [3] IEC 61850 communication networks and systems in substations-part 6[S].
- [4] 王凤祥, 方春恩, 李伟. 基于 IEC61850 的 SCL 配置研究与工具开发[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 106-109.
WANG Fengxiang, FANG Chunen, LI Wei. Design of substation configuration tool based on IEC61850 standards[J]. Power System Protection and Control, 2010,

- 38(10): 106-109.
- [5] 樊陈, 陈小川, 马彦宇, 等. 基于 IEC61850 的变电站配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2007, 35(8): 41-44, 65.
FAN Chen, CHEN Xiaochuan, MA Yanyu, et al. Research of configuration about substation based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2007, 35(8): 41-44, 65.
- [6] IEC 61850 communication networks and systems in substations - part 7-2[S].
- [7] XML Schema part 1: structures[EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/2001/REC-xmlschema-1-20010502>.
- [8] XML Schema part 2: data types[EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/2001/REC-xmlschema-2-20010502>.
- [9] 孙鑫. XML, XML Schema, XSLT 2.0 和 XQuery 开发详解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [10] IEC 61850 communication networks and systems in substations-part 7-3[S].
- [11] IEC 61850 communication networks and systems in substations-part 7-4[S].
- [12] ISO/IEC 19757 information technology - document Schema definition languages (DSDL) - part 3 rule-based validation – Schematron[S].
- [13] Q/GDW 396-2012 IEC 61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.
Q/GDW 396-2012 IEC 61850 engineering application model of relay protection[M]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2012.

收稿日期: 2014-04-27

作者简介:

梅德冬(1975-), 男, 通信作者, 主要研究方向为电力系统自动化及智能变电站通信; E-mail: meidedong@sgepri.sgcc.com.cn

樊瑞(1985-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为智能变电站一致性测试;

周斌(1970-), 男, 硕士, 研究员级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化。