

EMS 中公共信息模型导入/导出技术

董 越, 孙宏斌, 吴文传, 张伯明, 刘崇茹

(清华大学电机系, 北京市 100084)

摘要: 介绍了 EMS 接口标准化进程, 提出了采用实时数据库作为适配器, 通过 XML(可扩展置标语言)文件实现 EMS 的公共信息模型(CIM)数据交换的方案, 数据导入、导出 EMS 时, 由该适配器完成语法和语义的两步转换。文中解决了运用实时数据库承载 CIM 的关键技术问题, 如对多重关联的表达和对继承的处理。实现了由 CIM 的 UML 描述自动构造实时数据库, 并能将 XML 格式的 CIM 数据自动导入和导出 EMS。通过自操作试验验证了该方案的可行性和适应性。

关键词: 能量管理系统; 公共信息模型; 可扩展置标语言; 标准化; 实时数据库

中图分类号: TM73

0 引言

近年来, 能量管理系统(EMS)在我国电力系统调度管理部门迅速普及。在建设和使用 EMS 的过程中面临着一些困难: ①属于 EMS 的 SCADA 系统与 PAS 系统经常是由不同的厂家提供, 有大量的接口工作要做, EMS 与其他系统进行集成时也有类似情况。②随着我国电网规模的扩大和电网运营市场化的深入开展, 不同地区的电力部门间需要交换的数据, 在种类和内容上都将越来越多, 但交换数据的方法和格式不统一。③随着电力系统软件生产厂家所开发的软件产品种类越来越多, 规模越来越大, 同一厂家的不同产品间的配合和集成也会越来越困难。为了克服这些困难, 国调中心决定规范 EMS 及相关软件系统所提供的接口, 使之标准化^[1]。国调中心采纳了国际电工委员会(IEC)制定的 IEC 61970 系列标准, 称为能量管理系统应用程序接口(EMS-API)^[2]。该标准希望通过定义标准应用程序接口, 使得应用和系统能够不依赖于信息的内部表示而存取公共数据和交换信息。

公用信息模型(CIM)^[3]是整个 EMS-API 框架的一部分, 它规定了 EMS-API 的语义。CIM 是一个抽象模型, 用一种所有应用程序都使用的通用方法来描绘现实世界对象(例如变压器、量测等)^[4]。这个模型包含这些对象的类和属性, 以及它们之间的关系。

当前采用可扩展置标语言(XML)作为 EMS 间

交换电力系统数据的载体^[5]。使用 XML 可以将有结构的数据记录于文本文件中。使用基于资源描述框架(RDF)^[6]的 Schema 可以将 CIM 中的类及其属性和关系映射为 XML 中的结构。IEC 制定的国际标准采用基于 RDF Schema 的 XML 文件来描述 CIM 的数据, 用这种特定的 XML 文档作为载体, 实现不同 EMS、不同应用程序间的数据交换。

2000 年冬天, 第 1 次 CIM XML 互操作试验在美国佛罗里达州奥兰多举行^[7], 测试了不同厂家的应用程序, 通过 XML 文件, 交换基于 CIM 的电力系统数据。我国国调中心也在积极组织类似的试验。本文研究了利用实时数据库支持这样的 CIM 数据交换的技术方案。

1 支持 CIM 数据交换的实时数据库方案

1.1 扩展的 EMS 实时数据库

本文采用的实时数据库为清华大学自主开发的 melody 2.0^[8]。该数据库基于关系模型, 并进行了适当变化和扩展, 以满足 CIM 数据交换的要求。

该实时数据库的总体结构是: 在每一计算机节点上, 运行着一个实时数据库实例, 该实例包括若干个数据库, 而每个数据库包含若干张关系表。表的一行是一个记录, 表中不同的列代表着不同的属性或下标指针。表在物理结构上是 C 语言结构数组, 这为实时运行程序对该数据库的快速直接访问提供了方便。

实时数据库采用下标指针而非关系模型中的外键来描述表间的关联。设有两表中各一条记录间存在着指向关系, 则其中一条记录记载着另一记录在表中的位置, 即表对应的 C 语言结构数组的下标, 反之亦然。从而表达了双向的指向关系。称表中记

载这种指向关系的列为指针列。

在关系模型中,表是二维的,表中的列没有厚度,或者认为厚度都是 1。而在该实时数据库中,表可能是三维的。一条记录的某个属性可能具有多个属性值,属性值的最大允许个数称为该列的厚度。见图 1。

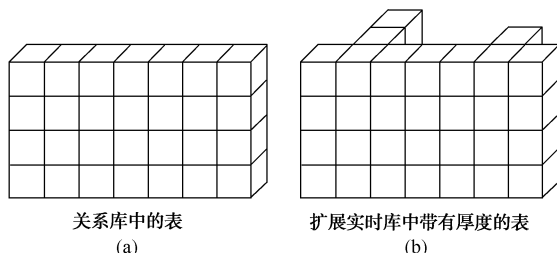


图 1 关系库与扩展实时数据库表结构的差异
Fig. 1 Difference of the table structure between relational and extended real-time database

1.2 CIM 数据交换的具体方案

本文采用 CIM 实时数据库作为适配器,将 XML 格式的 CIM 数据解读并载入 EMS,并将系统内的数据转换为 XML 格式的 CIM 数据。图 2 描述了其实现机制。

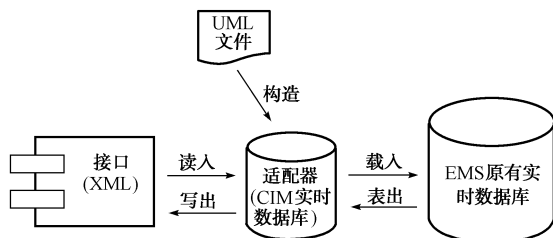


图 2 CIM 数据导入/导出的实现机制
Fig. 2 The method of importing and exporting CIM data

首先,根据 CIM 构造 CIM 实时数据库。在国际标准中,CIM 是用统一建模语言(UML)^[9,10]描述的。构造程序解读 UML 文件,根据 CIM 生成 CIM 实时数据库结构。

数据导入的过程是:读入程序从 XML 文件中提取出 CIM 数据,并将其写入能表达 CIM 数据的 CIM 实时数据库。进而,载入程序将 CIM 实时数据库中按 CIM 语义组织的数据转化为系统内部数据,写入 EMS 原有实时库中。原有实时库中有了正确导入的数据,EMS 就可以运行。

数据导出的过程是:表出程序在原有实时数据库中选择需要导出的数据,将其变换,并写到 CIM 实时数据库中。写出程序根据 CIM 实时数据库中的数据,生成 XML 文件,从而完成了 CIM 数据的导出。

1.3 采用该方案的理由

本文采用该导入、导出机制,选用实时数据库作为适配器连接 XML 交换文件和原有 EMS。采用该方案的主要理由有以下 3 点:

a. 实时数据库具有快速响应能力。实时数据库中的数据存储在内存中,数据的存取速度很快。实时数据库采用数组下标而非主键对数据库中的记录进行定位,采用下标指针而非外键表达数据间的关联,使得查找、存取等操作十分迅速。采用实时数据库支持 CIM 数据的导入、导出,保证了系统的实时运行。

b. 实时数据库易于表达 CIM。CIM 是面向对象的模型,在商用关系型数据库中难以表达。由于实时数据库是自主开发的数据库,不必拘泥于关系模型。可以通过适当的改进和封装,使其能够很好地支持面向对象的 CIM。

c. 该机制适用于基于 CIM 语义的多种接口。当前的标准接口是采用 XML 文件作为 CIM 数据的载体来交换数据,而未来可能采用 CORBA, EJB, DCOM 等分布式对象计算技术,用标准化组件接口实现系统及应用程序间数据交换。由于这些接口方式都是基于 CIM 语义的,而 CIM 实时数据库也是基于 CIM 语义的,因此接口和 CIM 实时数据库之间的读入和写出程序是简单的,而 CIM 实时数据库与原有实时数据库之间的载入和表出程序不会因接口方式的变动而变动。

2 实时数据库承载 CIM 的关键技术

CIM 是面向对象的模型,而实时数据库不是面向对象的。必须对实时数据库进行适当的改进、扩展和封装,才能使它具有承载 CIM 的能力。

CIM 是用 UML 描述的。描述 CIM 用到了 UML 的部分概念如包、类、对象、属性、关联、继承等。为用实时数据库承载 CIM,本文将包映射为实时数据库中的库;类映射为实时数据库中的表;对象作为类的具体实现,映射为记录,即表中的一行;类的属性映射为表的属性列;类之间的关联映射为表的指针列;将继承处理为对表的扩充;用基类对应的表中的属性列和指针列扩充派生类对应的表。如表 1 所示。

2.1 对属性的数据类型处理

类的属性映射为表的属性列。需要确定如何将类的属性的数据类型映射为表的属性列的数据类型。实时数据库提供了整型(integer)、浮点型(float)等几种基本的数据类型。而在 CIM 的 UML 文件描述中,属性的数据类型繁多,分以下 2 种情况讨论如何在实时数据库中表达:

表 1 CIM 的 UML 描述与实时数据库结构的对照表
Table 1 The parallel table of UML description of CIM and real-time database structure

CIM 的 UML 描述	实时数据库结构
包	数据库
类	表
对象	记录
类的属性	属性列
类间的关联	指针列
类的继承	表的扩充

a. 当类的属性的数据类型是 CIM 自定义的枚举时,如燃料类型(FuelType)、母线配置类型(BusbarConfiguration)等。每个枚举中顺序列举了可能的枚举值。我们将枚举映射为基本数据类型 Integer,将枚举值按顺序映射为整数值。

b. 当类的属性的数据类型是 CIM 自定义的其他数据类型时,如电压(Voltage)、变压器挡位(TapStep)等。这些数据类型通常由两部分组成:数据的值(value)和数据的测量单位(units)。数据的值可以用实时数据库中的基本数据类型承载,而数据的测量单位成为了语义上的约定。

2.2 在表达关联时引入列的厚度这一概念

在商用关系数据库中,通常用外键来表达关联,而在实时数据库中,采用下标指针来表达关联。用此种方法表达关联,数据的查找、存取速度很快。

在原有实时数据库中,用此种方法表达单对单的关联,十分有效。当表达单对多的关联时,通常只存储一个方向的指向关系。当表达多对多的关联时,比较困难,通常回避。在 CIM 实时数据库中,为严格遵循 CIM,必须解决这一问题。

在实时数据库中,表的列具有厚度(见图 1)。在表达关联时引入列的厚度。为了在 CIM 实时数据库中表达单对多和多对多的关联,如果某条记录可能指向多条记录,就将该记录所在表的相应指针列加厚,使其厚度不小于需要存储的下标指针的个数。在列的不同的层上存储不同的下标指针。引入列的厚度后,可以表达单对多、多对多等各种关联,并且关联的两个方向的指向关系都可以表达出来。

2.3 继承的实现方法

类似于 C++ 语言的底层实现机制^[11],有 2 种方法可以在 CIM 实时数据库中实现继承:方法一,将派生类固有的属性和关联存储在派生类对应的表中,而将派生类中从基类继承的属性和关联存储在基类对应的表中,并建立两处存储间的联系;方法二,用基类对应的表中的属性列和指针列扩充派生类对应的表,把派生类的固有属性和关联、派生类从基类中继承的属性和关联都存储在派生类对应的表中。两种方法各有利弊,分析如下。

从维护表结构的繁简考虑:如果基类的定义发生了改变,如增加了一个属性,当采用方法一时,只需修改基类对应的表的定义,易于维护;而当采用方法二时,需要修改基类及所有派生类对应的表的定义,难于维护。

从查找数据的方便程度考虑:如果要查找某派生类的对象继承的属性和关联,当采用方法一时,需要先在派生类对应表中查到其在基类对应表中的位置,再从基表中取得数据,当属性或关系是间接继承时,更为繁琐;而当采用方法二时,在派生类对应的表中即可直接取得数据,很方便。

从表达关联的难易考虑:与某基类的关联,可能由其派生类的对象实现。因此指针列不仅要指出指向的记录在表中的下标,还要指出是哪张表中的下标。可采用对表编号的方法来实现。如果采用方法一,也可以都指向基类对应的表中派生类记录的存储,则需提供从派生类记录在基类对应表中的存储找到其在派生类对应表中的存储方法,因此并未使关联的表达变得容易。采用方法一和方法二,表达关联的难易程度相近。

CIM 实时数据库的结构可以根据 UML 文件自动生成,因此维护表结构的难易不必过多考虑。而数据库访问的速度和难易程度是重要的。经综合考虑,CIM 实时数据库选用方法二来实现继承。图 3 示意了在 CIM 实时数据库中表达关联和继承。

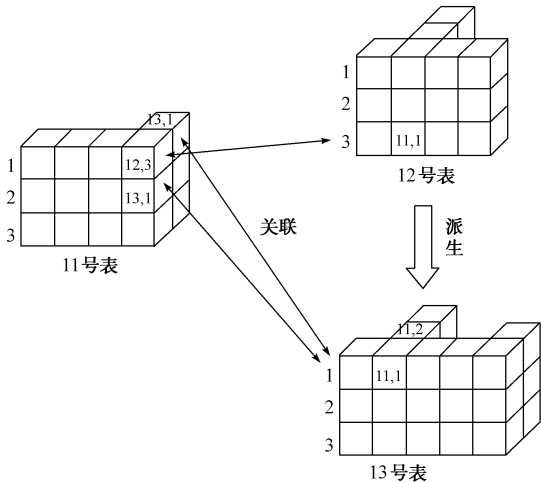


图 3 CIM 实时数据库中关联和继承的表达
Fig. 3 The expression of association and inheritance in CIM real-time database

3 系统实现

3.1 由 CIM 的 UML 语言描述实时数据库结构

CIM 包含十余个包、数百个类,如果靠人工书写相应的实时数据库结构定义文件,工程浩繁,容易

出错,也难以适应 CIM 的版本变化。因此考虑自动生成实时数据库结构。CIM 用 UML 语言描述,存于后缀为 mdl 的文件中。编程解读 mdl 文件,提取所需信息,以生成实时数据库结构定义文件。包括如下工作:

- a. 读取 CIM 定义的数据类型,并将它们映射为基本数据类型;
- b. 读取 CIM 定义的枚举,并将枚举值映射为整数;
- c. 读取 CIM 定义的包和类,以及它们之间的包含关系,对类进行编号;
- d. 读取类之间的继承关系,得到每个类直接和间接的所有的基类和所有的派生类;
- e. 读取类的固有属性,读取类间的固有关联,并根据继承关系进行扩充;
- f. 生成实时数据库结构定义文件;
- g. 生成实时数据库实例。

根据上述流程编写的程序,已经完成了 cimu09a,cim10-010721 等多种版本的 CIM 实时数据库结构的自动生成工作。程序对不同 CIM 版本都能适应,CIM 版本变化时,无需修改程序。

3.2 XML 格式数据的读入与写出

有两个通用的分析器 DOM(文档对象模型)和 SAX(简单应用程序接口)能解读 XML 文档^[12],提供应用程序与 XML 文档间的桥梁。但 DOM 在解读大文件时,对系统资源消耗过大,而 SAX 又过于简单,所完成的工作很少。我们没有采用这些通用工具,而是针对 CIM 的 XML 文档的特定格式,编写了特定的分析器。由于是读取特定格式的 XML 文档,所以分析器的编写比较简单,而它所提供的功能又能充分满足要求。

这一分析器吸取了 SAX 的基于事件(events-based)的机制,当解读过程中发现特定内容时,就发送事件来激发事件处理器处理。事件类型有:读到对象、读到属性、读到关系等,发送的不同类型的事件带有不同类型的参数。如读到对象这一事件的参数有对象所属类的名称、对象的 XML 标识等。事件被事件处理器接受后,进行校核等处理,写入实时数据库。

导出实时数据库中 CIM 数据的过程,就是遍历实时库的过程。遍历实时数据库中 CIM 对应的每一张表,遍历表中每一条记录,遍历记录的每一个属性和关系。在遍历过程中不断将库内容以特定的格式写入文件中,即可生成 CIM 数据的 XML 文件。

目前已经实现了 ABB-40.9b,CIM-60-esca,smallmodel-001218d 等试验系统基于 XML 的

CIM 数据的自导入、导出试验。表 2 给出了导入、导出的 CPU 时间,采用的计算机为 P III 500 MHz,内存为 256 MB,操作系统为 Microsoft Windows 2000 Server。

表 2 CIM 数据导入、导出 CPU 时间
Table 2 CPU time of CIM data import/export

试验系统名	XML 文件大小/KB	导入耗时/s	导出耗时/s
smallmodel-001218d	22	1	1
CIM-60-esca	846	6	4
ABB-40.9b	1 700	11	6

4 结语

CIM 用一种标准方法来描绘电力系统,以利于应用程序间数据交换。本文通过对现有 EMS 实时数据库的扩充和封装,使之支持 CIM。从而实现由 CIM 的 UML 描述自动构造 CIM 实时数据库,实现将 XML 格式的 CIM 数据导入和导出 EMS。由于采用了实时数据库而非商用关系库作为适配器,并较好地解决了其中的关键技术,使得程序效率高、稳定、适应性好。

采用标准接口,将使应用于电力系统控制管理的软件的集成变得容易。随着 EMS-API 标准化工作的深入开展,将实现 EMS 在应用软件层次上的开放性。可以预见,未来的新一代 EMS 的一个重要特征即是支持以 CIM 为基础的标准的 EMS-API,即实现应用软件的“即插即用”,使多家开发商利用自己的特长,一起开发大型 EMS 成为可能。

参 考 文 献

- 1 刘国定,辛耀中,李 泽(Liu Guoding, Xin Yaozhong, Li Ze).我国电力系统控制及其通信标准化工作概况(Survey on the Standard for Power System Control and Associated Communication in China).电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),2000,24(14):59~63
- 2 IEC 61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 1: CCAPI Guidelines Preliminary Draft. 1999
- 3 IEC 61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 301: Common Information Model (CIM) Base Draft Revision 5. 1999
- 4 Massoud Amin, Stephen T Lee. Evolving Energy Enterprise: Possible Rode Ahead and Challenges for R&D. In: ICEE 2001 Proceedings of International Conference on Electrical Engineering, 2001(1): 64~66
- 5 IEC 61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 501: CIM RDF Schema Draft Revision 2. 1999
- 6 W3C. Resource Description Framework(RDF)Model and Syntax Specification. <http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax->

19990222, 1999

- 7 Terrence L Saxton. CIM XML Interoperability Test 1 Final Report. Xtensible Solutions Inc, 2001
- 8 吴文传, 张伯明, 徐春晖 (Wu Wenchuan, Zhang Boming, Xu Chunhui). 调度自动化系统实时数据库模型的研究与实现 (Study and Implementation of Real Time Database Management System (RTDBMS) Model Applied in EMS). 电网技术 (Power System Technology), 2001, 25 (9): 28~32
- 9 Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson. UML 用户指南 (The Unified Modeling Language User Guide). 邵维忠, 麻志毅, 张文娟, 等译 (Shao Weizhong, Ma Zhiyi, Zhang Wenjuan, et al Trans). 北京: 机械工业出版社 (Beijing: China Machine Press), 2001. 9~21
- 10 Lee Chan-Joo, Shin Joong-Rin, Park Jong-Bae, et al. An UML Application to Power System Software Design: Development of Marginal Loss Factor Calculation Package. In: ICEE 2001 Proceedings of International Conference on

Electrical Engineering. 2001

- 11 Lippman, Stanley B. 深度探索C++对象模型 (Inside the C++ Object Model). 侯捷译 (Hou Jie, Trans). 武汉: 华中科技大学出版社 (Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press), 2001. 6~13, 37~57
- 12 XML中国论坛 (XML Forum of China). XML 实用进阶教程 (A Step by Step Course of XML). 北京: 清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 2001. 232~235

董越 (1977—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为 EMS 的标准化和组件化. E-mail: dongyue99@mails.tsinghua.edu.cn

孙宏斌 (1969—), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统调度自动化. E-mail: shb@mail.eea.tsinghua.edu.cn

吴文传 (1973—), 男, 讲师, 主要研究方向为电力系统调度自动化。

IMPORT/EXPORT TECHNIQUE BASED ON COMMON INFORMATION MODEL (CIM) IN EMS

Dong Yue, Sun Hongbin, Zhang Boming, Wu Wenchuan, Liu Chongru
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The standardization of the application program interface (API) of the energy management system (EMS) is described. Using real-time database as an adapter and with extended marked language (XML), a scheme is proposed for the implementation of data exchange for a commercial EMS based on common information model (CIM). This adapter converts data in two steps: semantic translation and syntax translation. The crucial technical problems of using real-time database to support the CIM have been solved, such as, the representation of the multiplicity of association and the handling of inheritance. The automatic generation of real-time database definition according to CIM based on unified model language (UML) is implemented. The CIM data in XML format can be automatically imported to and exported from a commercial EMS. The feasibility and compatibility of this method is validated through self-operation.

This project is supported by National Key Basic Research Special Fund of China (No. G1998020322) and National Natural Science Foundation of China (No. 50107005).

Key words: EMS; CIM; XML; standardization; real-time database