

航天测控信息数据库实时优化管理策略研究与应用^①

王 华, 刘焕敏, 段慧芬, 年福纯, 施 斌

(中国卫星海上测控部, 江阴 214431)

摘 要: 为提高和优化测控信息数据库实时性能, 设计了一种基于内存数据库与关系数据库的两级实时存储模型, 文章详细阐述了两级数据库的存储机制及其生命周期, 分析归纳了实时测控信息的特征及存储策略, 提出了内存数据库基于“T 树”+“哈希”索引相结合的自适应索引算法和两级数据库实时数据同步机制等关键技术, 从而提升和优化了数据库的实时性、可靠性和安全性, 为今后实时的扩展应用提供了可靠数据保证。

关键词: 内存数据库; 实时优化; 两级数据库; 自适应索引算法; 数据库同步技术

Research and Application of the Real-time Optimization Strategy on the Spacecraft Tracking and Control Information Database

WANG Hua, LIU Huan-Min, DUAN Hui-Fen, NIAN Fu-Chun, SHI Bin

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, JiangYin 214431, China)

Abstract: In order to make up the real-time performance of tracking and control information database, this paper design a kind of two-layer's real-time data storage model based on memory database and relational database. In this article, the two-layer's real-time data storage mechanism and life cycle are expounded in detail, analyzing and inducing the real-time data characteristic and storage strategy, providing the memory database's self-adaption index algorithm of T-tree index and hash index, and introducing the database synchronization mechanism between the memory database and relational database and so on. In this way, so as to improve and optimize the real-time, reliability and security of database, for future expansion of the real-time application data provides a reliable guarantee.

Key words: memory database; real-time optimization; two-layer database; self-adaption index algorithm; database synchronization mechanism

1 引言

随着卫星通信网络建设及试验 IP 网的日益发展, 测控信息传输带宽及传输速率逐步加大, 试验测控任务数据库面临的挑战: 一是关键业务对实时性要求日益突出; 二是业务数据海量, 这些要求是传统数据库的管理方法无法满足的; 另外, 随着航天事业的发展, 航天器测控信息的管理和应用要求更深入、完整和准确, 而测控信息数据库为各种实时应用和公共服务提供统一的数据服务, 其功能架构直接影响到测控软件实时应用的可靠性、稳定性、实时性。因此, 本文研究了一种数据库实时优化管理策略和应用的相关技术。

2 数据库实时优化管理需求分析

(1) 高实时性要求。随着一体化试验信息系统的建设, 试验任务实时信息的流量愈来愈大, 信息的种类也愈来愈多样化, 而很多重要的潜在信息都是通过实时数据的处理、计算和分析来获得的, 对测控信息的实时性要求愈来愈高, 实时数据(如外测和遥测数据)如果不能在有效时间内完成, 将会导致决策或结果无效。

(2) 高可靠性和安全性要求。测控信息数据库是测控信息进行实时数据存储、实时数据质量分析、故障诊断、实时信息监视显示和决策支持的数据资源和共享基础, 特别是在重大航天测控任务中, 要求测控信息数据库必须不间断运行。因此, 必须有有效的管

^① 收稿时间:2013-07-08;收到修改稿时间:2013-10-16

理,保障其运行的高可靠性和高安全性.

3 应用背景介绍

3.1 实时测控软件平台

实时测控软件平台是指航天测控任务中,执行航天器测控任务相关的软硬件系统,本文主要是指某测控单位的指挥监视显示及其相关的应用软件,其主要负责对中心转发的测控信息进行接收、解算、显示及其为增强决策的正确性和监视的可靠性开展的对应的数据分析、数据挖掘和故障诊断等实时应用.

3.2 平台软件构成

某测控单位实时测控软件平台软件分为 7 个子系统:数据通信子系统、数据处理子系统、数据显示子系统、集中控制子系统、实时数据计算分析子系统、实时数据挖掘子系统和实时故障诊断子系统.

如图 1 所示,数据通信子系统接收从中心发过来的测控信息数据帧,在完成校验处理后交由数据处理子系统进行解析,转换成内部约定的数据帧格式再以组播的方式发送,数据显示接收该数据;同时数据处理将解析后的数据进行数据存储,以便给实时数据计算分析子系统、实时数据挖掘子系统和实时故障诊断子系统,提供实时数据信息进行实时数据的二次深入应用.

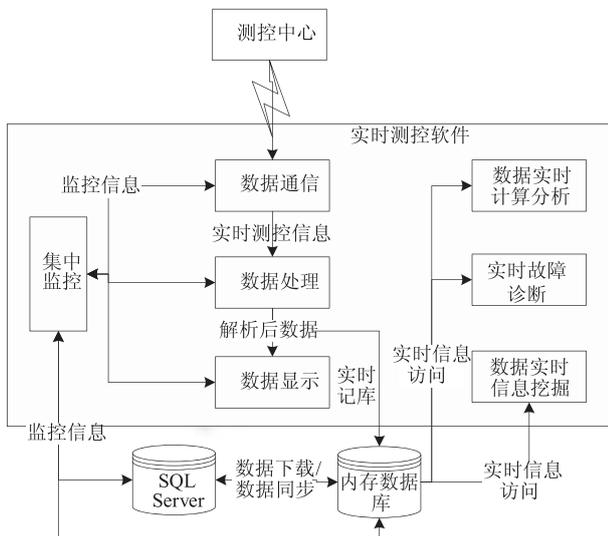


图 1 实时测控软件数据流及软件构成

在任务准备阶段,集中控制通过从数据库中继承高层抽象逻辑模型,实现对数据处理格式的统一配置管理,其存储在 SQL Server 关系数据库中,以完成任务准备阶段型号任务数据库的自适应创建和运行.

在任务过程中,启动两级数据库,内存数据库即测控信息实时数据库(EIMDSS_MMDB)从关系数据库进行数据库模型的下载、创建和运行,实时进行数据存储,同时按照设置的数据同步策略与关系数据库进行数据同步;为保证数据库的可靠性和安全性,集中控制可以完成对其它部分的远程自动控制,可以实时对数据库运行状态进行远程监控,异常状态下可直接进行远程应急处理操作.

任务结束后,停止内存数据库运行,将任务测控信息统一上传至关系数据库,可以进行后续的数据重演等非实时应用,内存数据库的生命周期是任务实战.

3.3 平台硬件架构

实时测控软件平台硬件由以下几个部分组成:集中控制微机、数据通信微机、数据处理微机、数据显示微机、实时数据计算分析微机、实时信息数据挖掘微机、实时信息故障诊断微机、关系数据库服务器、内存数据库服务器和软件分发服务器等,各部分通过局域网实现数据通信,平台硬件构成如图 2 所示.

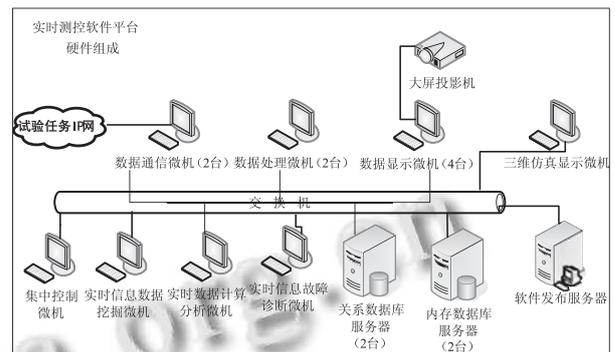


图 2 系统硬件组成

4 实时优化策略及应用

实时测控软件平台中的实时数据计算分析、实时故障诊断等子系统等都需要实时数据库提供快速的数据存储、处理,平台中的各种高级应用也需要实时快捷的支撑,如何快速准确处理、存储越来越多的数据,提高实时性、安全性和可靠性成为优化策略亟待解决的问题.因此本文主要从数据库存储策略、内存数据库索引策略和数据库同步策略等方面,阐述其实时优化策略.

4.1 测控信息两级数据存储策略

4.1.1 测控信息两级数据存储模型

航天测控任务中,一方面需要存储和处理大量持

久、稳定的数据，并维护数据的完整性和一致性；另一方面要及时处理一些不断变化的动态数据，一个重要的标准是时限内的高效性、正确性，例如遥测信息每隔一定的时间将有新的数据产生，如果数据处理不及时，就会导致当前的计算结果或决策变得没有意义，所以在测控信息数据库 EIMDSS_MMDB 中为满足这种实时应用的需求，引入了内存数据库，采用商用关系型数据库和内存数据库相结合的两级数据存储模式，将数据库与实时系统的特性有机融合，其两级模型如图 3 所示。

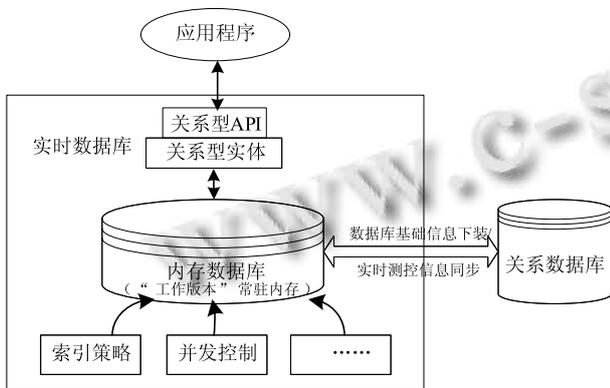


图 3 测控信息数据库架构

内存数据库作为实时测控软件平台的重要组成部分，其原始的数据模型存于关系数据库，使用时是从 SQL Server 关系数据库下载基础数据即关系模型(包括定义的一组二维表，二维表之间通过索引关联)，通过关系型 API 提供数据访问给平台上所有的应用提供数据访问服务^[1]。内存数据库实体仅在应用服务端部署，客户端没有实时数据库。为了满足系统实时性的要求，EIMDSS_MMDB 将采用文件映射机制，使“工作数据”常驻内存，效率远高于直接使用属于磁盘数据库的关系数据库，从而保证数据可靠性、优化服务效率^{[1][2]}。

由于关系数据库管理系统比内存数据库的管理功能强大，模型数据的实时性要求也不高，可借助商用数据库管理模型数据，使得关系数据库与内存数据库进行有机结合，保证模型数据的一致性和开放性^[3]。

4.1.2 两级数据库生命周期

内存数据库的生命周期在任务实战阶段，从任务开始启动至任务结束，其存储内容为某次型号任务实战的实时测控信息模型，任务实战时，内存数据库启

动，并从关系数据库下载型号任务的基础数据信息数据库模型，生成对应的内存数据库，内存数据库的大小根据任务型号需求和以往任务经验设置初始容量和最大容量，并根据数据同步策略进行内存数据库向关系数据库的数据同步。任务结束后，将内存数据库信息同步到关系数据库，内存数据库停止运行。

通过两级存储模型，将实时性强、访问频度高和关键信息存储在内存数据库，便于实时数据计算分析子系统、实时数据挖掘子系统和实时故障诊断子系统的高实时数据访问。

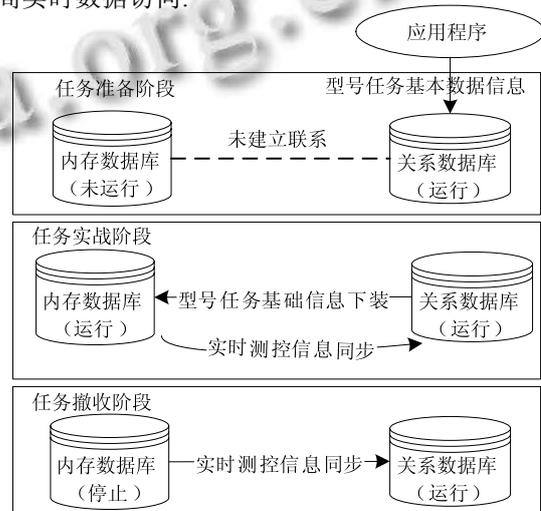


图 4 生命周期内两级数据库通信机制

4.1.3 实时测控信息特征及分类存储

在航天测控任务中，实时数据能够实时地反映火箭、卫星或者飞船等飞行器的运行状态，通过对这些数据的采集、监测和分析可以使指挥人员或者技术人员及时掌握航天器的性能、运行状态，从而保证航天器能正常稳定运行，也可以从数据分析当中及时把握整个系统的运行趋势。

实时测量数据，主要是来自火箭、卫星等航天器的实时外测、遥测数据、基础信息等，能够反映当前的航天器运行状态。测控任务实时信息中的数据表现为多种不同的特征，其实时数据信息分类^[4]，如图 5 所示，根据其分类特点我们采用相应数据安置存储策略，优化数据库的实时性。

① 实时性

长时限数据，包括：起飞时间、轨道根数、分离点参数、气象数据、控制命令等；

短时限数据，包括：弹道、遥测数据、外测数据、

设备状态及链监信息等;

对于实时数据,短时限实时数据必须保存在内存数据库中,否则经过磁盘存取,它可能已经无效了.长时限数据存于关系数据库中,事务对它的读、改、写不会使它失效.

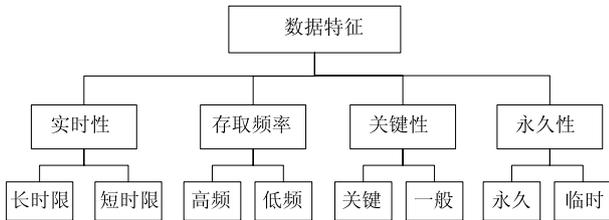


图 5 实时数据特征分类

② 存取频率

高频数据,包括:弹道、遥测数据、外测数据等;

低频数据,包括:基础信息、起飞时间、轨道根数、分离点参数、气象数据、控制命令、设备状态及链监信息等;

依据存取频率,高频数据常驻内存,且不被“替换”出去.若它们还具有永久性,应将其移到内存数据库中,然后再按常规转到关系数据库上.低频数据常驻磁盘,它们只有需要时才取到内存.

③ 关键性

关键数据,包括:起飞时间、轨道根数、分离点参数、弹道、遥测数据、外测数据、控制命令、基础信息等;

一般数据,包括:气象数据、设备状态及链监信息等;

依据关键性,考虑到发生故障时恢复得及时性,关键数据安置在内存,一般数据综合其他特性决定其安置策略.

④ 永久性

永久数据,包括:基础信息、弹道、遥测数据、外测数据、起飞时间、轨道根数、分离点参数、气象数据、控制命令、设备状态及链监信息等;

依据永久性,永久数据存于内存数据库或关系数据库,结合存取频率再考虑存储位置.

在决定数据的存储时,要综合考虑数据各种特征.在航天测控任务中对航天器测控的跟踪、监视和分析应用中,短时限、高频、临时的关键数据,这种数据应置于内存,或者若内存有限而其时限虽短但是足够对内存数据库的一次读写,则可临时存于内存数据库,

且不能替换出去;传统磁盘数据库中的数据大多是长时限、低频、永久的非关键数据.

4.2 内存数据库自适应索引策略

引入适当的索引策略能对内存中的数据访问进行有效组织,引入适当的并发控制技术能对实时事务访问进行有序并发控制,这两个功能是提高实时数据库性能的关键之处^[5].

内存数据库是将数据放在内存中直接操作的数据库,利用内存的读写速度比磁盘快、内存是随机访问而磁盘是顺序访问这两个特点,将数据保存在内存中,在内存中模仿建立表结构和索引结构并针对内存特性进行优化,能够提高应用的性能^[6].

对实时系统中的数据进行有效组织访问,需要用到索引技术,索引是提高数据库系统执行效率的一种有效方法.选取适当的索引策略是数据库物理设计当中一个重要的优化效率问题.在实时测控软件的应用中,最常见的操作是对实时数据的查询,它通常涉及到两类查询,一种是单一的等值查询操作,另一种是兼具范围查询和等值查询的操作.因此根据该特点,本文提出两种索引方案用来满足应用需求,一种是基于 T 树索引方案,另一种是桶散布哈希索引方案^{[1][6]}.二者分别有不同的应用场合.

对测控信息内存数据库中的数据进行访问时,可以根据具体情况建立适当的索引,即实现 EIMDSS_MMDB 自适应索引机制,其可配置的索引方案如下:

```
enum Indextype {HashIndex, TgIndex};
```

//Indextype 选择: 1, 代表建立哈希索引; 0, 代表建立 T 树索引.

对于实时测控信息中信源、信类等关键字存在相关性的表查询,可能会涉及到范围查询,此时使用减少平衡操作、提升范围查询性能的 T 树索引;对于基于参数状态、模型数据等无关联的属性的表查询,可以使用桶散布哈希索引,以方便随机等值查询.两种索引可以在创建数据库模型时根据型号任务实际情况进行索引类型的设置.

4.3 数据库实时同步策略

在测控信息数据库中涉及两种情况下的数据库同步:

(1) 在数据库运行正常的情况下,在任务实战过程中,内存数据库和关系数据库之间按照定时和内存数据库容量占有率相结合的方法进行数据库之间的数

据同步。

(2) 在数据库运行异常的情况下,进行数据库的恢复和数据库同步,比如主用或者备用数据库出现问题,就需从正常的数据库中进行内存数据库的重启和数据库模型的下载;而关系数据库需从备份方进行数据同步。

在实时测控软件平台中,设置主备用数据链路且均采用了内存数据库与关系数据库两级数据库模式。在任务执行过程中,实时测控软件平台同时对主备用数据库进行各类任务信息处理。如图 6 所示,为任务实战状态测控任务数据库的实际部署。

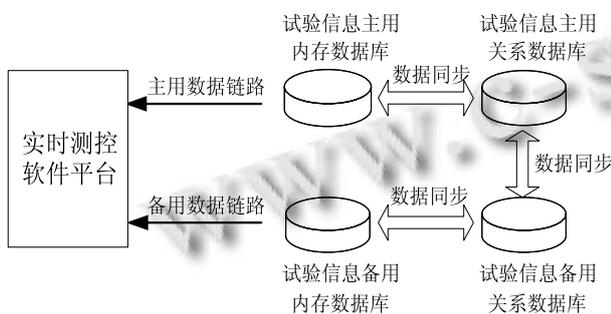


图 6 实时测控软件平台数据库部署

在实战中数据库异常实时同步策略如下:

① 某数据链路中断,例如主用数据链路不通,直接切换至备用链路,为确保数据的高实时性,只进行备用关系数据库与主用关系数据库的同步,此时备用数据库初始化,装载初始数据模型,接收实时数据后再与其相应的关系数据库同步。

② 某数据库出现故障,例如主用关系数据库出现故障时,首选与其相应的主用内存数据库进行同步,在其主用内存数据库不需要同步的情况下,与备用关系数据库同步。

在同步机制上,我们设计了基于 ETL 技术和 XML 技术同步机制的中间层^{[7][8]},目的是满足数据同步的实时性要求、适应有限带宽、增强系统数据同步的松耦合性。

5 结语

本文通过建立内存数据库和关系数据库两级数据存储结构、对应的数据交互策略和数据库异常同步机制,有效提高了实时数据信息存储、处理和使用的实时性和可靠性,为实时测控信息的数据分析和数据挖掘等深入应用,提供了高时效的实时数据信息访问的数据基础,从而提升和优化了数据库的整体性能,后续可进一步对内存数据库的持久化方面作进一步的研究。

参考文献

- 1 李修忠.EMS 系统中实时数据库关键技术研究及实现[学位论文].南京:南京航空航天大学.2009.
- 2 迟岩.实时内存数据库的内外存数据交换处理[学位论文].武汉:华中科技大学.2004.
- 3 李昭原.数据库技术新进展.北京:清华大学.2007.
- 4 杨惠仁.实时数据库系统关键技术在红枫湖大桥健康监测系统中的应用研究[学位论文].贵阳:贵州大学.2007.
- 5 张效尉,姜静.内存数据库技术研究.软件导刊,2011,10(10):147-148.
- 6 陆宏.一种高效内存数据库设计.指挥信息系统与技术,2011,3(1):81-84.
- 7 郭抒翔. ETL 关键技术在电网综合数据平台[学位论文].天津:天津大学.2010.
- 8 曾敏.数据同步在基于内存数据库的 HLR 系统中的研究与实现[学位论文].成都:电子科技大学.2008.