

基于 IEC 61970 标准的 EMS/DTS 一体化系统的设计与开发

吴文传, 孙宏斌, 张伯明, 王志南, 严亚勤, 邵立冬, 刘崇茹, 汪 皓

(清华大学电机系“电力系统及发电设备控制和仿真”国家重点实验室, 北京市 100084)

摘要: 在目前的技术条件下, 探讨了基于 IEC 61970 标准的能量管理系统/调度员培训系统(EMS/DTS)需要解决的关键技术问题, 包括数据库平台、公共信息模型(CIM)电网模型的维护、应用软件的组件化封装和跨平台的异构系统的实现方法等。开发了由后台数据库和软总线组成的异构数据平台。其中, 后台数据库采用 3 种数据管理模式用于数据的存储、检索与处理, 既保证了开放性又提高了系统效率。软总线则基于实时公共对象请求代理体系结构(CORBA)的中间件基础, 全面支持组件接口规范(CIS)标准。还开发了一套符合 CIM 特点的图模一体化系统, 同时也能支持离线规划功能。对于应用软件不同模块的功能和应用特点, 采取了不同的封装策略, 测试表明这种策略是合理、实用的。

关键词: IEC 61970; 能量管理系统(EMS); 调度员培训系统(DTS); 跨平台; 组件技术

中图分类号: TM73; TP274

0 引言

随着大电网的互联和电力市场化改革、电网规模的迅速扩大和调度体制的变革, 调度自动化系统在控制中心的作用越来越重要。电网调度自动化系统的内涵和外延正在不断扩展^[1]。能量管理系统/调度员培训系统(EMS/DTS)一体化系统作为调度自动化的辅助决策和培训仿真的核心系统之一, 它的模型和应用功能也变得更加丰富和高级。一方面, EMS/DTS 的不同应用模块可能由不同厂商提供, 不同模块之间不仅需要图形、模型数据的共享和融合, 而且要求实现某种程度的互操作; 另一方面, EMS/DTS 生成的图形、模型数据也是电力企业的核心信息, 其他部门和系统也有共享的需求。

标准化一直是信息系统的努力方向, 也是 EMS/DTS 发展的必然之路。调度自动化系统的标准化从整体来说, 包含 4 个层次的问题: 硬件系统标准化、操作系统标准化、软件支持平台标准化和应用软件接口标准化。为了实现应用软件接口标准化, IEC 第 57 技术委员会 13 工作组推出了应用软件系统接口的系列标准 IEC 61970。其核心内容有: 公用信息模型(CIM), 描述电网模型的公用逻辑视图^[2]; 组件接口规范(CIS), 定义了访问电网的 CIM 的组件化接口规范^[2]; 图形交换方案草案^[3], 定义了采用基于 XML 的 SVG 图形格式, 用于调度自动化系统的图形交换。

开发 IEC 61970 标准的 EMS/DTS 主要涉及软件支持平台和应用软件接口标准化的工作。包括: 如何实现基于 CIM/CIS 的数据平台; 如何产生和维护符合 CIM 标准的电网模型; 如何实现对原有 EMS/DTS 应用软件封装成组件, 使之可以嵌入新平台中; 如何实现跨平台的异构系统。

1 基于 CIM/CIS 的数据平台

数据平台是由数据存储、检索与处理的后台数据库以及实现不同组件或应用程序间的相互通信、协调与控制的软总线组成的基础平台。它是 EMS/DTS 支撑平台的核心。

1.1 软总线的支持技术——组件技术与 CORBA

软总线是新系统中处理各个组件间相互通信、协调与控制的核心, 任何符合一定标准的应用程序都可以通过适配器以插件方式获得软总线的支持。由于缺乏相关的国家标准或行业标准, 各个厂商的软总线无法实现直接互联。在多个系统或应用的整合过程中, 需要在数据模型和接口之间建立复杂的多对多映射, 给系统互联带来了很大的困难。

新一代的软总线基于分布式对象计算的中间件技术, 并采用标准的 CIS。目前, 采用公共对象请求代理体系结构(CORBA)作为实现 CIS 的中间件已经成为共识, 问题的关键是 CORBA 的效率能否保证调度自动化系统的实时性要求和采用何种运行模式。为此, 我们采用了美国华盛顿大学的实时 CORBA 平台——ACE/TAO 作为开发平台, 并做了相关性能测试。测试环境为 100 Mbit/s 以太网,

服务器端和客户端分别是 Intel P-M 1.3 GHz, 512 MB RAM + Redhat Linux 9.0 和 Intel P III 500 MHz, 384 MB RAM + Windows Server 2003。

ACE/TAO 的测试结果如下:

1) 事件发送: 1 600 次/s。

2) 采用 CORBA 进行数据传输: 每次获取 1 万个 double(8 字节)数据, 折合为 7.7 MB/s; 每次获取 10 万个 double(8 字节)数据, 折合为 8.5 MB/s。

3) 采用 Socket 进行数据传输: 每次获取 1 万个 double(8 字节)数据, 折合为 10.1 MB/s; 每次获取 10 万个 double(8 字节)数据, 折合为 11.2 MB/s。

可以看出, 该实时 CORBA 效率还是很高的。相关理论分析和实践也证明了基于 CORBA 的程序在处理简单类型数据时与直接使用基于 Socket 的 TCP/UDP 的网络程序效率相差很小, 而在建立连接、复杂对象定位和转化过程中则要花费一些额外代价。只要在应用时尽量简化数据类型和结合实时数据库技术(见 1.2.2 节), 在 EMS/DTS 这种准实时的应用中, 大部分模块可以直接采用 CORBA。

1.2 后台数据库平台

1.2.1 CIM 数据模型分析及与实时数据库的映射

原有实时数据库主要支持层次和关系 2 种模式, 而 CIM 是一种完全采用面向对象方法描述的数据模式, 它要求 EMS 的 DBMS 能方便、直观地表达类及类间的关系。

显然, 面向对象的数据库是支持 CIM 的最好方式^[4]。但是, 纯面向对象的实时数据库技术并没有完全成熟, 目前还没有在调度自动化中成功应用的案例。本文基于经济和技术的综合考虑, 认为支持 CIM 的实时数据库可采用扩展对象数据库模式, 即在关系型数据库的基础上增加面向对象的基本模型。这种数据库应重点支持如下特性:

1) 能直观、方便地表达类和类(对象)之间的各种关系, 例如联系、聚合、继承等; 能直接、快速地存取对象数据, 但不一定支持类的方法(函数)。

2) 通过相关的数据库技术, 例如内存映射技术、索引、簇集、分区等, 客户能高效、快速地访问数据库; 持久性标识、集合、引用等概念的引入, 使得对象的访问及对象之间的遍历更加快速、高效。

3) 提供多种语言的调用接口, 例如: C++, Java 等语言访问数据库的应用程序接口(API); 通过相关技术应用可直接存取数据库; 能够支持多用户并发访问及事务处理。

1.2.2 数据库的运行模式和性能

实时性是调度自动化系统最基本的技术指标之一, 由于采用了 CORBA 作为通信中间件, 其实时性

受到了一定影响。为此, 在系统中采用以下 3 种数据库管理和访问模式, 以提高系统的实时性。

1) 基于软总线的客户/服务器模式。这种模式下, 数据库作为数据库服务对象注册到软总线中, 客户程序通过基于 CORBA 的 CIS 接口及其扩展访问数据库, 即对象请求代理(ORB)方式。ORB 方式通过扩大组件粒度, 减少远程进程调用(RPC)频度来提高效率。访问速率可以保证每秒上万次。这种方式是系统的核心框架。

2) 本地化模式。引入了本地实时内存数据库组件, 各本地实时数据库与服务器端实时数据库的同步由 CORBA 的事件服务完成, 实时数据的访问仅对本地实时数据库进行。这种模式的访问跨越了数据库服务对象, 应用程序直接加载所需的数据库模式即数据库字典, 通过 API 检索访问数据库数据。该模式可以达到每秒几十万次。主要应用于需要周期自动启动的实时性高的应用, 例如状态估计、静态安全分析扫描等。

3) 物理地址映射模式。应用软件越过数据库的逻辑层直达物理层, 即把内存数据库中存储数据的内存地址直接映射到应用程序的数据空间中。直接物理地址映射模式与普通内存访问速度一致, 它使得应用程序和数据库紧密耦合在一起, 数据库模式的改变会导致应用程序的重新编译。这种模式不宜过多采用, 一般应用于实时性要求很强且数据处理量很大的场合, 例如 DTS 的动态仿真等。

这是一种符合实际需求、能保证系统开放性的折中做法。笔者认为基于 IEC 61970 的系统并不等于系统的每个内部细节都要符合 IEC 61970, 现阶段只要满足以下 2 点要求即可: ①系统的公共数据模型完全满足 CIM 标准, 并且具备完整、统一的数据平台; ②在系统任何节点, 应用都可以通过 CIS 接口访问到及时、完整的数据模型。

1.3 软总线的组件接口规范——CIS 的实现

文献[2]给出了 CIS 的详细规范, 其中最重要、也是相对比较成熟的是 Part 403 的通用数据存取(GDA)和 Part 404 的高速数据存取(HSDA)。本文对 GDA 和 HSDA 接口已完全实现。下面介绍在互操作实验中遇到的几个问题。

1) 效率问题。不同厂家实现的 CIS 效率相差很大, 这主要是由 CIM 数据库的库结构和检索方式所决定的。

2) ResourceID 的 container 不一致问题。有些厂家的 CIM 数据库中的 container 的值并不统一。根据标准的定义, container 应该一致, 但不同厂家服务器端的 container 可以不同。

3)对象的统一资源标识符(URI)命名规则。目前各厂家对对象的 URI 命名规则尚未形成统一的意见,建议客户端遵循服务器端的命名规则,即客户端中对象的 URI 从服务器端获取。

4)get_extent_values 的功能及其查询对象的范围。由于关联是对象的一种特殊属性,从性能方面考虑,建议通过 get_extent_values 获取关联,且关联应该是可以双向的。另外,由于 CIM 采用面向对象的建模方法,根据面向对象的规则,当查询某父类表时,应将该类的所有子类的记录包含进来。

5)表记录的清除与更新。根据现有标准描述,要清除一张表需先从服务器端获取该表的所有记录,然后再要求服务器端清除这些记录,整个过程烦琐且效率低下。建议通过在 DifferenceModel 中填充类的 ResourceID 的方式来清除一张表。另外,按现有标准的定义,删除的最小单位是字段,但从数据完整性方面考虑,删除的最小单位是记录较为合适。另外,现有标准规定更新或删除记录时应向服务器端提供该记录更新前的值,这使得更新或删除记录效率低下且过程烦琐。从性能方面考虑,建议更新或删除记录时只提供该记录的 ResourceID,而不提供该记录改变前的值。

6)HSDA 中 Node 的 label 定义问题。从可读性角度出发,label 可取记录的名字,即 Naming.name 字段的值。但由于 label 的定义要求具有惟一性,而西门子模型或实际系统中有些设备是重名的,故采用 Naming.name 字段的值无法满足惟一性的要求。建议 label 采用对象的 URI,这样可保证惟一性,而可读性可由对象 URI 的定义规则来保证。

利用本文开发的 CIS,对西门子 100 节点和某地区 341 节点系统进行潮流计算,整个计算时间包括通过 CIS 接口读取数据和潮流计算,计算性能见表 1。可以看出,只要合理应用 CIS 接口,像潮流计算这种研究型应用是可以达到实用化的。

表 1 基于潮流计算的性能
Table 1 Performance of power flow calculation based on CIS

系统	本机时间/s	网络时间/s
西门子 100 节点	<0.6	<1.0
某地区 341 节点	<1.5	<3.0

1.4 数据平台的整体构架

数据平台实质上是一个分布式对象计算环境,它由后台数据库、软总线 and 标准化接口组成。其整体构架如图 1 所示。

由图 1 可以看出,本文在后台数据库中引入了商用关系库、CIM 实时库和内部模型实时库 3 类数据库。其中:商用关系库存储数据量庞大的历史和

报警数据;CIM 实时数据库存储 CIM 的非历史和时间序列的数据,特别要指出的是,为了提高效率,本文提供了一种本地化的 CIS 接口,应用程序自己加载部分数据库字典,“跨越”数据库服务程序直接访问本地数据库数据;内部模型实时库存储 CIM 实时数据库中高频度使用的一部分同步数据,这种数据库通过内存映射到应用程序内部实现数据访问,并通过 CORBA 的事件服务实现与 CIM 数据库的同步,具有较高的效率。

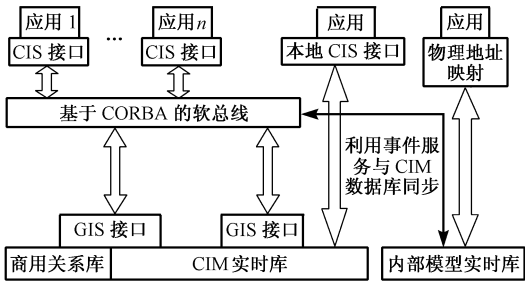


图 1 数据平台的整体构架
Fig. 1 A skeleton of data platform

采用这种模式有以下 2 个优点:

1)节省内存的使用。CIM 数据库是基于内存的,不适合存储数据量庞大的时间序列数据,因而引入关系数据库。

2)本地接口和物理地址映射与软总线接口相结合,保证了系统效率和开放性。

可以看出,基于 CIM/CIS 和 CORBA 的软总线是新系统的主体构架,但不是全部。传统系统的一些优势也得到了保留。

2 CIM 电网模型的维护与生成系统

建立电网模型的方法可以分为两类:一类是面向数据库的数据编辑,这类方法导致维护人员直接面向抽象数据,不直观、工作强度大,且出错不易检查;另一类是图模一体化技术,该技术使维护人员利用形象的主接线图生成模型,实现图上自动生成网络拓扑、动态数据和数据库记录等功能。

CIM 定义了完整的描述电网的对象模型。本文针对 CIM 电网模型的特点,开发了支持 CIM 的图模一体化系统^[5],关键技术问题如下:

1)作为图模维护工具,设计一种图形模型以支持 CIM。

2)如何保证模型的可扩充性,以适应 CIM 未来的修改和扩充。

3)如何保证系统自动可靠、高效地生成电网拓扑,且避免产生隐蔽错误。

4)如何支持离线规划功能。

详细实现参见文献[5]。

3 通用的图形交互格式

图形系统交换格式方案草稿是 CCAPI 关于图形系统交换格式方案草稿。该草稿根据应用的出发点不同,提出了 2 种图形数据交换方式:图形中心(graphics centric)和域中心(domain centric)。本文采用图形中心的数据交换方式,并进行了初步应用。如图 2 所示,可缩放矢量图形(SVG)生成工具利用 EMS 的厂站接线图和数据库的实时数据,形成包含动态数据和设备状态的 SVG 文件,利用 Adobe SVG Viewer 插件和 IE 就可以浏览计算结果。该工具的生成速度很快,一个中等规模的 220 kV 变电站的主接线图和状态估计结果的 SVG 文件平均 0.2 s 以内就可生成。

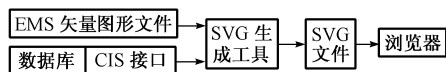


图 2 SVG 生成系统示意

Fig. 2 A skeleton of SVG generating tool

4 EMS/DTS 应用软件的封装与组件化

由于已经经过大量实际应用的考验,原有程序成熟、可靠,所以不宜对已有程序进行彻底的改造,而应采用粗粒度的封装,同时也保障了应用系统的实时性。具体说来,就是以大的应用功能模块为单位(如网络拓扑组件、状态估计组件等)。因此,应用软件的主要改造工作集中在实现程序与原实时数据库的剥离,以及利用 CIS 接口实现应用程序的数据输入和输出的封装。根据功能的应用模式和效率的要求,具体的模块采用了不同的改造策略。

4.1 EMS 应用软件的改造

对于周期循环启动和实时性要求很高的应用,本文采用了本地化的 CIS 接口封装。这类应用的一个特点是基于服务器运行,所以本地化接口是适合的。这种接口的外部规范完全满足 CIS,当 CORBA 的效率得到改善后或在特殊的应用场合,可以方便地升级到基于 CORBA 的 CIS 接口,而无需修改应用程序。这类应用有拓扑分析、状态估计和静态安全分析等。

对于人工触发启动的、研究模式的应用,则可采用基于 CORBA 的 CIS 接口。该类应用有调度员潮流、最优潮流、暂态稳定分析等。

4.2 DTS 核心软件的改造

DTS 核心程序的运行模式相对于 SCADA/EMS 是比较特殊的,主要表现在以下几个方面:

1)对于独立的 DTS,除了启动时需要加载初始

教案外,与外部系统的数据交互很少,基本上是一种封闭的内部模拟程序。

2)核心程序的运行效率要求很高,并且是连续运行,图形界面需要快速、高频率地获取大量的 DTS 计算结果数据。

3)对于联网型 DTS,不同调度中心的 DTS 核心程序之间需要频繁地进行数据交换。

针对以上特点,我们改造了 DTS 核心程序,如图 3 所示。

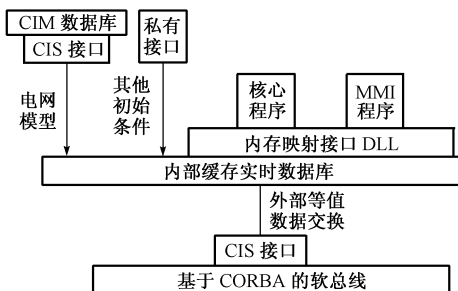


图 3 DTS 系统封装示意

Fig. 3 A wrapper for DTS

为了保证效率,DTS 的核心程序和高频率刷新的界面基于物理地址映射的内存数据库。为了降低耦合性,把内存映射接口生成一个独立的动态链接库,使数据库模式改变后只需重新编译该部分函数库。对于联网型 DTS,则提供基于 CORBA 的 CIS 接口,实现与外部 DTS 的互联,由于这种交换的模型数据采用等值模型,通过模型的拆分和合并^[6],通信数据量不大,CIS 接口基本可以满足实际需求。

5 跨平台实现策略

基于现实和技术发展的需要,新一代调度自动化系统必然是一种跨平台的异构系统。其中跨操作系统程序设计难度较大,需要考虑不同软、硬件平台的众多差异:数据对齐问题;CPU 高低字节问题;文件名称与文本文件兼容问题;数据结构兼容问题;图形函数库兼容问题;进程、线程的同步以及安全和通信的兼容问题。下面对几个关键技术做一介绍。

5.1 图形系统的跨平台实现方法

在图形系统的总体设计中,我们采用分层式体系结构(layered architecture),即按层组织软件的一种软件体系结构,其中每层的软件建立在低一层的软件层上。位于同一层上的诸多软件系统或子系统具有同等的通用度,低层的软件比高层的软件更具有通用性。按功能需求,整个图形平台划分为 5 层:操作系统层(Windows/UNIX),代码兼容中间层,图形和数据通用构件层,图形编辑器/图形显示器,EMS/DTS 高级应用。其中代码兼容中间层是实现

跨平台图形系统的关键之一,本系统采用C++类库是实现这个中间层、尤其是图形用户接口(GUI)系统中间层的核心。

5.2 实时数据库跨平台实现

实时数据库的跨平台解决方案是整个系统实现跨平台的核心内容之一。要做到不同平台上的统一实现,关键是要解决内存数据库的实现机制和跨平台的通信等问题。为此,本文重点解决了以下问题:

1)数据对齐问题。不同 CPU 系统数据对齐方式的不确定性直接影响实时数据库的数据存储和网络传输的兼容性。

2)CPU 高低字节问题。CPU 对数据的安排和理解有两种方式,一种是从低字节到高字节,另一种是从高字节到低字节。

3)共享内存的实现机理。采用可移植操作系统接口(POSIX)标准的文件映像技术实现内存共享。

5.3 关系数据库跨平台访问中间层

为了简化数据库访问操作、统一面对异构数据源的存取,有必要为调度自动化领域建立一套简单易用、平台无关的数据库访问中间层。数据访问中间层是数据管理和分析处理的枢纽,为了获得更强的移植性和扩展性,系统设计了一个开放数据对象(ODO)封装异构数据库接口。基于 ODO 数据访问模型为调度自动化系统中的各种应用提供了简单而一致的数据访问界面。

6 结语

本文基于 IEC 61970 标准,结合目前的技术条件和原系统的特点,讨论了开发新一代 EMS/DTS 的主要技术问题。由于 IEC 61970 标准还没有完全成熟,许多内容还需要进一步扩充,例如模型扩充(含直流系统、继电保护等)、图形标准和 CIS 接口的进一步完善等;另外,鉴于目前技术条件的限制,

例如 CORBA 的实时性不高、不同操作系统的互操作能力差、缺乏实时数据库的理论基础等,以及 IEC 61970 现场运行经验不足等问题,都决定了建设基于 IEC 61970 新一代 EMS/DTS 将是一个长期、逐步完善的过程。

参考文献

- [1] 张伯明.现代能量控制中心概念的扩展与前景展望.电力系统自动化,2003,27(15):1—6.
ZHANG Bo-ming. Concept Extension and Prospects for Modern Energy Control Centers. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 1—6.
- [2] Draft IEC 61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API). 1970.
- [3] CCAPI Common Graphics Exchange REP 2-01. ftp://ftp.kemaconsulting.com/epriapi.
- [4] 胡继芳,王宁. IEC 61970 与新一代 EMS 数据库管理系统. 电力系统自动化,2000,24(24):38—40.
HU Ji-fang, WANG Ning. IEC 61970 & Database Management System of New Generation EMS. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(24): 38—40.
- [5] 邵立冬,吴文传,张伯明.基于 CIM 的 EMS/DMS 图形支撑平台的设计和实现. 电力系统自动化,2003,27(20):11—15,39.
SHAO Li-dong, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming. A CIM-based Interactive Graphics System for EMS/DMS. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 11—15, 39.
- [6] 刘崇茹,孙宏斌,张伯明,等. CIM 模型拆分合并问题的研究. 电力系统自动化,2004,28(12):51—59.
LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming et al. Investigation on Incremental and Partial Model Transfers on CIM. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12): 51—59.

吴文传(1973—),男,博士,讲师,配电专委会委员,主要从事调度自动化、配电自动化方面的研究、开发和教学工作。
E-mail: Wuwench@mail.tsinghua.edu.cn

孙宏斌(1969—),男,博士,副教授,主要从事调度自动化、配电自动化和电力市场方面的研究和教学工作。

张伯明(1948—),男,教授,博士生导师,长期从事电力系统的运行、分析和控制的研究和教学工作。

Design of Integrated EMS/DTS System Based on IEC 61970

WU Wen-chuan, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, WANG Zhi-nan,
YAN Ya-qing, SHAO Li-dong, LIU Chong-ru, WANG Hao
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: IEC 61970 is one of the most important standards of the new-generation EMS/DTS system. This paper proposes the key technical issues in developing the EMS/DTS system based on IEC 61970. The methods for implementing the database platform, CIM model, EMS API and heterogeneous supporting system are discussed. First, a heterogeneous database platform composed of database and soft-bus is proposed. Then three types of database management modes are adopted in the background database to store, retrieve and process data, in which the architecture guarantees the openness and efficiency of the system. Then the soft-bus, based on the real-time CORBA middleware, supports the CIS standard in an all-round way. Secondly, a WYSWYG(What you see is what you get) method for power system modeling, firmly compliant with CIM, is presented. Furthermore, different strategies are applied to wrap the legacy EMS/DTS modules. It is shown by test results that this strategy is feasible.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No.50107005, 50323002).

Key words: IEC 61970; EMS; DTS; multi-platform; component technology