

电网广域监测系统的数据库集成方案

戴则梅¹,葛云鹏¹,张珂珩¹,徐春雷²

(1.国电南瑞科技股份有限公司,江苏南京 210061;2.江苏省电力公司,江苏南京 210024)

摘要:提出了综合利用商用关系型数据库和商用时间序列数据库的集成方案,结合广域监测系统(WAMS)的数据特点,分析了WAMS系统对于数据存储的要求,并对比了两类数据库的特点。这一方案可以充分发挥两种数据库的优点,同时满足WAMS系统数据存储实时性、海量性和安全性的要求,从而为调度中心的各个专业部门(调度、运方、保护)提供统一的集成数据平台,有利于WAMS应用功能的扩展应用。该方案的有效性得到了实际工程应用的验证。

关键词:广域监测系统;时间序列数据库;集成数据平台

中图分类号:TM734

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2013)01-0001-04

广域监测系统(WAMS)^[1]基于同步相量测量单元(PMU)和高速通信技术,实现对地域广阔的电力系统动态行为的监测和分析,已成为保证大电网安全的重要手段,是近十几年来各国电力公司在电网监测方面投资建设的重点。能量管理系统^[2,3](EMS)基于远程终端单元(RTU),其数据特点是低密度、静态,但布点全,可对系统的静态安全进行有效监视;PMU的数据特点是高密度、动态,可对系统的动态行为例如低频振荡过程进行有效分析;有效整合调度自动化二次系统的信息^[4],构建集EMS稳态信息、PMU动态信息以及故障录波等暂态信息(简称三态数据)于一体的广域信息集成数据平台,在此基础上,就可以将WAMS功能从单纯的动态监测扩展到广域动态监测分析保护控制^[5-9]。

数据库是WAMS系统存储数据的载体,既是一个系统的数据存储中心,也是应用软件进行分析和计算的基础。因此,数据库设计的优劣以及性能的高低,对WAMS系统的稳定可靠运行有重要的作用。基于上述考虑,文中提出了综合利用商用关系型数据库和动态信息数据库的解决方案,为调度中心的各个专业部门(调度、运方、保护)提供统一的集成数据平台,从而为构建现代电力系统安全稳定协调防御体系实现智能输电网提供重要的数据支撑。

1 WAMS系统数据的特点及存储访问要求

WAMS系统的数据可大致分为以下3类。

(1) 电网正常运行时实时采集的动态相量数据,即PMU子站以25~100 Hz实时上送的动态向量数据,以下简称实时动态数据。

(2) 电网发生扰动时的三态数据,包括来自EMS系统的稳态数据、PMU采集的基波动态向量数据和

扰动过程中PMU记录的录波数据或来自故障管理信息系统的故障录波数据的暂态数据,其中波形瞬时值记录是电网动态过程的原始信息资源;可用作电力系统中期和长期动态过程异常现象分析,如低频振荡^[9]、振荡传播等,因此这类数据有必要长时间存储,以下简称扰动三态数据。

(3) 模型、统计及告警等,包括所有的静态数据,电网设备、参数、拓扑、图形、系统配置、告警和事件记录、历史统计信息等一切需要永久保存的数据,以下简称模型和统计数据。

1.1 实时动态数据的特点及存储访问要求

基于GPS同步对时技术的PMU主要是解决跨空间测量的同时性问题,它需要在全局统一时钟协调下,对各测点的电压、电流相量作同步测量,确保全局范围内的测量结果具有同时性,便于分析计算。和RTU数据相比,PMU数据具有以下几个特点。

(1) 海量性:点相对较少,但数据采集密度非常高,其数据量可以说是海量的;

(2) 带时标:时标是数据的重要特征;

(3) 快速、连续性:RTU秒级更新,且送变化数据,但PMU以25~100 Hz频率送全数据。

实时基波动态向量数据,25帧/s、50帧/s或100帧/s,可以用来进行实时应用分析(例如功角稳定中的小干扰造成的电网振荡分析等)。电网正常运行时,为保证事后事故追忆的要求,至少需存贮30 d动态监测数据的历史数据,所有PMU 25帧/s的动态数据(按10 000个量计算)如果不压缩,存30 d的数据需要的存贮空间约为3.888 TB。

这一类数据对数据的存储有快速、大容量和高效性的要求。首先要保证快速连续的写入数据库;其次要实现大容量的存储;再次要满足历史数据查询检索的实时性。

怎样保证数据库的高效是最具难度的问题,高效

性不但要求系统具备快速响应各种查询的能力,而且要求系统在写入数据时快速高效,少占用系统 I/O 资源。但是高效性和大容量又是互相矛盾的,数据库容量越大,读/写效率将越低。由此可见,WAMS 主站系统需要实时承受大容量数据写入,如果数据写入占用太多的 I/O、内存资源,则数据库无法对外提供快速的数据服务,也即应用程序查询数据的速度将大大降低。

1.2 扰动三态数据数据的特点及存储访问要求

电网发生扰动时的三态数据,包括来自 EMS 系统的稳态数据、PMU 采集的基波动态向量数据和扰动过程中 PMU 记录的录波数据或来自故障管理信息系统的故障录波数据的暂态数据。这一类数据的特点:

(1) 录波数据(离线)和实时数据(在线),数据点的采集密度不同,实时数据没有时间段的观念,录波数据为一段时间的数据。

(2) 波形瞬时值记录是电网动态过程的原始信息资源;可以用来进行电力系统中期和长期动态过程异常现象分析(如超低频振荡、振荡传播等),因此这类数据有必要长时间存储。

动态(小扰动)数据,100 帧/s。扰动过程记录存贮每次触发事件前 1 min 到最后一次事件的 1 min 以后为止。动态监测数据存贮需要的存储容量为(故障过程按 10 s 考虑)720 MB。

暂态(大扰动)数据、暂态录波数据,4 800 帧/s 或更高。录波长度按 >7 s,频率为 4 800 Hz,则每个 COMTRADE 文件的大小约为 6 M/PMU,录波数据存贮需要的存贮容量为 600 MB。

(3) 为实现历史扰动事件的回放和事后分析功能,还需要保存扰动当时的模型,而不是拿现在的模型去匹配过去的运行方式数据。只有使用扰动当时的电网模型、当时的运行方式,这样分析结果才是有意义的。这部分数据,建议采用增量方式保存,需要的存贮空间和动态方式数据相比可忽略。

1.3 模型和统计数据的特点及存储访问要求

模型和统计数据,包括所有的静态数据,电网设备、参数、拓扑、图形、系统配置、告警和事件记录、历史统计信息等一切需要永久保存的数据等。

模型数据包括电力系统的模型和 WAMS 系统自身运行需要的模型数据,主要有:维护系统正常运转的数据字典;系统运行参数和配置信息;描述电力系统结构和元件物理特性的电网设备和参数;电网的静态拓扑连接信息;采集模型数据:PMU 通道、规约、点号、系数等参数;告警定义与计算公式定义;图形等。

这一类数据的特点是静态,不更新或很少更新。但这类参数是系统的稳定、可靠、正确运行的基础数据,需要可靠、稳定的保存。

告警和事件记录可分为动态电力系统应用的告警(例如低频振荡、短路扰动等)和 WAMS 系统自身运行需要的告警信息(例 PMU 故障、WAMS 某一进程异常等)。前一类主要服务对象是调度运行人员,后一类主要服务对象是自动化系统维护人员。

统计数据包括日、周、月、年的各种统计数据,例如 PMU 通道的平均延时、平均运行率等。

告警和事件记录及统计数据,是电力企业的宝贵财富,基于这些信息,可以反演电网运行的历史情况、进行事故分析等。需要在线保存 10 年以上。

2 关系型数据库和时间序列数据库的比较

时间序列数据库主要针对带时间标记的时序数据存储和检索而设计,可以很好地满足实时动态数据是海量(TB 级别)、写入极其频繁、很高压缩性能、检索效率要求特别高的要求。时间序列数据库虽然提供了历史数据的高速缓冲区,但本质上是一种纯文件系统的存储方式。商用数据库例如 Oracle 在存储、查询、分布式访问、管理上均好于纯文件系统。两种数据库的比较如表 1 所示。

3 综合运用关系型数据库和时间序列数据库的实现方案

在 WAMS 系统中,通过集成商用实时数据库产品(例如美国 OSIsoft 公司的 PI 数据库、美国 InSTEP 公司的 eDNA 数据库或者南瑞的海迅数据库)来实现时间序列数据库的功能。主要用于保存不断变化的 PMU 实时数据。

时间序列数据库虽然提供了历史数据的高速缓冲区,但本质上是一种纯文件系统的存储方式。关系型商用数据库例如 Oracle 在存储、查询、分布式访问、管理上均好于纯文件系统。Oracle 主要用来保存电网设备、参数、静态拓扑连接、系统配置、告警和事件记录、历史统计信息等一切需要永久保存的数据。

在 WAMS 的体系结构中,应用对数据的访问是通过支撑平台的数据访问服务实现的,即应用本身并不直接和数据库打交道,而是通过向数据访问服务提交申请,再由数据访问服务来访问具体的数据库。应用程序或者第三方嵌入式程序无须了解具体的细节,也无须了解各类数据存储的位置和存储结构。因此,两类数据库的综合使用并不会给应用带来使用上的不方便。

数据访问的流程图如图 1 所示。

(1) WAMS 应用程序向支撑平台的数据访问服务提交数据读/写的申请;

(2) 数据访问服务进程分析所提交的数据类型,如果是 PMU 动态数据,则调用时间序列数据库的读/

表 1 Oracle 和时间序列数据库比较

比较项	时间序列数据库	Oracle
快速性	有非常好的数据读写操作性能,写入效率可达每秒几万个事件;有高效的时间索引,数据查询和检索的速度非常快;读取速度不受数据量增加的影响	没有对时标作特别的处理,和数据的其他属性作相同的处理;对时标的检索效率较低,且随着时间的增长,数据量的增加,效率会更低。
海量性	采用高精度压缩技术,数据还原精度高,相同硬盘空间下可保存更多数据	不采用压缩技术,不适合处理海量(TB级别)的 PMU 实时动态数据
层次模型数据	主要面向数据,点与点之间没有关系,本身对电网模型和结构的描述的支持很弱	实现层次关系、父子关系、引用关系的设置,适合于表达电网的层次和对象特征
大字段	不支持大字段(eDNA)或者支持长度有限(PI)	支持,适合图形、报表等数据
约束	不支持	可设立数据校验规则(商业规则),包括数值范围、唯一性检验、默认值、约束关系、引用等等
事务支持	不支持	采用事务机制来保证数据的完整性,一个事务包含的操作要么都做,要么都不做
集群技术	直接利用操作系统的集群技术(HA, High Availability)实现 2 台数据库服务器冷主备,即只有 1 台数据库服务器保持在线,主服务器故障,备服务器才工作,故障切换慢,且不能保证切换时不丢失数据	并行处理软件 RAC 的应用可以使 2 台服务器均在线,故障切换将非常迅速,对数据库的访问可以采用并发分流机制,将数据库读取操作平均分配在两台服务器上进行,且保证切换时不丢失数据
跨平台	对 Windows 的支持很好,但对 UNIX 平台的支持很差	对 Windows 和 UNIX 平台的支持都很好

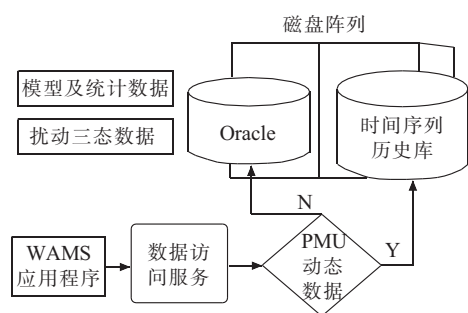


图 1 WAMS 系统的数据访问流程

写接口;否则可能是电网模型、统计类数据或者是扰动案例数据,则调用关系型数据库(例如 Oracle)的读/写接口;

(3) 时间序列数据库通过高效的数据压缩和高速缓存技术满足对海量 PMU 动态数据快速及高效的读/写要求,即不仅提供实时响应的读/写能力,而且要求写入数据时,少占用系统 I/O 资源和存储空间。关系型数据库通过事务机制、并行处理软件 RAC 等技术保

证模型、统计及案例的数据可靠、完整,但相对低速地进行存储。

(4) 考虑到动态数据的海量性及模型类数据的可靠性要求,通常两类数据库均将数据存在磁盘阵列上,同一系统可以共用一组阵列。

综上所述,推荐 WAMS 系统使用商用关系型数据库 Oracle 和商用时间序列数据库的集成方案,综合利用两套数据库的优点。

如果仅使用时间序列数据库,对于模型数据及三态数据的处理,只能采用两种方式,一是将其转换为时间序列能处理的数据存入数据库,这样会影响数据库的处理效率,也难以保证数据使用的方便性;另外是将其存入私有格式的数据文件(早期的 EMS 基本都采取这种方式,现在依然有少量系统使用),尽管可能称为实时数据库,本质上采用本地硬盘、文件方式管理这些数据,这样的处理方式下数据的完整性、一致性、主备机的同步性都很难保证。

4 集成方案的数据流程

WAMS 系统的数据流程如图 2 所示,根据各应用功能对数据的需求可将 WAMS 系统的功能分为 4 类。

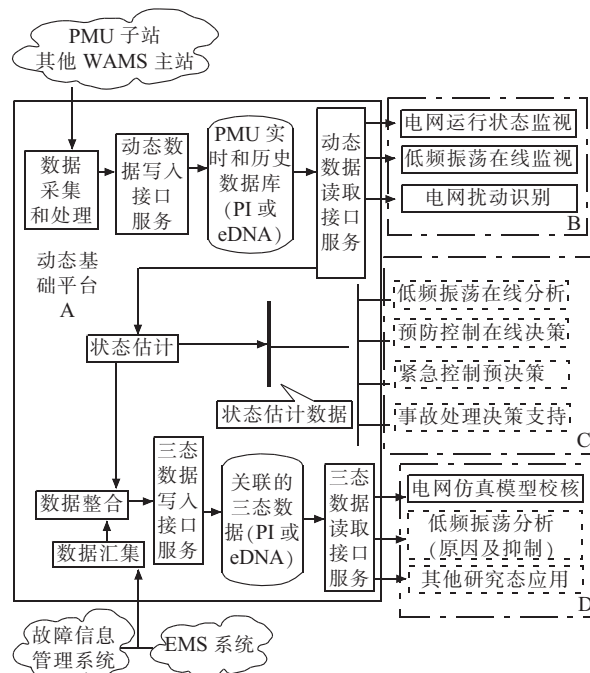


图 2 WAMS 系统的数据流程

A 类:数据准备类,完成 WAMS 系统的数据采集、汇集、处理、整合与管理功能,构造电网综合动态信息数据平台,包括 PMU 数据采集处理软件;扰动时数据整合与管理软件;优化状态估计。

B 类:在线监视类,主要利用 25 Hz PMU 实时动态数据,包括电网动态过程监视;低振荡在线监视;电网扰动识别。

C类:在线分析类,主要利用25 Hz PMU实时动态数据和状态估计实时数据;包括动态安全评估及预警^[10];极限功率计算软件;其他线分析应用等。

D类:离线分析类,主要利用三态数据的整合与管理整合后的历史研究数据,包括故障发生前的状态估计断面、故障过程动作序列、故障时PMU采集的25帧/s实时动态数据(故障前1 min至故障后1 min)。包括模型和参数校核等;其他离线分析应用等。

5 结束语

结合基于OPEN-3000支撑平台的WAMS系统的设计、开发和工程实践经验,提出了综合利用商用关系型数据库和商用时间序列数据库的集成方案。该方案可以充分发挥两种数据库的优点,满足WAMS系统数据存储实时性、海量性和安全性的要求。同时应用对数据的访问都是通过支撑平台的数据访问服务实现,两类数据库的综合使用并不会给应用带来使用上的不方便。这一方案在西北、福建、安徽、甘肃等电网WAMS系统中得到成功应用,同时在华东、南网、江苏、浙江、宁夏、江西等众多电网的EMS/WAMS一体化系统中应用,积累了重要的案例数据,推动了WAMS应用从单纯的动态监测扩展到广域动态监测分析保护控制的发展,初步构建了大电网安全防御信息平台,为智能输电网的建设提供重要的数据支撑。

参考文献:

[1] 张启平,曹路,励刚,等.广域测量系统及其在华东电网的应用[J].华东电力,2005(1):1-5.

- [2] 于尔铿,刘广一,周京阳,等.能量管理系统[M].北京:北京科学出版社,2001.
- [3] 姚建国,高宗和,杨志宏,等.EMS应用软件支撑环境设计与功能整合[J].电力系统自动化,2006,30(4):49-53.
- [4] 高宗和,戴则梅,翟明玉,等.基于统一支撑平台的EMS与WAMS集成方案[J].电力系统自动化,2006,30(16):41-45.
- [5] 洪宪平.建设电网动态安全防御系统[J].华东电力,2007(3):45-48.
- [6] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架.(一)从孤立防线到综合防御[J].电力系统自动化,2006,30(1):8-16.
- [7] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架.(二)广域信息、在线量化分析和自适应优化控制[J].电力系统自动化,2006,30(2):1-10.
- [8] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架.(三)各道防线内部的优化和不同防线之间的协调[J].电力系统自动化,2006,30(3):1-10.
- [9] 薛禹胜,徐伟, Dong Zhaoyang,等.关于广域测量系统及广域控制保护系统的评述[J].电力系统自动化,2007,31(15):1-5.
- [10] 张洪喜.基于PMU的支路电压稳定指标研究[J].江苏电机工程,2012,31(2):59-61.

作者简介:

戴则梅(1973),女,江苏南京人,高级工程师,从事调度自动化系统高级应用软件、广域相量策略系统设计、研发和管理工作;
葛云鹏(1978),男,江苏南京人,高级工程师,从事广域相量策略系统设计和研发工作;
张珂珩(1973),男,湖北武汉人,高级工程师,从事调度自动化系统的数据库应用软件的设计和研发工作;
徐春雷(1978),男,江苏南通人,高级工程师,从事电力系统调度自动化研发和管理工作。

Database Integration Solution for Power System Wide-area Monitoring System (WAMS)

DAI Ze-mei¹, GE Yun-peng¹, ZHANG Ke-heng¹, XU Chun-lei²

(1.NARI Technology Co. Ltd., Nanjing 210061, China; 2.Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

Abstract: The database solution for WAMS which is integrative utilization of commercial relational database and business time series database is proposed in this paper. Combined with the data characteristics of WAMS, the demands for Data Storage is discussed, the characteristics of two types of database are also compared. This scheme not only plays the advantages of the two databases, but also sufficiently meets the requirements of real-time, mass and safety and efficiently improves the convenience for data sharing in control center. The validity of this scheme has been verified by practical engineering applications.

Key words: wide area monitoring system; time series database; integrated data platform

广告索引

思源电气股份有限公司	封面	《江苏电机工程》协办单位	前插 6、7
远东电缆有限公司	封二	《江苏电机工程》协办单位	前插 8
南京南瑞继保电气有限公司	前插 1	宿迁电力设计院有限公司	(黑白) 文前 1
江苏省电力公司江苏省电机工程学会	前插 2、3	南京远能电力工程有限公司	封三
江苏省电力公司电力科学研究院	前插 4、5	国电南瑞科技股份有限公司	封底