

集控站中培训仿真系统面向对象数据库的设计

俞涛, 吴国忠

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 描述了变电站仿真培训系统数据的特点以及 IEC 61970 CIM 公共信息模型在仿真培训系统中的应用, 设计了一个常驻内存的实时面向对象数据库系统(MMRT- OODB), 给出了以对象数据模型为基础的数据库体系结构。

关键词: 面向对象数据库; 集控站; 仿真培训; 公共信息模型

中图分类号: TP392; TM743 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)11-0044-05

0 引言

按照实际变电站的运行模式, 集控站中仿真培训系统要监控多个无人值班仿真变电站, 如嘉兴电力局就采用这种运行模式。为了满足实时性, 仿真系统要能够快速存取数据, 而作为系统重要组成部分的实时数据库, 是影响系统性能的关键因素之一。

国际电工委员会 IEC 61970 CIM 公共信息模型用于描述电力系统的基本特征, 代表电力企业中的主要对象^[1], 是面向对象的抽象模型, 最早由美国电力研究院 (EPRI) CCAPI 工程开发, 现已提交 IEC, 形成了国际标准草案, 被各国接受为电力企业的工业标准。

传统的实时数据库管理系统支持层次或关系数据模型^[2], 一般由各个系统厂商独立开发, 数据模型和访问接口都是私有的, 系统的开放性、与其它系统的集成都存在问题, 而且第三方很难在此基础上进行应用程序的进一步开发, 当系统要求更新或者需要开发新的应用功能时, 用户只能委托原厂商。相反, 监控系统和培训仿真系统如果都采用工业标准的 CIM 数据库和接口, 集成会变得容易, 使监控系统与集控站培训仿真系统能够有机结合, 相互对照。而且系统是开放的, 能够不断扩展新功能。

另外, 由于各种原因, 迄今国内外厂家还没有成功使用面向对象 DBMS 支持变电站仿真系统的例子, 有些实时系统支持混合数据结构, 在某些方面带有面向对象性质, 但本质上只能算是扩展的层次模型或关系模型而不是对象型 DBMS^[2]。同时, CIM 不是数据库, 没有规定具体实现方式, 即没有规定实现这种数据模式的 DBMS。因此, 基于面向对象抽象模型 CIM, 开发面向对象实时数据库, 是仿真系统开放性的需要, 将更有利于仿真系统开发, 实现各种功

能软件的“即插即用”。

实时数据库系统是集控站仿真培训系统的核心, 系统的实时性、开放性和分布性等取决于它。为了更好地表达 CIM 模型, 仿真培训系统实时数据库既要支持对象模型, 又要具备高性能和高效率。

1 集控站中培训仿真系统数据库设计原则

与传统常规仿真变电站相比, 集控站中仿真培训系统要监控多个仿真变电站, 数据访问量大、计算量大, 而且处理过程在相当短的时间内完成, 需要减少数据库的访问时间。另外, 整个系统是分布式系统, 为减小网络延迟, 除了增加网络带宽, 采用高速以太网外, 要尽量减少数据在网络中的传输。

培训仿真系统包括大量的静态数据、动态数据和计算数据, 既要处理永久、静态的数据, 维护数据的完整性和一致性, 又要考虑动态数据、计算数据及其处理上的时间限制(如遥测和遥信数据需不断刷新, 潮流计算依赖于当前电网状态等), 要求实时数据库具有很高的性能, 既能满足事务的时效性, 又能对事件快速响应(如故障时)。另一方面, 商业数据库庞大, 功能强大, 但是性能不能满足实时性要求^[3], 实时数据库是为仿真培训系统专门设计和使用的, 使用范围小, 可以简化功能, 强化性能。

1.1 仿真系统对象数据模型

CIM 对象模型作为国际标准, 描述了电力系统对象、对象的属性及关系。培训系统仿真模型建立在 CIM 对象模型的基础上, 用类描述实际集控站中的实体, 如: 断路器、变压器、变电站等, 在仿真系统中所有的实体都表示为对象, 而不是关系模型中的表。类由描述电力系统特征的属性组成, 类与类之间存在着相互关系, 有简单关联、泛化关系和聚合关系。

简单关联表示类之间物理或概念上的连接,可以作为相关类的属性来实现,该属性包含指向相关对象或一组相关对象的指针。如:一个连接端连接到一个连接点。关联有多重性,它表明一个类中有多少个实例与所关联类的单个实例相连接;泛化关系,即一般与特殊关系,表现为“is a”的关系,也就是继承关系,可以通过类的继承来实现。如:一个变压器线圈是一种类型的传导设备;聚合关系,即整体与部分的关系,表现的是“has a”的关系,聚合关系有两种实现方式:一种方式是在整体对象中声明一个类型,代表部分对象,形成嵌套对象;另一种方式是整体对象中包含一个指向部分对象的指针/引用。如,一个变压器线圈是一台变压器的组成部分。

传统的电力设备连接模型,通过连接点相互连接,基于厂家自定义的私有数据模型,开放程度低。基于 IEC CIM 公共信息模型表示设备连接关系,与传统模型不同,电力设备都有连接端,通过连接端连接到连接点,把各种设备相互连接起来,而连接点是抽象点,本身不与电力系统设备直接连接。基于 CIM 的设备连接模型见图 1^[1]。

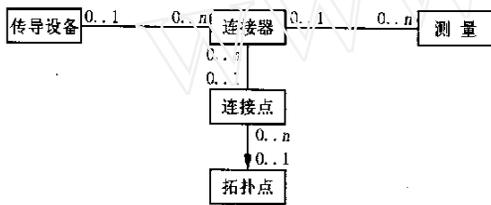


图 1 设备连接模型

Fig. 1 Equipment connection model

下面举例说明培训仿真系统中的对象及相互之间的关系。对于图 2(a)的电路图,其连接关系可以用图 2(b)表示。电路图中的各种设备对象(如:断路器、闸刀、母线、变压器等)通过各自的连接端连接到相应的连接点,形成设备的连接关系。

在培训仿真系统对象模型中,定义了一个电力系统资源类,它是电力系统所有物理对象的基类。图 2 中,变压器、分接头、变电站等都是电力系统资源,而开关、母线、变压器线圈是传导设备,所有传导设备也都是电力系统资源,它们之间的关系是层次关系(继承关系),如图 3 所示。另外,变电站 ST1 有 3 个电压等级:VL1、VL2、和 VL3;变压器 TF1 有 3 组线圈:TF1-H-W、TF1-T-W 和 TF1-L-W,分接头 TF1-H-TC 和 TF1-L-TC 分别属于线圈 TF1-H-W 和 TF1-L-W,它们之间的关系是整体与部分的关系(聚合关系),如图 3。同时,变压器线圈 TF1-H-W 有连接端

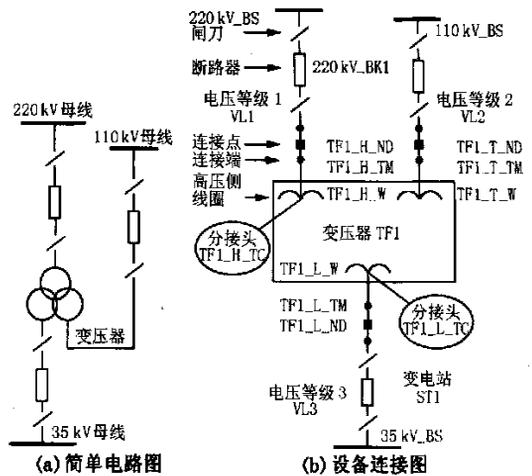


图 2 电路图及设备连接图

Fig. 2 Circuit diagram and equipment connection

TF1-H-TM,连接端连接到连接点 TF1-H-ND,它们之间的关系则是简单关联关系,见图 1。

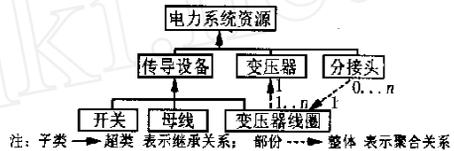


图 3 层次关系和聚合关系图

Fig. 3 Inheritance hierarchy and aggregation

对象的层次关系可以通过类的继承方便地实现,对象之间的关联可以用图 4 的方式来表示(聚合也可以用类似方法表示),OID=10-21 是由系统自动产生的类标识符和实例对象标识符组成(类标识符-实例对象标识符),是全局唯一的标识符,用于区分不同的实例对象,也用于对象之间的引用,10 代表连接端类,21 表示第 21 个实例对象。

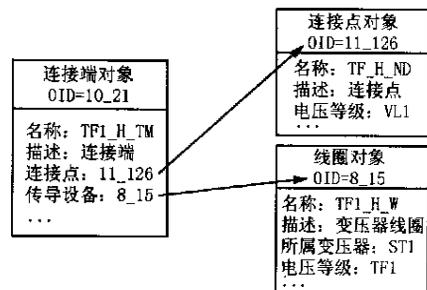


图 4 连接端、连接点、变压器线圈对象

Fig. 4 Terminal, connectivity node and transformer winding object

上述模型是面向对象的数据模型,按电力系统的本来面目描述电力设备。采用面向对象数据库表达对象模型,能够与面向对象的软件工程自然结合,

在一致的编程环境中进行开发,使集控站培训系统仿真建模更有效、更直观,开放程度更高。

1.2 仿真实时数据库特点

CIM模型为了在电力系统中有广泛的适用性,采用面向对象的抽象模型,用UML类图来描述,它给出了电力对象的确切定义和它们之间的关系。

培训仿真系统对象模型基于CIM,可以用多种数据库模式实现。一种方法是采用面向对象的关系型实时数据库,它支持面向对象的编程方式,但本质还是关系型数据库,数据存储的关系表中,在逻辑上是一张张的表,通过读取关系表中的数据,给编程语言中的对象属性赋值。这种方式也可以看作是对象关系型,在表达仿真系统对象模型时,编程语言对象与关系表必须转换,可以通过映射来实现。类映射为实时数据库中的表,对象映射为记录,类的属性映射为字段,类之间的关系映射为表之间的关联,可以使用关键字或指针表达关联。容易实现一对一关联和单方向的一对多关联,多对多关联需要增加中间表。同理,聚合关系也可以使用上述方法实现。继承关系的表达比较复杂,有多种实现方式:一种方式是映射为单独的超类表和子类表;另外方式是将超类属性下降,消除超类表,把超类属性复制到每一个子类表中,或者将子类属性上升到超类表,消除子类表。另外,对象在关系型数据库中的存储也遇到困难,特别是继承关系的存储。为了减少数据冗余,以及插入、删除和更新数据时避免出现问题,基表的存储只包含派生类(或子表)需要继承的公共属性,一个对象被拆分成多个表来储存(对象的属性分别存储在它继承的各个基表中以及自身映射的子表中)。而使用面向对象的方法访问数据库时,需要连接多个表重新生成一个对象,影响了系统性能。

用层次型实时数据库表达仿真系统的对象模型,虽然能够有效地组织简单的层次数据结构(父子关系),但其他对象之间的关系不得不在应用程序中实现,使系统变得难以维护。层次加关系型实时数据库同样存在类似的问题,使系统变得更加复杂。

而基于CIM的面向对象数据库能够直观地描述CIM模型,自然地应用面向对象的技术分析、设计和实现应用系统。可以直接表示对象模型的类、属性和继承关系,不需要对象和记录表之间相互转换。用户面对的是连贯一致的对象,而不是关系数据库中分离的纪录。使用集合能够方便地实现简单的二元关联(聚合关系看作一个普通关联来处理)。而且面向对象数据库的数据结构与内存数据结构相

一致,数据的储存和查询无需格式的转换,与面向对象编程语言(如:C++)无缝集成,应用程序使用导航通过指针链来直接、快速地存取和检索数据库中的对象,能够获得最佳性能。

可以把面向对象数据库看作是由一种面向对象的程序设计语言创建的对象永久存储。对于一般的程序语言,当程序结束时对象就消失,而对于面向对象的数据库,对象将会超越程序运行的周期,永久保存下来。面向对象数据库通常采取命令型模式来操作数据,因此通常要编写一系列的程序设计命令。

另一方面,仿真实时数据库系统包含实时系统和数据库系统两方面的特征,一方面要满足实时系统对时间约束(限制)要求,另一方面要满足数据的一致性、完整性。这两方面的需求存在冲突,如:实时系统事务处理需要在规定的时间内完成,也就是时间是可预期的。而数据库为了维护数据的一致性,对事务处理实行加锁的机制,包括事务开始、事务结束、事务回滚、磁盘的存取等,时间变得不可预期。因此,没有高性能的系统作为基础,在规定时间内完成事务处理是不可能实现的,提高性能最有效的方法是把数据库放入内存。近几年来,内存价格的下降,容量的提高,技术的发展,使整个数据库放入主内存成为可能。

因此,我们开发的MMRT-OODB数据库系统首先是一个面向对象数据库系统,为面向对象编程语言(C++)提供持久对象储存,持久对象储存在内存中,所以也是一个内存数据库系统,为事务处理提供了高性能,满足了事务处理的时效性,又是一个实时数据库系统。

2 实时对象数据库设计

数据库系统不仅能在磁盘上也能在内存中实现,在内存对象上进行计算将有很高的性能。培训仿真系统实时对象数据库基于Windows NT平台,常驻内存,能够最大限度地提高数据存取性能,减小事务时间的不确定性。采用Windows NT平台,是由于Windows NT操作系统功能强大,使用方便,越来越普及的缘故。

MMRT-OODB体系结构见图5。实时对象数据库作为数据库服务器,其他应用程序作为客户机,服务器和客户机可以在不同的机器上,也可以在同一台机器上,当服务器和客户机运行于不同的机器时,通过TCP/IP网络连接,使用套接字(Socket)进行通信;当运行于同一机器时,通过共享内存进行通信

(进程间数据共享)。

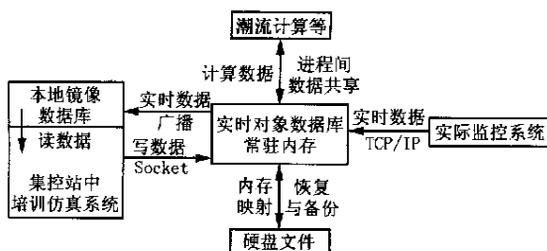


图5 实时对象数据库体系结构

Fig.5 Real-time object database architecture

为了充分发挥客户机的计算资源,集控站培训仿真系统是以客户端为中心,即尽量将计算任务放在客户端而不是服务器,以减少网络通信。在实时对象数据库系统中,在服务器端有一个共享的内存地址空间,而在客户端有此空间的一部分的拷贝,即在客户端内存中申请一块共享内存区,作为服务器实时数据库的镜像。应用程序从本地共享内存存取数据,如定时刷新仿真培训监控画面中的动态数据。而与服务器的通信由两部分组成,一是服务器端的实时数据库通过广播方式定时更新本地镜像数据库;二是操作的结果直接写入服务器实时数据库。当误操作或者人为设置故障时,服务器端实时数据库立即响应并即时更新客户端的镜像数据,从而确保仿真培训中能够实时响应。由于大部分工作在客户端端处理,服务器只做很少的工作(响应客户端请求、并发控制、备份和恢复等),数据库服务器处理开销最小,简单且容易实现。

Windows NT 提供了基于页的虚拟内存管理机制^[4]。通过其内存映射文件函数,可以将磁盘上的数据库文件映射到虚拟内存地址空间,在系统初始化时,把实时数据库全部装入内存,并使用大内存计算机,保证数据库常驻内存。

利用映射机制,由操作系统负责内、外存的数据交换,实现磁盘和内存之间数据映射,从而支持持久对象管理,使对象在磁盘和内存中的格式完全一样^[5],避免了内存格式与磁盘格式之间的转换,提高了系统性能。

实时数据库的事务采用带缓存写的影子页策略,保证数据存储的一致性。当事务失败或回滚时,提供事务恢复机制。在内存中锁定影子页,保证页不被交换到磁盘上。采用异步方式将影子页写到日志文件。当被锁定页的数目超过最大锁定页时,影子页事务日志缓存文件写到磁盘上,解除所有锁定页并清除缓存日志文件,这种方法能够极大地提高

事务性能。

不使用事务,可以极大提高性能,但是一致性不能保证。当系统异常时,已改变的页没有立即写入磁盘,导致某些改变的数据丢失,更坏的情况是,某些已改变的页已经保存到磁盘,而另外一些则没有。

服务器端主内存保存培训仿真系统所有数据。由于内存数据的易丢失性,除了使用 UPS 确保系统不失电外,还需要对数据库进行备份,通过简单备份进行恢复,实现简单,而且不影响或较小影响系统性能。常用的基于日志的恢复技术,存在写磁盘操作,降低了系统性能,成为系统的瓶颈。

备份程序在后台运行,采用异步备份(具有较低优先级),把内存数据库保存到磁盘上。定期检查事务数,如果此刻没有事务,把内存数据库复制到一个临时地方,若复制结束前,有新的事务产生,立即放弃复制,采取这种策略,备份不竞争系统资源,有效地提高了系统性能。

然而采用简单的异步备份,当备份没有及时更新时,可能存在数据丢失的情况。但是我们要实现的是高性能的仿真培训实时数据库,对于实时数据,不用保存到磁盘上,它的正确性依赖于时间限制,另外,对于培训系统,全部数据即时备份是不需要的,否则将严重影响系统性能。

培训仿真系统需要从集控站实际监控系统中获取数据,与变电站实际状态保持一致,并作为仿真系统的初始数据。可以通过实时数据库数据存取接口,从实际监控系统中获取数据并转化为仿真系统要求的数据格式。

应用程序与实时数据库的接口,有网络存取和本地存取。对于网络存取,使用面向连接的 TCP 传输控制协议,利用 Socket 技术开发独立的网络通讯程序,通过一个服务器进程,间接存取数据。对于本地存取,通过建立内存映射对象,在不同进程间建立视图来实现进程间数据共享,实现直接存取或更新。考虑到通过网络存取数据开销较大,而本地读写数据对计算机性能要求很高,潮流计算等应用程序需要数据较多,同时产生大量的计算数据等情况,与服务器端实时数据库位于同一台计算机上,实现本地直接存取数据。

3 结论

根据仿真培训系统数据的特点,以及 IEC 61970 CIM 公共信息模型,实现了一个高性能的实时数据库系统(MMRT - OODB)。利用 Windows NT 操作系

统内存管理技术,把整个数据库映射进虚存空间,实现了一体化单一级储存结构,避免了内存数据格式与磁盘数据格式之间的转化,面向对象数据库的特点使存储的数据结构与应用程序存取的数据结构完全一致,避免了数据结构的转化,并且以一种自然的方式对仿真系统进行建模(把电力系统实体看作是一个个对象),再加上数据库常驻内存,数据存取无需磁盘的输入、输出。所有这一切使数据库性能有很大程度的提高,满足了仿真培训系统的实时性要求。更重要的是采用国际标准 CIM,实时对象数据库开放程度更高,更容易与其它系统集成。

参考文献:

- [1] Draft IEC 61970 EMS - API (Part 301), Common Information Model (CIM) Revision 6[S].
- [2] 吴文传,张伯明,王鹏,等(WU Wenchuan, ZHANG Bor-ming, WANG Peng, et al). 一体化系统的分布式实时数据库管理系统(A Distributed Real-time database Manage-

ment System Applied in the Integration System) [J]. 中国电力(Electric Power), 2000, 33(10): 85-89.

- [3] 陆杏全(LU Xing-quan). 能量管理系统的实时数据库技术(Real-time Database Technique in Energy Management System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(6): 1-4.
- [4] Williams A. Windows 2000 系统编程(Compilation of Windows 2000 Systems Programming) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing:China Machine Press), 2001.
- [5] Lamb C, Landis G, Orestein J, et al. The Object Store Database System[J]. Communications of the ACM, 1991, 34(10): 50-63.

收稿日期: 2003-09-11; 修回日期: 2003-01-05

作者简介:

俞涛(1966-),男,硕士研究生,工程师,从事变电站仿真方面的研究和培训工作;

吴国忠(1944-),男,教授,从事计算机检测、监控及故障诊断等。

Object-oriented database design of training simulation system in centralized control substation

YU Tao, WU Guo-zhong

(School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The data features of the training simulation system for centralized control substation are described and IEC61970 CIM (common information model) is applied in the system. A real-time object-oriented database system of resident memory is designed, and the database architecture based on object data model is presented.

Key words: object-oriented database; centralized control substation; training simulation system; common information model (CIM)

强强联手——西门子公司与许继集团签订合资协议

5月22日上午,许昌市政府迎宾馆迎宾馆会议中心华灯溢彩,掌声经久不息。许继集团公司董事长、总裁王纪年与西门子公司最高董事局成员、全球副总裁乌里尔·沙尔夫在这里正式签署合资合作协议,双方结成战略合作伙伴,面向高压电力装备全领域开展更加深入的合作。出席签字仪式的领导有河南省省长李成玉、副省长史济春、许昌市委书记刘春良、市长毛万春以及中国电机工程学会理事长陆延昌等。

根据协议,许继集团和西门子公司双方各按50%的比例分别出资并投入相关高技术在中国设立合资公司——“西门子许继输电系统有限责任公司”,联手进军国内直流装备和电力电子装备市场。公司从事设计、制造、销售、调试和安装高压直流(HVDC)控制保护系统和晶闸管阀,输电使用的高压串联电容器(HVSC)和静态无功补偿器(SVC)等高技术产品以及与产品应用的研究,提供相关售后服务、技术咨询及技术培训服务,满足“西电东送、南北互联、全国联网”和三峡电力外送电网建设的需要。公司还将根据市场的需要扩大经营范围,承担国外交钥匙工程。

许继集团与西门子公司通过紧密合作,建立中国境内首家高压直流及高压无功补偿技术的合资公司,对我国急需的高压直流输电成套装备和高压交流电力电子成套装备的国产化具有重大意义,它将使国内相关技术水平和生产制造能力跨越性地提升到国际领先水平。合资公司将通过向我国电力系统跨区输电、全国联网和改善电能质量等重大工程提供高技术关键装备,为中国电力事业的大发展做出贡献;同时将对河南省、许昌市电气装备制造产业的快速发展,加快“许昌高科技电气城”建设发挥重要作用。