

DOI: 10.7667/PSPC171163

基于 EXI 的配网信息模型交换格式研究

何锡祺¹, 陶文伟¹, 莫宇², 张喜铭¹, 凌万水²

(1. 中国南方电网有限责任公司, 广东 广州 510530; 2. 上海金智晟东电力科技有限公司, 上海 200233)

摘要: 为了实现配网信息模型的数据结构共享和信息交换, 针对常用 CIM/XML 在实际应用中存在的性能问题, 给出一种基于 EXI 格式的配网信息模型的数据交换方法。利用 EXI 对 CIM/XML 进行编码, 通过编码事件流、预压缩及压缩三个步骤, 得到基于 EXI 的 CIM 模型, 并对 CIM/XML、CIM/E 和 EXI 三种数据交换格式的性能指标进行对比分析。测试结果表明, 基于 EXI 的信息模型在内存消耗与解析耗时方面较 XML 更有优势, 提高了配电网信息模型数据交换效率, 对实现智能配电网的信息集成具有重要参考意义。

关键词: 配电网; CIM/XML; EXI; 信息模型; 数据交换格式

Research of model exchange format for distribution network based on EXI

HE Xiqi¹, TAO Wenwei¹, MO Yu², ZHANG Ximing¹, LING Wanshui²

(1. China Southern Power Grid Co., Ltd, Guangzhou 510530, China;

2. Shanghai Wiscom Sunest Electricity Power Technology Co., Ltd, Shanghai 200233, China)

Abstract: Aiming at solving the practical performance problems of CIM/XML which result in the incontinuity of the data-structure sharing and the information exchange of the distribution network information model, a specific method of data exchange based on the EXI format utilized in the distribution network information model is presented in order to realize the convenience of the data-structure sharing and the information exchange. In this method, the EXI format is used to encode the CIM/XML. And the CIM model based on the EXI is obtained through three steps: event stream, pre-compression and compression. Furthermore, the performance indexes of the three data-exchange formats: CIM/XML, CIM/E and EXI are also compared and analyzed based on the analysis. The test results show that the EXI information model is much better at reducing the memory consumption and analyzing time consuming than the XML one. Obviously, the EXI model highly improves the data-exchange efficiency of the distribution network information model. Therefore, the EXI information model has the referential significance to the realization of the smart distribution grid information integration.

This work is supported by Science and Technology of China Southern Power Grid “Research and Demonstration Application of the Key Technologies of Power Consumption Dispatch Automation based on multi-level dispatch coordination” (No. ZDKJ00000008).

Key words: distribution network; CIM/XML; EXI; information model; data interchange format

0 引言

近年来, 随着配电网的智能化及其规模的不断扩大, 电力企业应用需求的持续增长, 各类应用系统呈现分布式和异构的特点, 并存在大量信息交换。

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目“多级调度协同的用电调度自动化关键技术研究及示范应用”(ZDKJ00000008)

IEC 61968 提出了智能配电网的信息集成, 其中主要工作集中在数据结构的共享及信息交换上^[1-7]。因此智能配电网应在开放的通信架构和统一的技术标准基础上建立集成、高速、双向的通信网络, 促进智能配电网信息的共享与交互, 从而实现电力流、信息流、业务流的一体化。其中精确的建模技术是智能配电网建设的核心, 高效模型信息交换标准则是该技术的保障。

IEC 61970-301 定义的公共信息模型 CIM

(Common Information Model)已经广泛应用于各国电力系统, CIM 提供了对电力系统的一致抽象, 详细表示了电力系统资源、属性及其关系^[8]。电力系统模型能被转换成一个 XML 文档导出, 此风格被称为 CIM/XML 格式。电力系统的大多数应用都是基于 CIM/XML 进行模型交换。XML 语言灵活、高度结构化, 并具有可扩展性和良好的数据存储格式、便于网络传输等优点, 但在实际应用中存在一些性能问题, 以 XML 为基础的数据交换描述效率不高, 存在大量冗余信息, 增加了设备的资源消耗, 降低了网络传输的效率, 电力系统模型的导入导出花费的时间较长。因此, 为实现更高效的电力系统数据共享及信息交换, 应采用更为高效的数据交换格式。

目前, 针对配电网信息模型数据交换的研究集中在国际标准 CIM/XML 方面。CIM/XML 是各国电力系统普遍应用的数据交换格式。文献[9]基于 CIM/XML 实现了原有 EMS(能量管理系统)数据库与符合 CIM 标准的数据存储器之间的数据交换和数据传递。文献[10]提出了微电网各发电单元的 CIM 模型, 并用 XML 语言描述了微电网的整体模型。文献[11]介绍了 CIM 在电网规划管理方面的应用。为了达到更高效模型信息交换技术及描述效率, 目前的研究有采用国家标准 CIM/E 作为数据交换格式, 文献[12-16]介绍了信息模型在线实时交换技术 CIM/E 及其应用, 对比分析了 CIM/E 和 CIM/XML 的特点, 重点比较了描述效率和使用性能, 证明了 CIM/E 较 CIM/XML 描述效率较高, 为两种标准的选择使用提供理论依据。文献[17-18]介绍了编码与压缩是提升 XML 数据交换格式效率的主要方法。

此外, W3C 的高效 XML 交换工作组于 2014 年 2 月, 发布了高效 XML 交换(EXI)格式 1.0(第二版)的正式推荐标准。目前针对 EXI 的研究较少, 在物联网领域有相关应用, 在电力系统信息模型数据交换中应用较少, 因此本文研究了高效 XML 交换格式 EXI, 并将其作为配电网信息模型的交换格式, 与 CIM/XML 及 CIM/E 文档的大小及解析效率进行了对比, 分析了 EXI 的优势, 为提高配电网信息模型数据交换效率以及实现智能配电网的信息集成提供了一个新思路。

1 高效 XML 交换格式 EXI

1.1 EXI 基本概念

EXI(Efficient XML Interchange)是 XML 的一种紧凑的高度压缩的表示格式, 采用语法驱动的方式, 通过相对简单的编码算法和较小的数据类型集, 专

门对 XML 进行了优化。EXI^[19]优化了 XML 交换效率及资源的利用率, 相对于 XML, EXI 的主要优势有^[20]:

- 1) 提高了数据交换性能;
- 2) 有效地减少对传输带宽的需求;
- 3) 减少信息的冗余度, 适用于资源受限的环境;
- 4) 与现有的 XML 技术保持一定的兼容性。

XML 文档可根据 EXI 语法转化为 EXI Stream, 如图 1 所示。EXI Stream 分为 EXI Header 与 EXI Body^[21-22]。EXI Header 是 EXI Stream 的开头部分, 定义了 EXI Stream, 使其区分于 XML 文档, 并且申明了使用的 EXI 版本, 描述了 EXI Body 的基本信息; EXI Body 包含了文档内容的编码, 由一系列 EXI 事件组成。EXI Stream 的每个事件都能映射到 XML 信息项, 以便 EXI 文档或 EXI 片段能作为整体表示 XML 信息集。

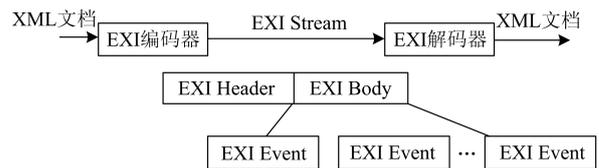


图 1 EXI 处理过程

Fig. 1 Processing of EXI

EXI 用语法来确定每个事件在 EXI Stream 中发生的顺序和可能性。EXI 中包含内置的语法及受模式信息约束的语法, 前者可以直接对 XML 进行编码, 后者则需依据 Schema 模式文件对 XML 编码。采用受模式信息约束的语法编码能减小文件大小但编码耗时较长。EXI 的每条规则都会对应一个 EXI 事件, 当出现该 EXI 事件时就用对应的规则进行解析。每条规则都被分配一个编码, 该编码就作为对应的 EXI 事件编码。事件编码用于标识每个 EXI Stream 中的事件序列, 由三部分句点分隔的序列表示, 每部分为无符号的非负整数。

1.2 EXI Stream 结构

1.2.1 EXI Header

EXI Header 用于向解码器传递解码 EXI Body 所需的信息。在 EXI Header 中很多的项都是可选的, 这样 EXI 头可以显得很灵活同时使得编码很紧凑。最小的 EXI 头用一个字节就可以表示。图 2 是 EXI Header 结构的示意图, 其中在括号中的项为可选的项。

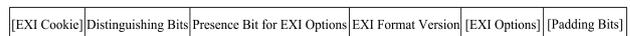


图 2 EXI 头结构

Fig. 2 EXI header structure

EXI Cookie 是 EXI Header 的起始部分, 为可选项, 占4字节, 由“\$”、“E”、“X”、“I”四个 ASCII 字符组成, 用于表明数据流是 EXI 格式的数据流。

Distinguishing Bits 占2个比特位, 分别为0和1。用于区分 EXI Stream 和其他基于 XML 的文件

EXI Format Version 描述 EXI Stream 所使用的版本。

Presence Bit for EXI Options 用于表明 EXI Head 是否含有可选项。

EXI Options 用于描述 EXI Stream 中使用的编码方式。

1.2.2 EXI Body

EXI Body 由 EXI 事件序列组成^[22]。XML 信息项被编码为一个或多个事件。SD 用于表示事件开始, ED 表示事件结束。元素起始标记为 SE, 元素结束标记表示为 EE, 属性标记为 AT。在 EXI 所用的术语中, content(内容)表示的是属性值或字符值, 其余的信息项都称为 structure(结构)。

2 基于 EXI 的配网信息模型数据交换方法

2.1 模型交换机制

共享和交换数据格式描述框架包括三部分: 资源、属性和描述项。资源包括开关、线路等电力系统中所有可以进行表达的对象; 资源的属性表示资源的特点、性质以及资源之间的相互关系, 一个资源可能具有多个属性; 描述项则是属性的值。

图3为基于 XML 的数据交换机制。XML 文档由 IEC60970 第 501 部分描述的 CIM/RDF 模式提供语义与语法并作为资源描述框架来构建。最终 CIM/XML 模型交换文档能被解析并导入外部系统。

EXI 文档由 CIM/XML 文档转换, 根据语法对每个事件进行编码, 其数据交换机制如图4所示。

2.2 文件结构

从某公司配电网信息模型的 CIM/XML 文档节选部分为例, 如图5所示。

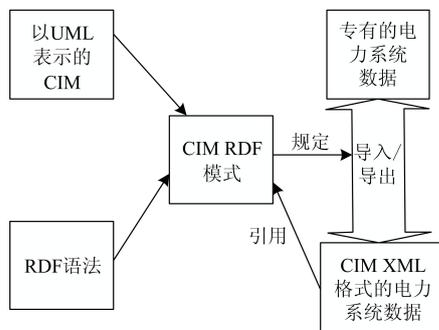


图3 基于 XML 的数据交换机制

Fig. 3 Data exchange mechanism based on XML

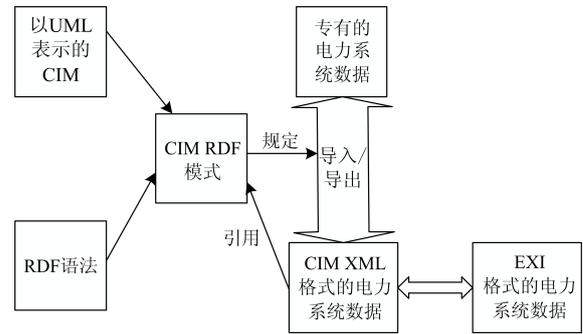


图4 基于 EXI 的数据交换机制

Fig. 4 Data exchange mechanism based on EXI

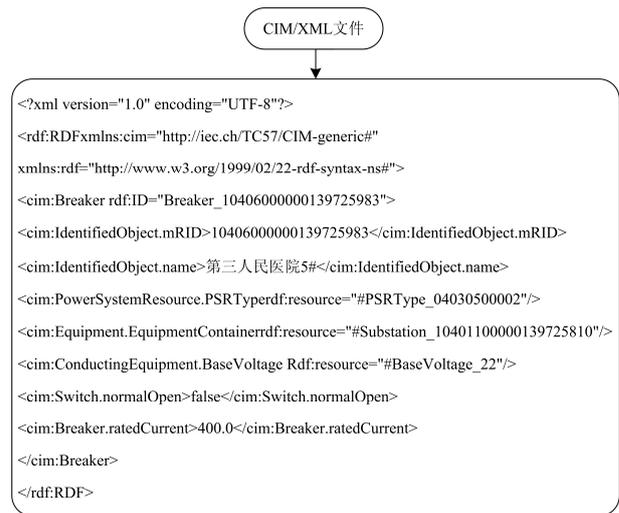


图5 XML 文件样例

Fig. 5 XML sample file

其中 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> 为 CIM/XML 文件序言, 其余为根元素。<rdf:RDFxmlns:cim="http://iec.ch/TC57/CIM-generic#"xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"> 为 CIM 模式名字空间及 RDF 语法的名字空间声明。

其余部分, Breaker 为资源, Switch.normalOpen, Breaker.ratedCurrent 等为该资源的属性。此外, 文档中还定义了属性的值并引用了模型中的其他资源, 如是否为常开开关属性值为 false, 开断电流属性值为 400, 以及引用了资源 "#Substation_10401100000139725810" 等。

基于 EXI 的配电网信息模型采用更高效的数据交换格式, 能提高模型导入导出的效率。交换数据的具体格式分为 EXI Header 与 EXI Body 两部分, 这两部分共同构成了 EXI Stream。EXI 事件序列很容易地映射到对应的 XML 文档的结构。文档语法是应用语法规则的入口, 定义用 SE(*) 定义元素的

qname; 而元素语法用于处理 EXI 的元素事件, 定义了属性的 qname。

根据 EXI 语法, 将 CIM/XML 文档进行编码, 通过编码事件流、预压缩及压缩三个步骤, 能得到基于 EXI 的 CIM 模型。

EXI Stream 采用一组特定的编码规则, 其步骤如下:

- 1) 获取下一个需要编码的事件数据;
- 2) 若该事件被判断为未处理则返回步骤 1);
- 3) 利用 EXI 语法确定事件代码;
- 4) 对事件内容进行编码;
- 5) 对比编码内容与原内容是否相符;
- 6) 重复, 直到文件结束事件(ED)编码完毕。

将图 5 中的 XML 文档编码为 EXI Stream 如下所示。XML 文档中的每一个资源、属性与描述项将以一系列事件流和相关数据来表示。每一个文档都从 SD 事件开始并以 ED 事件结束。XML 文档中元素起始标记为 SE, 元素结束标记表示为 EE, 元素的属性标记为 AT。属性的内容信息存储在临时数组中, 如图 6 所示。

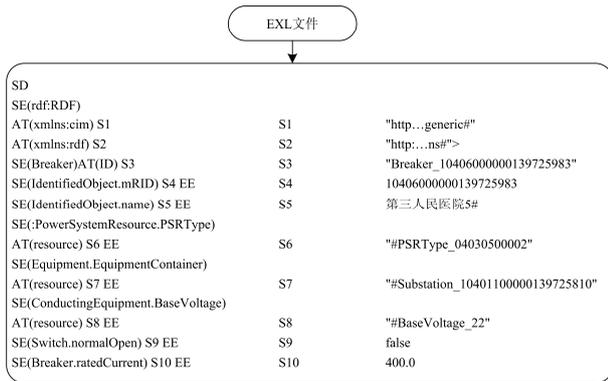


图 6 EXI 文件样例
Fig. 6 EXI sample file

3 配网信息模型交换格式效率对比

本文选取了某公司配电网 CIM/XML 文档, 大小为 6.135 MB 并将其复制, 得到大小分别为 12.458 MB, 62.287 MB, 124.573 MB, 199.136 MB 的 XML 文档, 一共 5 个文档。将其分别转换为 CIM/E 及 EXI 文档, 进行文件的解析。针对相同的模型, 分别对三种不同数据交换格式的性能进行 8 次测试, 取平均值并记录于表 2 和表 3, 其中 EXI 文件分为压缩格式和非压缩格式两种。并对 CIM/XML、CIM/E 和 EXI 三种数据交换格式的各项性能的测试结果进行分析。表 1 为测试环境。

测试数据如表 2 和表 3 所示。

表 1 测试环境

测试环境	配置
操作系统	Win7 64 位
CPU	I5-5200 2.2GHz 内存: 8G
服务器	Thinkpad X250
内核情况	服务器共 4 个 CPU

表 2 文件大小对比

序号	CIM/XML(MB)	CIM/E(MB)	EXI(MB)	
			非压缩	压缩
1	6.135	0.761	0.451	0.108
2	12.458	1.509	0.665	0.121
3	62.287	6.706	2.376	0.217
4	124.573	13.089	4.515	0.37
5	199.316	21.418	7.081	0.547

表 3 文件解析效率对比

序号	CIM/XML(s)	CIM/E(s)	EXI(s)非压缩	EXI(s)压缩
1	2.53	0.12	0.40	0.56
2	3.41	0.19	0.79	1.12
3	13.57	0.5	1.29	2.98
4	22.61	1.79	3.51	6.33
5	34.72	3.01	5.13	8.26

测试结果表明, 采用 EXI 格式进行数据交换能减少内存消耗, 极大地缩短了编码长度, 相比于 CIM/XML 格式, 在一定程度上提高了传输效率, 减少了解析时间。相比于 CIM/E 格式, 减少了文件大小。

在测试中 CIM/XML 的各项性能都不如其他数据交换格式。CIM/XML 单独描述了每个对象, 其根元素中包含了 XML 文档的实际内容, 这些内容必须包含在在起始和结束标记之中, 因此具有结构化及较为灵活的特点, 且能准确描述 CIM 中类的定义和类的关系, 但也导致了 CIM/XML 描述效率和传输效率不高, 存在大量冗余信息。CIM/XML 以属性和属性值为单位存储对象的内存数据结构, 所以解析效率也较低。

CIM/E 文件将相同类的所有对象放在一起, 且 CIM/E 的对象存储结构是整体化的, 其相对于 CIM/XML, 格式简单, 易于理解, 在一定程度上提高了解析效率^[16]。

EXI 将文本 XML 转换为高效的二进制表示, 因此文件大小小于 CIM/XML 与 CIM/E, 传输效率也有一定改善, 可以实现以较少数据量来传输 XML

数据的目的。其解析效率比 CIM/XML 高, 却不如 CIM/E 有优势。但 CIM/E 是针对电力系统内部的数据交换格式, 应用范围有局限性, 而 EXI 是专门针对 XML 的提升, 是一种非常高效的数据交换格式, 适用于各个行业, 更有利于电力系统内部与外部进行数据交换。在未来能源互联网的建设中, 有着更为广阔的前景。

4 结论

针对配电网信息模型数据交换格式 XML 在实际应用中存在大量冗余信息、效率不高且资源消耗大, 提出了一种采用高效 XML 数据交换格式 EXI 来替代 XML 的方法。在分析 XML 与 EXI 优缺点的基础上, 针对相同模型文件的 CIM/XML、CIM/E 及 EXI 格式的性能进行对比分析, 分别测试了文件大小与解析效率, 测试结果表明 EXI 较 XML 在解析效率上更具优势。因此 EXI 作为一种更为高效的数据交换格式, 较 CIM/E 更适用于电力系统内部与外部应用的数据交换, 对实现更高效的数据共享与信息交换及智能配电网的信息集成具有一定意义。

参考文献

- [1] 张心洁, 葛少云, 刘洪, 等. 智能配电网综合评估体系与方法[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 40-46.
ZHANG Xinjie, GE Shaoyun, LIU Hong, et al. Comprehensive assessment system and method of smart distribution grid[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 40-46.
- [2] 陶顺, 周双亚, 肖湘宁, 等. 基于 IEC61970 公共信息模型的电压凹陷分析[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 40-46.
TAO Shun, ZHOU Shuangya, XIAO Xiangning, et al. Analysis of area of vulnerability based on common information model in IEC61970[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 40-46.
- [3] 靳小龙, 穆云飞, 贾宏杰, 等. 面向最大供电能力提升的配电网主动重构策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(12): 137-147.
JIN Xiaolong, MU Yunfei, JIA Hongjie, et al. An active reconfiguration strategy for distribution network based on maximum power supply capability[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(12): 137-147.
- [4] 张建华, 曾博, 张玉莹, 等. 主动配电网规划关键问题与研究展望[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 13-23.
ZHANG Jianhua, ZENG Bo, ZHANG Yuying, et al. Key issues and research prospects of active distribution network planning[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 13-23.
- [5] 麻秀范, 丁宁, 李龙. 配电网重构中网络辐射形与连通性的判断[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 289-293.
MA Xiufan, DING Ning, LI Long. Judging radial and connectivity of network in distribution networks reconfiguration[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(8): 289-293.
- [6] 高金辉, 张兰杰. 一种配电网 Zbus 潮流算法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(1): 42-45.
GAO Jinhui, ZHANG Lanjie. A power flow algorithm for distribution network Zbus[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science), 2016, 44(1): 42-45.
- [7] 梁洁, 张振洋, 袁梦, 等. 磁耦合无线电能传输系统前端功率放大器设计[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2017, 45(1): 120-124.
LIANG Jie, ZHANG Zhenyang, YUAN Meng, et al. Design of power amplifier for magnetic coupling wireless power transmission system[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science), 2017, 45(1): 120-124.
- [8] DE VOS A, WIDERGREN S E, ZHU J. XML for CIM model exchange[C] // IEEE Power Engineering Society International Conference on Power Industry Computer Applications, 2001. Pica2001. Innovative Computing for Power-Electric Energy Meets the Market, May 20-24, 2001, Sydney, Australia: 31-37.
- [9] 金勇, 许巧燕, 尤钟晓. 用 CIM 与 XML 技术构造 EMS 统一信息交换模型[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(4): 45-47.
JIN Yong, XU Qiaoyan, YOU Zhongxiao. Constructing common information exchange model with CIM and XML for EMS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(4): 45-47.
- [10] 丁银, 丁明, 毕锐, 等. 微电网系统 CIM/XML 模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 37-42.
DING Yin, DING Ming, BI Rui, et al. Research on CIM/XML model of microgrid system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 37-42.
- [11] 罗庆, 吴良良, 寿挺, 等. 基于 CIM 的电网规划管理决策辅助系统[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(4): 111-117.
LUO Qing, WU Liangliang, SHOU Ting, et al. Decision support system for power grid planning and management based on CIM[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(4): 111-117.
- [12] 丁盛舟, 李永光, 杜鹏, 等. 基于 CIM/E 的电网调度系统数据质量优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 129-134.
DING Shengzhou, LI Yongguang, DU Peng, et al. Data

quality optimization method of power grid scheduling system based on CIM/E[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 129-134.

[13] 王勇, 於益军, 李峰, 等. 基于 CIM/E 全模型的扩展 PSS/E 潮流计算[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 135-140.
WANG Yong, YU Yijun, LI Feng, et al. An extended PSS/E power flow calculation based on CIM/E full model[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 135-140.

[14] 曹阳, 黄海峰, 梁成辉, 等. CIM/E 模式版本管理和映射方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(8): 149-154.
CAO Yang, HUANG Haifeng, LIANG Chenghui, et al. CIM/E schema of version management and mapping method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(8): 149-154.

[15] 辛耀中, 米为民, 蒋国栋, 等. 基于 CIM/E 的电网调度中心应用模型信息共享方案[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(8): 1-5.
XIN Yaozhong, MI Weimin, JIANG Guodong, et al. Scheme of application model information sharing between control centers based on CIM/E[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(8): 1-5.

[16] 米为民, 辛耀中, 蒋国栋, 等. 电网模型交换标准 CIM/E 和 CIM/XML 的比对分析[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 936-941.
MI Weimin, XIN Yaozhong, JIANG Guodong, et al. Comparative analysis of grid model exchange standard CIM/E and CIM/XML[J]. Power System Technology, 2013, 37(4): 936-941.

[17] TOLANI P M, HARITSA J R. XGrind: a query-friendly XML compressor[C] // International Conference on Data Engineering, February 26- March 1, 2002, San Jose, USA: 225-234.

[18] LIEFKE H, DAN S. XMill: an efficient compressor for XML data[C] // ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 2000, 29(2): 153-164.

[19] DOI Y, SATO Y, ISHIYAMA M, et al. XML-less EXI with code generation for integration of embedded devices in web based systems[C] // 3rd IEEE International Conference on the Internet of Things, October 24-26, 2012, Wuxi, China: 76-83.

[20] 谢晓燕, 王浩, 陈彦萍. 资源受限网络中高效 XML 交换的性能评估[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(6): 54-58.
XIE Xiaoyan, WANG Hao, CHEN Yanping. Performance evaluation of efficient XML interchange in resource-restricted network[J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(6): 54-58.

[21] KYUSAKOV R, ELIASSON J, DELSING J. Efficient structured data processing for web service enabled shop floor devices[C] // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 27-30, 2011, Gdansk, Poland: 1716-1721.

[22] 李建兴. 基于 EXI 的 Web Service 性能优化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
LI Jianxing. A research of EXI-based Web Service optimization approach[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.

收稿日期: 2017-08-02; 修回日期: 2017-09-08

作者简介:

何锡祺(1983—), 男, 硕士, 高工, 研究方向为电力调度自动化; E-mail: hexiqi@csg.cn

陶文伟(1973—), 男, 博士, 教高, 研究方向为电力调度自动化;

莫宇(1983—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为智能配电网。

(编辑 张爱琴)