

电力系统数据模型描述语言 E

辛耀中, 陶洪铸, 李毅松, 石俊杰

(国家电力调度通信中心, 北京市 100031)

摘要: 为满足电力系统数据模型的高效描述和大量在线数据的高效交换, 研发了数据模型描述语言 E, 它采用面向对象技术, 兼容面向关系技术, 吸收了 XML 的优点; 在描述 100 节点 CIM 模型时, E 语言的效率比 XML 高 13.6 倍; E 语言已在电力调度系统成功应用。

关键词: 数据模型; 描述语言; E 语言

中图分类号: TM734

1 CIM/XML 互操作实验中发现的问题

为解决电力系统中多个自动化应用系统之间的数据交换和互操作, IEC TC57 第 13 工作组(EMS-API)推出了 IEC 61970 系列标准, 其中最有代表性的是 IEC 61970-301 电力系统公用数据模型(common information model——CIM)^[1,2]。该标准对业界影响很大, 获得了各国电力企业和开发商的积极支持, 被公认为具有里程碑意义。为了促进标准的实施和产品化, 美国组织了 6 次 CIM 互操作实验, 我国组织了 5 次 CIM 互操作实验^[3~5], 形成了一些初期产品^[6,7]。

本文作者之一是 TC57 WG13 成员, 国调中心是中国 EMS-API 工作组组长单位和国内互操作实验的组织者, 在进行了一系列的实验研究后, 在深入体验了 CIM 的诸多优秀特色的同时, 也发现了 CIM 存在的一些问题: ① CIM/XML 的描述效率太低, 100 节点电网的 CIM/XML 描述文件约 2.3 MB; ②数据导入/导出的速度较慢, 早期导入美国 DUKE 电网数据需要 8 h; ③ CIM 将面向对象技术用过了头, 对象颗粒度太小, 量纲、连接点等都是小对象; ④电力系统长期积累的数据大多是面向关系的, 很难转为 CIM 格式。

这些问题的存在, 限制了标准实施的进度。同时, 随着电力系统的快速发展和电力体制改革的深化, 各类电网自动化系统迅速建立, 电力系统数据整合已成为电力企业的重要任务, 迫切需要一套简单、高效、实用的电力系统数据模型描述工具和交换规范。为此, 我们在继承 XML 优点^[8]的基础上, 开发了电力系统数据模型描述语言——E 语言。

2 数据模型描述语言 E 的技术原则

电力系统数据模型描述语言定名为“E 语言”是

收稿日期: 2006-04-07。

源于: 简单(easy)、高效(efficiency)、电力(electric-power)3 个英文词头。E 语言的设计遵循以下几个基本技术原则: ①简单原则。简单、易用, 仅定义几个符号, 规则一目了然。②效率原则。具有较高的描述效率和传输效率。③实用原则。注重实用性, 兼顾完备性。④对象原则。基于现代面向对象技术, 继承 CIM 和 XML 的优点, 面向电力系统设备。⑤关系原则。兼容传统面向关系技术, 继承长期积累的大量数据和处理程序。⑥命名原则。采用自然语言对类、属性、实体等进行命名, 易于实现无编码体系。

E 语言采用面向对象技术, 将电力系统传统的面向关系(设备)的数据描述与面向对象的 CIM 相结合, 既保留了面向设备的方法的高效率, 继承了其长期的研究成果, 又吸收了面向对象方法的特点, 如类的继承性等, 便于进行与 CIM 格式的转换和数据交换。E 语言中的类(class)、属性(attribute)、对象(object)分别对应于面向设备(或面向关系)方法中的表(table 或 relation)、域(field)、记录(record)。

E 语言作为一种语言, 继承 XML 标记语言的基本特点和优点, 扩展了几个特殊符号和描述语法, 可以高效地描述电力系统各种复杂数据模型和简单数据模型, 对于大量数据的描述, E 语言效率比 XML 高得多, 而且数据量越大则效率越高, 对于少量数据的描述, E 语言比 XML 效率稍高, 但 E 语言更符合人类的自然习惯, 计算机处理也更简单。

3 E 语言的基本功能

E 语言非常简洁, 仅定义了几个符号, 例如: <, >, @, #, /, 等, 这些符号均为英文半角符号, 作为引导符位于文本文件中每行的第 1 个字符或与第 2 个字符组合, 具有特定意义。E 语言的基本语法结构如图 1 所示。

```
//注释行:横表式数据描述方式
<! 系统声明 !>
<类名::实体名>
@  属性名 1      属性名 2      属性名 3
#  对象 1 值 1    对象 1 值 2    对象 1 值 3
#  对象 2 值 1    对象 2 值 2    对象 2 值 3
#  .....
</类名::实体名>
```

图 1 E 语言的基本语法结构(横表式)
Fig. 1 Basic syntax of E language (horizontal table)

1)注释引导符:用双斜杠“//”表示,源于 C 语言的注释符,表明此行为注释行或说明行。注释可以独立一行,也允许在行的后部。

2)声明引导符:左尖括号和叹号并列“<!” ,引导一个系统声明行,行结束符为“!>”,说明文件类型(采用的规范类型或表的类型)、文件中类的个数(表数)、对象的个数(记录总数)以及采用规范的版本。格式如下:<! E = mySystem class # = 3 object # = 35 version = 1.0!>。

3)类或实体起始符:用尖括号“<类名>”或“<类名::实体名>”表示,表明此行是类或实体的起始。如果是实体起始符,类名与实体名之间用双冒号“::”连接。类和实体名称之后可跟若干个标记属性及其值,标记属性与名称之间用等号“=”相连。

4)类或实体结束符:用尖括号内加单斜杠“</类名>”或“</类名::实体名>”表示,表明该行是类或实体数据块的结束。类中如果只包含一个对象可以用一行来描述,采用如下格式:<类名::实体名 属性 1 = 值 1 属性 2 = 值 2 />。

5)属性引导符:用地址符“@”标识,用于表明属性名称以及数据排列方式,支持属性的动态增、减。属性描述有以下几种方式:①单地址符“@”表示后面的数据块中每个对象占 1 行、每个属性占 1 列,简称“横表式”,适用于表格类的模型描述,或属性较少且对象较多的模型描述,如图 1 所示。②双地址符“@@”表示后面的数据块中每个属性占 1 行,属性名和值各占 1 列,简称“单列式”,适合于单个对象且属性较多的模型描述,如图 2 所示。③单地址符和井号“@#”表示后面的数据块中每个属性占 1 行,每个对象占 1 列,简称“多列式”,适合于多个对象且属性较多的模型描述,如多条曲线的描述,如图 3 所示。④单地址符和斜杠“@/”表示该行给出各属性的别名,用于 CIM 标准格式转换或多国语言转换。

6)数据引导符:用“#”表示,表明此行为数据,数据的表达方式取决于属性引导符:“@”表示数据块为“横表式”,如图 1 所示;“@@”表示数据块为

“单列式”,如图 2 所示;“@#”表示数据块为“多列式”,如图 3 所示。

```
// 单列式数据描述方式
<类名::实体名>
@@属性名      属性值
#  属性 1      值 1
#  属性 2      值 2
#  .....
</类名::实体名>
```

图 2 单列式数据描述方式
Fig. 2 Single column style of data description

```
// 多列式数据描述方式
<类名::实体名>
@#属性名      对象 1      对象 2      对象 3
#  属性 1      值 11      值 12      值 13
#  属性 2      值 21      值 22      值 23
#  .....
</类名::实体名>
```

图 3 多列式数据描述方式
Fig. 3 Multi-columns style of data description

7)空格分割符:各种类型的行中各项内容以 1 个或连续多个空格或制表符(Tab)分隔。如果字符数据中含有空格字符,则需在字符数据前后加单引号“'”或双引号“””。

8)实体连接符:用双冒号“::”表示,用于类和实体之间的连接,如:<调度日报::华东>。

9)赋值连接符:用等号“=”表示,主要用于类和实体引导符后的标记属性与值之间,如:<调度日报::华东 日期=20060402 时间=23:15:00>。

10)名称连接符:用小数点“.”表示,用于连接层次结构的类或实体。“.”的含义源于 C 语言的类型与属性之间的连接符。用于实体的层次描述如:“华中.河南.郑州”;用于类及属性的层次描述如:“线路.阻抗”。

4 E 语言的拓展功能

虽然 E 语言的基本功能已经能够满足大部分应用需求,但为了保持语言的完备性和灵活性,定义下列拓展功能:

1)类型引导符:用百分号“%”表示,与属性引导符配合使用,指明各属性的数据类型,为可选功能。“%”的含义源于 C 语言输入输出语句中的类型描述符。定义如下:i 表示整型数(int);f 表示浮点数(float);s 表示字符串(string),当字符串中包括空格或跳格时,该字符串需用半角单引号或半角双引号括起;p 表示指针(pointer)。

2)量纲引导符:用美元符“\$”表示,与属性引导符配合使用,指明各属性的量纲,例如:MW,kV等;为可选功能。当某属性没有量纲时,用“-”表示。

3)限值引导符:用冒号“:”表示,与属性引导符配合使用,引导各属性的限值描述,例如:“月”的限值为1:12,“小时”的限值为0:23。该功能为可选功能。当某属性没有限值时,用“-”表示。见图4。

```
// 数据类型、量纲和限制描述使用举例
<Line>
@ Id I_Node J_Node R X Cx
% i s s f f f
$ - - - - -
: 1:10 - - - - -
# 1 辛安 获佳 0.019 4 0.059 2 0.026 4
# 2 姜家营 高岭 0.047 0 0.198 0 0.021 9
# .....
</Line>
```

图4 数据类型、量纲和限值描述
Fig. 4 Description of data type, unit and limit value

4)指针引导符:用星号“*”表示,源于C语言中的*指针。当*出现在属性行中时,紧跟星号的是所指向的类名;相应地在数据行中,星号加在对应的数据项前面,后面紧跟对象标识(OID),对连续的对象标识以冒号分割所指起始和终止对象标识,如果对象标识不连续,可用逗号“,”分割;如图5中: * Line对应的数据 * 45:48,67 表示指针指向线路类Line的第45号到第48号对象以及第67号对象。如果某数据行不存在指向该类的指针,则对应数据项填0,且前面不带*号,如图5中三堡变电站没有发电机,相应数据项为0。如果指向的对象标识太多,或指向其他类(属性行中没描述),则可另起一行作为指针行,指针行以“*”开头,后跟指向的类名及所指的各对象标识,以空格分隔;指针行位于所属对象之后,在下一个对象之前。如图5所示。

```
// 指针使用举例
<Substation>
@ Name Voltage Angle P Q Type *Gen *Line
# 阳城 1.060 0 0.000 0 232.38 -16.890 0 VA *25:31 *45:48,67
# 三堡 1.020 0 0.000 2 231.49 -15.002 5 PQ 0 *49:54
*串补装置 2 4
# 东明 1.020 0 0.000 2 231.49 -15.002 5 PQ 0 *东三线
# .....
</Substation>
```

图5 E语言指针使用举例
Fig. 5 Pointer description example

5)继承标识符:用冒号“:”和小数点“.”表示。在类或实体起始符后的尖括号内,可以列出若干个有继承关系的父类名,每个父类名后跟冒号“:”,冒号后跟单字母类别名;在属性描述行中,可以继承父

类的某些属性,用“类名.属性”表示。例如在线路类Line的属性中,继承了区域类的某些属性I和J,如图6所示。这里的继承不同于C++等面向对象语言中的继承,这里仅继承所用的属性,不是所有属性。

```
// 继承机制使用举例
<Line Area:A>
@ Id I_Node J_Node R X Cx A.I A.J
# 1 辛安 获佳 0.019 4 0.059 2 0.026 4 华北 华中
# 2 姜家营 高岭 0.047 0 0.198 0 0.021 9 华北 东北
# .....
</Line>
```

图6 E语言继承机制使用举例
Fig. 6 Inherit mechanism example of E language

6)无结构数据描述:用冒号和等号“:=”表示,类或实体引导符尖括号内的<类名::实体名>退化为<数据块:=FREE>,省略掉以“@”开头的属性描述行和以“#”开头的数据行,以及所有结构化描述机制,结束符</类名::实体名>退化为</数据块:=FREE>,可描述任何数据,包括图形、图像、文字、程序等。如图7所示。

```
// 无结构数据描述方式
<数据块:=FREE SIZE=数据块长度>
数据块(任意数据)
</数据块:=FREE>
```

图7 无结构数据描述机制
Fig. 7 None structure data description mechanism

7)嵌套描述方式:嵌套是指在一类数据块内又包括其他类的描述方式,这种方式与XML非常相似。为了保持E语言的高效率,位于行首的特殊字符不变,后面可用空格“ ”和跳格“TAB”表示嵌套格式,如图8所示。该方式逻辑性较好,但效率较低,简洁性差。E语言的基本描述方式是二维平面方式,各类数据依次描述,简单、整齐,类似于人们熟悉的关系表格,也近似于关系数据库的数据结构。

```
// 嵌套描述方式
<Substation>
@ Name Voltage Angle P Q Type
# 阳城 1.060 0 0.000 0 232.38 -16.890 0 VA
<
  Gen>
  @ Name V A Pg Qg
  # G1 1.060 0 0.001 0 232.38 -16.890 0
</
  Gen>
# 三堡 1.020 0 0.000 2 231.49 -15.002 5 PQ
</Substation>
```

图8 嵌套描述方式
Fig. 8 Nesting description style

8) 计算公式: E 语言通过“FRAME”机制支持类似于 Excel 的公式计算, 将整个 E 语言文件装载到 FRAME 中, 其中每行用“行号”(阿拉伯数字 1, 2, …) 标识, 每个属性及对应的值用“列名”(大写英文字母 A, B, C, …) 标识。数据块中的数据项可以为公式的计算结果, 用等号“=”引导, 后跟数据项名及四则运算符号, 必要时可用括号“()”。例如表 1 中“=H6+I4”表示该数据项等于第 6 行属性 H 的值与第 4 行属性 I 的值之和。公式描述的语法基本等同于 Excel, 具体功能有待进一步完善。

表 1 E 语言的 FRAME 及计算公式描述
Table 1 Frame and calculation formula description of E language

行号	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<	Line	>						
2	@	ID	I_node	J_node	R	X	CX	Pi	Qi
3	#	1	阳城	东明	0.02	0.03	0.002	793.67	34.30
4	#	2	东明	三堡	0.03	0.02	0.001	820.43	16.30
5	#	3	绥中	姜家营	0.01	0.02	0.002	384.12	=H5 * E5
6	#	4	辛安	获嘉	0.02	0.01	0.001	407.67	=H6+I4
7	</	Line	>						

5 E 语言的特点与应用

E 语言的基本功能使用 4 个常用符号(<, >, @, #), 支持 3 种描述方式(横表式、单列式、多列式), 已经具有较强的描述能力, 能够高效地描述电力系统中大部分数据模型和数据交换格式, 实现起来比较简单。E 语言的拓展功能继承了 CIM 总体框架, 继承了面向对象的思想, 继承了 XML 灵活性, 继承了面向关系技术的高效率, 继承了 Excel 的方便性, 描述功能非常强大, 有些功能实现起来比较复杂。

目前已经实现的 E 语言, 支持 E 语言与 XML 的相互转换, 特别支持对 CIM 的 E 语言与 XML 转换。E 语言与 XML 相比, 描述效率大为提高, 同样描述 100 节点的电力系统 CIM, 用 XML 描述文件长度为 2 331 kB, 用 E 语言直接描述文件长度为 310 kB, 吸收 CIM 小类后用 E 语言描述文件长度为 171 kB, 描述效率提高 13.6 倍。所描述的数据量越大, E 语言的效率越高。

E 语言采用基于文本文件的存储和交换方式, 独立于数据库和操作系统; 适合描述电力系统复杂模型, 已经成功应用于电力系统方式计算用电网设备模型和参数的描述、电网运行数据交换规范、电力市场报价格式等领域; E 语言的基本功能更适合描述相对比较简单数据模型, 已在电网调度日报传输格式、电力营销日报传输格式等方面广泛应用, 取得了很好的效果。E 语言在电网调度系统数据整合

工作中发挥了重要作用, 为实现“无编码体系”提供了有力的技术支撑。

E 语言由国家电力调度通信中心开发, 采用开放源代码方式, 向国内使用者提供源程序, 欢迎提出修改意见, 鼓励研究开发单位在此基础上形成实用的产品, 促进 E 语言不断发展完善, 逐步形成标准, 进一步推广应用, 提高电力系统自动化水平和信息化水平。

参考文献

- [1] IEC 61970-301:2003 Energy Management System Application Interface (EMS-API); Part 301 Common Information Model (CIM) Base. 2003.
- [2] IEC 61970-552-4: 2005 CD, Energy Management System Application Interface (EMS-API); Part 552-4 CIM XML Model Exchange Format. 2005.
- [3] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于 CIM XML 电网模型的互操作研究. 电力系统自动化, 2003, 27(14): 45—48, 74.
LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming et al. An Investigation on a Common Information Model for Energy Management System. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(14): 45—48, 74.
- [4] 全国电力系统控制及其通信标准化技术委员会 EMS-API 工作组. 国内第 4 次 EMS-API 互操作实验介绍. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 1—4.
EMS-API Group of National Standardization Technical Committees of Power System Control and Associated Communication. Induction of the 4th EMS-API Interoperability Test in China. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 1—4.
- [5] 吴文传, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于 IEC 61970 标准的 EMS/DTS 一体化系统的设计与开发. 电力系统自动化, 2005, 29(4): 23—57.
WU Wen-chuan, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming et al. Design of the Integrated EMS/DTS System Based on IEC 61970. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 23—57.
- [6] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 公共信息模型拆分与合并应用研究. 电力系统自动化, 2004, 28(12): 51—55, 59.
LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming et al. Investigation on Increment and Partial Model Transfers Based on CIM. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12): 51—55, 59.
- [7] 张慎明, 黄海峰. 基于 IEC 61970 标准的电网调度自动化系统体系结构. 电力系统自动化, 2002, 26(10): 45—47, 72.
ZHANG Shen-ming, HUANG Hai-feng. Architecture of Power Dispatching Automation System Based on IEC 61970 Standard. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(10): 45—47, 72.
- [8] 曹阳, 姚建国, 张慎明, 等. XML 技术在电网自动化系统中的应用探讨. 电力系统自动化, 2002, 26(21): 73—76.
CHAO Yang, YAO Jian-guo, ZHANG Shen-ming et al. Application of XML the Automation System of Power Network. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(21): 73—76.

(下转第 92 页 continued on page 92)

於益军(1967—),男,高级工程师,主要从事电力系统自动化的研究与开发工作。

钱玉妹(1963—),女,高级工程师,主要从事电力系统自动化的研究与运行工作。

Security Correction Design on Generation Plan in Energy Management System

XU Tian¹, YU Yi-jun², QIAN Yu-mei¹

(1. Jiangsu Electric Power Dispatching and Communication Center, Nanjing 210024, China)

(2. Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: In order to adapt to the future power market in East China, this paper presents a security correction method of generation plan in energy management system (EMS) based on the need of the power system operators and analysis. The function design, key techniques and data relations are discussed. Numerical results of the typical transmission interface are presented. The results demonstrate that the method proposed is effective and valuable.

Key words: EMS; generation plan; security correction

(上接第 51 页 continued from page 51)

辛耀中(1956—),男,教授级高级工程师,总工程师,主要从事电网自动化、电力市场、二次系统安全防护、数据通信等方面的工作。E-mail: xin-yaozhong@sgcc.com.cn

陶洪铸(1973—),男,高级工程师,主要从事电网自动化

工作。

李毅松(1967—),男,高级工程师,副处长,主要从事电网自动化工作。

E Language for Electric Power System Model Description

XIN Yao-zhong, TAO Hong-zhu, LI Yi-song, SHI Jun-jie

(China National Electric Power Dispatching and Communication Center, Beijing 100031, China)

Abstract: In order to satisfy the requirement of high efficiency description for power system model and data exchange, the model description language E is developed. It adopts object-oriented technology, is compatible with relation-oriented technology, and inherits the advantages from XML. For 100 nodes CIM model description, the efficiency of E language is 13.6 times higher than that of XML. The E language has been successfully applied in electric power system of China.

Key words: information model; description language; E language

(上接第 68 页 continued from page 68)

何英杰(1978—),男,博士研究生,从事多电平技术、有源电力滤波器的研究。E-mail: hyj20001111@sohu.com

邹云屏(1945—),男,教授,博士生导师,主要从事新型

电力电子电路、装置与系统及应用基础(含信号检测、变换与处理)的研究。

刘飞(1970—),男,博士研究生,研究方向为有源电力滤波器和无功补偿。

Simulation of the Active Filter with a Multilevel NPC Inverter

HE Ying-jie, ZOU Yun-ping, LIU Fei, LIN Lei, WANG Cheng-zhi

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Due to the overvoltage limitation of the power devices, it is very difficult to mitigate harmonic produced from the nonlinear loads in high voltage grids with the help of a traditional active power filter (APF) with two-level inverter. An approach using an active power filter with a multi-level NPC inverter is therefore proposed. As the basic principles of the APF described, a repetitive predictor based deadbeat control scheme is given to predict harmonic current. The repetitive predictor can achieve a better prediction of the harmonic current with same sampling frequency, thus improves the overall performances of the system. The simulation results illustrate that the proposed APF is suitable for mitigating harmonic under conditions of a high voltage and a large capacity.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50277017).

Key words: active power filter; multilevel NPC inverter; repetitive predictor; deadbeat control