

WAMS 系统历史数据库的优化

王立鼎¹, 杨 东¹, 吴京涛¹, 刘洪林²

(1. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085;

2. 江西实验技术学校, 江西 南昌 330008)

摘要: 广域测量系统 WAMS(Wide Area Measurement System)需要保存海量的历史数据, 保证历史数据库的高效性是构建 WAMS 的一个难点。提出了优化历史数据库的商用数据库性能调优和表结构调优的两类方法; 重点分析了数据库表结构的调优。提出三种数据库表结构方案。通过测试及分析, 最终确定一种方案为优化方案, 该方案已经成功应用于多个 WAMS, 现场运行表明, 该方案高效可靠。

关键词: 广域测量系统; 同步相量测量单元; 历史数据库优化

中图分类号: TP 393

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)02-0062-03

广域测量系统 WAMS(Wide Area Measurement System)是基于同步相量测量及现代通信技术, 对地域广阔的电力系统运行状态进行监测和分析, 为电力系统实时控制和运行服务的系统^①。基于同步相量测量单元 PMU(Phasor Measurement Unit)的 WAMS 是当前电力系统暂态监测和控制发展的重要新趋势^[1]。WAMS 可以在时空坐标下监测电力系统动态运行特性, 弥补现有能量管理系统(EMS)和故障录波系统的不足, 为实现全网实时控制, 提高大电网安全性和传输能力提供了新的途径^[2]。

本文阐明了 WAMS 主站系统的历史数据库的重要性, 对历史数据库的结构设计方案进行了探讨, 最终确定了一种优化方案。

1 WAMS 及其主站系统

一般而言, WAMS 系统由多个子站(安装 PMU 装置的厂站)和 1 个主站系统构成, 主站与子站间由快速数据通道连接, 主站和主站间可进行级联。整个系统是一个分层分布式系统, 体系结构如图 1 所示。

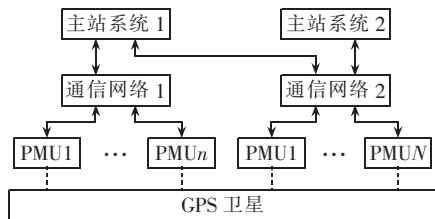


图 1 WAMS 结构示意图

Fig.1 The WAMS structure

PMU 装置采集相量数据, 依靠精准的 GPS 信号, 在每个数据上打上同步时标, 通过快速的数据通道(如 64 kbit/s 或 2 Mbit/s 带宽的通道)发送给主站系统的前置服务器, 前置服务器进行规约解释后, 直接将数据写入后台服务器中的实时数据库中, 供各

种显示、分析模块的实时使用。同时, 按照一定的间隔, 主站系统将历史数据存入历史库服务器保存, 以供后期离线分析。WAMS 主站系统和 EMS 有类似的系统结构, 结构示意图如图 2 所示。

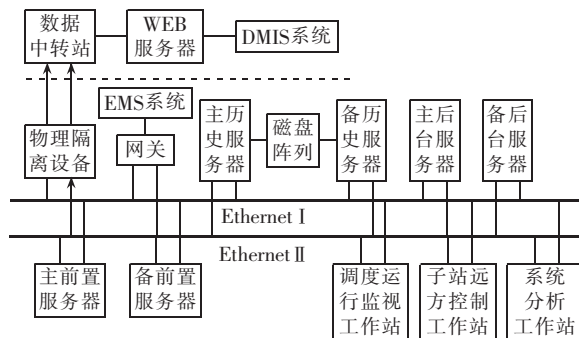


图 2 WAMS 主站系统结构示意图

Fig.2 The system structure of WAMS data center

2 WAMS 历史数据库

历史数据的存储一般选用商用数据库, 商用数据库在存储、查询、分布式访问、管理上均好于纯文件系统。WAMS 要为用户提供事故重演、历史数据追忆、仿真曲线校核等离线分析功能, 这些功能均依赖于主站系统的历史数据库。历史数据库如何高效、稳定地提供海量历史数据是 WAMS 的关键之一。

历史数据库安装于历史服务器中, 历史库服务器由 2 台高性能服务器连接 1 个磁盘阵列组成, 服务器上安装 Oracle 等商用数据库, 通过高性能容错管理软件(如 Veritas, Rose 等)和磁盘阵列一起构成 1 个集群系统(Cluster), Cluster 能最大限度保证历史库的可用性, 任何 1 台服务器的异常均不会影响系统对外的数据服务。磁盘阵列则保证了历史库的大容量, 它可按系统要求扩展硬盘数量从而增大历

① 国家电力调度通信中心. 电力系统实时动态监测系统技术规范(试行), 2003.

史库容量,一般至少配置到 200 GB 以上。

稳定性和大容量可以保证,怎样保证历史数据库的高效却是最具难度的问题,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历史数据时快速高效,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。

WAMS 历史库需要存储的海量历史数据通常分两种类型,一种是按间隔保存的正常历史数据,另外一种为扰动发生时记录的扰动数据。按间隔连续存储的历史数据主要用于重演、追忆等应用,PMU 装置虽然也保存历史数据,但是若需要在主站追忆时召唤各个 PMU 的数据,显得过于低效而且占用传输通道带宽,同时,历史数据在 PMU 装置保存 7~14 d,而主站系统历史库数据至少保存 1 个月,因此主站系统进行历史数据连续保存是必须的。

保存间隔依据系统的要求而有差异,有的系统按照 1 s 的间隔保存整个数据断面(如江苏省调 WAMS、国调中心 WAMS),有的系统以 0.1 s 为间隔保存(如华北电网 WAMS);扰动数据在主站系统判断出扰动发生时按照 PMU 装置上传频率保存,系统上传频率一般为 50 Hz,也即以 0.02 s 间隔保存。由于扰动发生的次数有限,一般 1 d 不超过 20 个,而且扰动记录的时间在 1 min 内,因此在整个历史库中,正常历史数据所占用的容量远远超出扰动数据。假设 1 个 WAMS 系统采集 500 个测量数据,正常历史数据记录间隔为 0.1 s,经估算,1 d 需要占用 5 GB 的硬盘容量,30 d 要占用 150 GB。

由此可见,WAMS 主站系统需要实时承受大容量数据写入,如果历史数据写入占用太多的 I/O、内存资源,则历史库无法对外提供快速的数据服务,也即应用程序查询历史数据的速度将大大降低。

3 WAMS 历史数据库优化

3.1 历史库性能优化方法

提高历史数据库的高效性,应从以下两个层次进行优化:

- a. 商用数据库本身的性能调优;
- b. 数据库表结构的调优。

3.1.1 商用数据库性能调优

以 Oracle 为例说明商用数据库本身的性能调优,它包括分布式应用的网络调优、硬件优化、操作系统的优化及 Oracle 本身的参数优化。硬件优化主要指调整 I/O、CPU、内存等子系统配置,以适应数据库的需求;Oracle 参数优化包括高速缓冲区、共享池大小等参数的调整,这些参数对历史库的性能影响非常大^[3,4]。

3.1.2 表结构调优

历史数据库的性能调优属较为底层的一种调优,不管哪种应用,均普遍适用。但是仅考虑商用数据库的调优有时解决不了问题,此时,应考虑数据库

表结构设计是否合理。

数据库表结构的设计表明将以哪种方式组织历史数据进行存储,结构设计不合理将直接导致历史库的低效,还会占用过多的硬盘容量。数据库表结构的设计还包括索引的使用,如果给 1 个表建立索引,将大大加快查询速度,但同时将降低写入速度,因为每次插入均需要更新索引表。WAMS 历史数据存储的特点决定了不能用增加索引的方法加快查询速度,因此,还是需对表结构设计本身进行优化。

3.2 方案说明

WAMS 主站系统的历史数据库中,正常历史数据所占用的容量远远超出扰动数据,本文着重分析正常历史数据表结构,扰动数据表结构的优化也可参照进行。正常历史数据表结构共有 3 个方案,依次说明如下。

3.2.1 方案 A

方案 A 的数据表结构如表 1 所示。

表 1 方案 A 的数据表结构		
Tab.1 The record table structure of scheme A		
字段	名称	类型
IDCODE	点号	INT
TIME	时标	INT
DATA	数据	FLOAT

此表结构和正常历史数据记录的间隔无关,结构固定不变,1 h 将生成 1 张正常数据表。

3.2.2 方案 B

方案 B 的数据表结构如表 2 所示。

表 2 方案 B 的数据表结构		
Tab.2 The record table structure of scheme B		
字段	名称	类型
IDCODE	点号	INT
TIME	时标	INT
DATA1	数据	FLOAT
DATA2	数据	FLOAT
⋮	⋮	⋮
DATA _n	数据	FLOAT

n 由正常历史数据间隔决定,如每 100 ms 记录 1 次,则 $n=1\ 000/100=10$,也即每行存储 1 个数据点(DataID)的 1 s 数据。同时,数据表和子站相关,每个子站 1 h 的历史数据生成 1 张表。

3.2.3 方案 C

方案 C 表结构和方案 B 类似,但是 n 代表子站的测点数,如某 PMU 子站上传 120 个测点,则 $n=120$ 。也是 1 h 对应 1 张表。

3.3 方案比较及优化

方案 C 生成的数据表每行记录对应 1 个子站的数据断面,物理概念明确,而且每个表的记录行数最少,但由于表结构和子站上传的测点配置直接相关,配置增减均影响表结构,很不利于编程。另外,如果配置点数过多,会造成表的字段过多,导致读/写效率大大降低。因此方案 C 可以排除。

方案 A 字段数量固定,编程简单,但由于 1 张表记录了系统 1 h 内的正常数据断面,如果系统测点数量较多,则不但导致记录行数过多,而且影响系统的可扩展性。

方案 B 字段数量和记录间隔有关,在 1 个系统内,记录间隔相对固定,因此方案 B 结构相对固定,同时由于按子站生成不同数据表,减少了记录行数。

方案的选取要体现出历史库的高效性,也即历史数据写入时少占用资源,同时数据查询时能快速响应。对于历史数据写入时占用多少资源,可以使用 Unix 操作系统自带的命令进行监视。

以 SUN SOLARIS 操作系统为例,使用 iostat 工具可监视磁盘 I/O 的占用情况;使用 vmstat 可以统计系统的页交换情况;使用 sar 可以监视 CPU 资源的占用情况^[5]。

为比较两方案,搭建了测试平台模拟实际入库情况,假定整个 WAMS 采集 1 000 个测点,按照 0.1 s 的间隔入库,用以上的几个监视工具统计 1 h 时内入库过程的资源占用。

模拟试验表明,页交换越频繁,系统占用内存资源越多;每秒硬盘 I/O 传输的数据量表示 I/O 需要处理的数据量,越大则说明硬盘 I/O 越忙碌。分析后可知方案 B 的磁盘 I/O、CPU、内存资源占用均好于方案 A。历史数据查询的响应速度可以直接通过调用相同的 SQL 查询语句并统计查询时间对比,结果如表 3 所示。

表 3 查询效率对比

Tab.3 Comparison of query efficiency

测试选项	t_A	t_B
查询 100 s 内所有数据断面	61	13
查询 1 个测点 15 min 内的断面	8	2

注: t_A 为方案 A 使用时间; t_B 为方案 B 使用时间。

从表 3 中可看出,方案 B 的响应速度远快于方案 A。方案 A 字段数少但记录行数太多,一个数据表有可能超过上千万行,过大的表其查询效率将会大大降低。结合资源占用情况对比,最终选择方案 B 应用于 WAMS 历史数据库。

4 结语

WAMS 主站系统的历史库性能是 WAMS 整体性能的关键之一,本文通过几种数据表结构设计方案的对比,确定了一种能保证历史库读写、查询效率的优化方案,由此也说明了合理设计数据库表结构的重要性。该方案已经成功用于多个投运的 WAMS 系统,运行效果良好。

参考文献:

- [1] 吴京涛. 基于 PMU 的电力系统动态监测系统软件包的框架研究[D]. 北京:清华大学,2000.
WU Jing-tao. Framework study of system software package of power system dynamic monitoring based on PMU[D]. Beijing:Tsinghua University,2000.
- [2] 罗建裕,王小英,鲁庭瑞,等. 基于广域测量技术的电网实时动态监测系统应用[J]. 电力系统自动化,2003,27(24): 78-80.
LUO Jian-yu, WANG Xiao-ying, LU Ting-rui, et al. Application of real-time dynamic monitoring system of power network based on wide-area measurement technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(24): 78-80.
- [3] 史蒂夫·鲍勃洛甫斯基. Oracle8i for Linux 实用指南[M]. 刘艺译. 北京:机械工业出版社,2001.
- [4] 胡欣杰. Oracle 9i 数据库管理员指南[M]. 北京:北京希望电子出版社,2002.
- [5] 保罗·沃特斯. Solaris 9 技术大全[M]. 董勇译. 北京:机械工业出版社,2003.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

王立鼎(1974-),男,福建福安人,硕士,从事 WAMS 方面的研究和开发工作(E-mail:wanglid@sf-auto.com);

杨东(1977-),男,江苏盐城人,硕士,从事 WAMS 方面的研究和开发工作;

吴京涛(1970-),男,北京人,博士,从事稳定控制、WAMS 方面的研发和管理工作的;

刘洪林(1969-),男,江西南昌人,讲师,从事电力系统自动化教学与研究。

Optimization of history database in WAMS

WANG Li-ding¹, YANG Dong¹, WU Jing-tao¹, LIU Hong-lin²

(1. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China;

2. Jiangxi Experience Technology School, Nanchang 330008, China)

Abstract: Huge history records should be stored in WAMS(Wide Area Measurement System), and it is necessary to ensure its high efficiency during WAMS construction. Two methods to optimize history database are presented; the performance optimization of commercial database and the table structure optimization of database. The latter is emphasized and three schemes are put forward. Test and analysis are carried out to select one as the best, which has been applied in several WAMS successfully. Practice shows it efficient and reliable.

Key words: WAMS; phasor measurement unit; history database optimization