

铁路调度集中系统实时备份与应急切换技术^①

胡跃华¹, 夏禹¹, 刘杰²

¹(朔黄铁路发展有限责任公司 肃宁分公司网管中心, 肃宁 062350)

²(中国科学院软件研究所, 北京 100190)

摘要: 分散自律调度集中系统(以下简称 CTC 系统)是铁路运输的核心信息系统, 数据的可靠性保障十分重要. 传统方法通过人工定期进行数据库备份, 并在出现故障时进行人工恢复, 无法保障铁路运输系统的不间断正常运行. 本论文基于 Oracle Data Guard 技术设计实现了 CTC 系统数据库数据实时备份方案, 对主用数据库数据动态自动备份, 在备份和恢复过程中对用户完全透明, 不影响调度员和车站值班员的正常使用, 在占用数据库资源最小的情况下执行备份过程; 当主用数据库发生问题或日常进行主备库倒换试验, 通过数据库维护人员的简单操作, 即可进行数据库业务的应急切换. 在实际应用过程中, 备用数据库和应急切换机制为缩短 CTC 的调度指挥中断时间起到了关键作用.

关键词: CTC 系统数据库; Data Guard 技术; 异地备份; 应急切换

Solution for CTC System Database Real-Time Backup and Emergency Switch

HU Yue-Hua¹, XIA Yu¹, LIU Jie²

¹(Shuohuang Railway Development Co., Ltd. Suning Branch Network Management Center, Suning 062350, China)

²(Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The CTC system is the core of information system of railway transportation, so the reliability of data protection is very important. Manually regular database backup and manually recovery in the event of failure cannot guarantee uninterrupted operation of the railway transportation system. We design a solution based on Oracle Data Guard technology to implement real-time data backup and the restore process is completely transparent to the user, which does not affect the normal use of the dispatcher and the station attendant. We can execute the backup process under the condition of minimum resource available. We implement the solution and achieve excellent effect in the application scenario.

Key words: CTC; Data Guard; real-time backup; emergency switch

1 引言

随着铁路信息化快速发展, 分散自律调度集中系统(以下简称 CTC 系统)逐步完善和广泛应用, 调度指挥工作效率得到了很大的提高, 同时保证数据安全随之成为工作中的重中之重, 在 CTC 系统数据库出现故障时, 及时的启动应急响应, 保证数据库及时恢复和数据的完整^[1,2]. 针对 CTC 系统业务和数据安全的要求, 结合朔黄铁路自身的特点, 本文分析比较了 CTC 系统数据库从人工静态备份技术到动态自动备份和实时切换的技术方案. 相比较于静态备份技术, 动态备

份技术具有易管理、易维护和节约成本等特点, 并且当 CTC 系统数据库出现故障, 能够最大限度的减少业务中断时间, 保障数据的安全

2 现状及存在的问题

朔黄铁路综合运输信息系统的核心业务和基础数据来源为 CTC 系统数据库, CTC 应用服务器、各个调度台、车站基层网设备都通过网络通道与之相连, 实时存取调度指挥数据等行车数据, 同时各个生产库与之相连, CTC 系统数据库为其提供基础行车数据, 如

① 收稿时间:2015-05-12;收到修改稿时间:2015-06-23

图 1 所示.

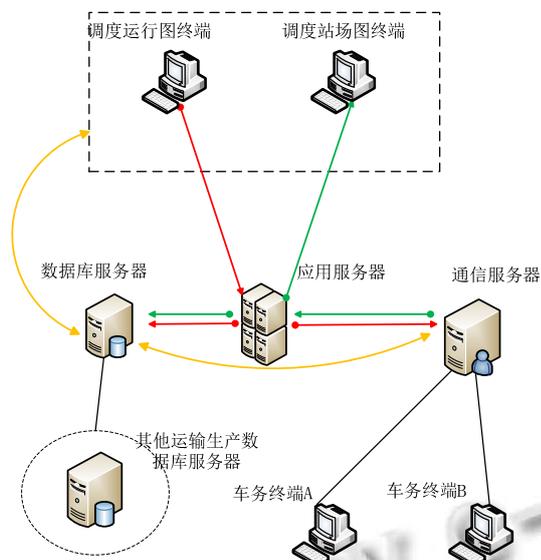


图 1 CTC 数据流向图

CTC 系统数据库是基于 AIX 操作系统架构下的 Oracle 数据库, 随着运输业务增长, 数据量也呈几何级增长, 年数据增量维持在 1TB. 据 2013 年监测统计, 单台数据库每日处理的数据量已经达到 500Mb. 数据库数据逐渐呈现规模巨大与多样性, 在 CTC 系统数据库的存储管理中针对调度行车数据分为调度用户、基本运行图、调度命令模板等静态数据和日班行车计划、天窗计划、限速命令等动态数据, 它们分别以不同的“表”形式存储在数据库中. 如表 1 所示.

表 1 CTC 系统数据库数据表

表名	描述
Sys_ID_USER	调度员用户(静态数据)
Sys_ID_TG	基本运行图(静态数据)
Sys_ID_DC	调度命令模板(静态数据)
Sys_ID_SH	日班行车计划(动态数据)
Sys_ID_TG_TC	天窗计划(动态数据)
Sys_ID_DC_XS	限速命令(动态数据)

在数据库建设初期, 由于数据库配置较高, 数据量较小, 资源消耗不是太大, 可以满足工程技术人员通过 Export 脚本命令执行的完整数据备份和日常业务所需的资源要求, 此种方式是将数据库所有数据导出至指定路径存放, 通过人工定期导出异地备份. 在系统正式运行后, 也一直延续这种数据备份方式进行维护.

但随着神华运量的大幅增加, 调度指挥业务量也

不断增大, 对应的 CTC 调度指挥信息系统的安全性和应急响应也随之有更高的要求, 而系统中数据库数据的安全和完整性是重中之重. 我们在对数据库维护过程中, 发现存在由下列几个比较严重的问题:

(1)备份数据增大导致占用数据库系统资源增多. 存储数据的不断增多(每年将近 1TB 的增量), 整盘

备份数据花费的时间将不断增长, 在备份数据的时间段内如果发生比较消耗系统资源的调度业务出现, 将出现抢占资源的现象, 同时调度业务将会变慢、数据备份也随之受到影响, 更有甚者会影响调度命令、阶段计划的下达, 列车自动排路自动执行, 行车业务的通畅随之受到影响.

(2)无实时备份会造成恢复时部分数据丢失. CTC 系统数据库业务就是对数据库表中存储的动态数据进行读取、插入、删除、更新等操作. 在对这些数据动态操作过程中如果发生不可预知的错误, 将会影响这些数据的完整性, 而这些数据通过 RAID5 的存储机制在磁盘阵列中分散存放, 没有连续性, 无法找到故障点进行断点续传恢复, 只能通过备份数据对某一时间段恢复, 由于不是实时备份, 但也会丢失一部分数据.

(3)CTC 数据不完整会殃及到关联系统的数据完整性. CTC 系统数据库是朔黄铁路综合运输信息系统的核心, 它为其他应用系统提供基础行车数据保证, 如一日列车工作计划、机车调度计划, 日班运量统计等, 通过内部 MQ 程序运行队列进行数据推送, 通过综合调度数据库服务器进行转储完成数据的共享, 如果 CTC 系统数据库发生问题, 中间数据库(也就是综合调度数据库)的将得不到完整的数据.

(4)用传统方式恢复备份数据具有时间不可控的缺陷. CTC 系统数据库为调度指挥提供实时数据存取服务, 需要保证其 7 * 24 不间断运行, 库内的行车数据实时更新. 意外断电、服务器故障、磁盘阵列损坏、数据库故障、甚至调度员的误操作, 都会带来 CTC 系统数据库灾难性的数据丢失或业务中断, 虽然可以利用备份数据恢复 CTC 系统数据库业务, 但是恢复期间需要经历确定故障点、排除故障、建立备份环境等一系列过程, 时间长短只能根据恢复工作的进度来确定, 具有不可控性^[5].

为了保证 CTC 系统数据库能够实时完整备份, 在发生故障时能够快速切换, 提出了 CTC 系统数据库动态自动备份和快速切换技术方案.

3 CTC系统数据库的自动备份和切换技术方案

Oracle 数据库备份, 传统上采用整盘数据备份和增量数据备份. 现在已发展到 11G 版本, 具有 Data Guard 技术, 即 open read only 状态下接受应用源数据库的日志归档备份, 采用这种技术可大大节省备份数据库的磁盘空间和备份时的资源消耗^[3,4].

3.1 Data Guard 技术分析与特点

(1)Data Guard 备份技术是在应用层, 将在线数据备份到离线磁盘阵列上, 完成数据的离线归档, 通过传输和运行数据库日志文件, 来保持生产和备用数据库的数据一致性, 实现对生产库的在线备份. 一旦主用数据库因某种情况而不可用时, 备用数据库将正常切换为主数据库, 以达到无数据损失或最小化数据损失的目的, 为业务系统提供持续的数据服务能力^[3].

(2)数据库的数据同步和备份在整个备份系统的自身安全上具有互补作用. 表现在: 当备用数据库同步出现问题时, 可以不用中断主用数据库的业务, 通过主用数据库数据在线恢复备用数据库数据, 进而修复备用数据库. 这样可以避免造成停机对调度指挥业务的干扰.

(3)无论是物理备用数据库还是逻辑备用数据库, Data Guard 在数据保护模式注重数据的完整性, 从主用数据库同步数据, 直到备用库成功接收数据信息, 主库上的事务才会提交. 如果备用在备用数据库运行不正常的情况下, 操作可以在主库上继续执行. 当备用库重新可用之后, 将会继续同步. 但是如果在同步完成之前, 主库由于故障损坏, 将会丢失部分数据.

3.2 CTC 系统数据库的备份方案

朔黄铁路 CTC 系统数据库由 2 台主备 IBM P550 小型机服务器和 1 套磁盘阵列构成, 数据库使用 oracle 的 11GR2 数据库版本. 我们利用既有的 1 台 IBM P550 小型机做为应急数据库服务器, 也称作备用数据库, 1 套备用磁盘阵列存储备份数据库的数据文件, CTC 系统数据库使用 oracle 的 11GR2 数据库版本, 通过 Data Guard 技术实现主数据库的日志备份和创建恢复节点, 从而实现对 CTC 系统数据库进行同步保护. 如图 2 所示.

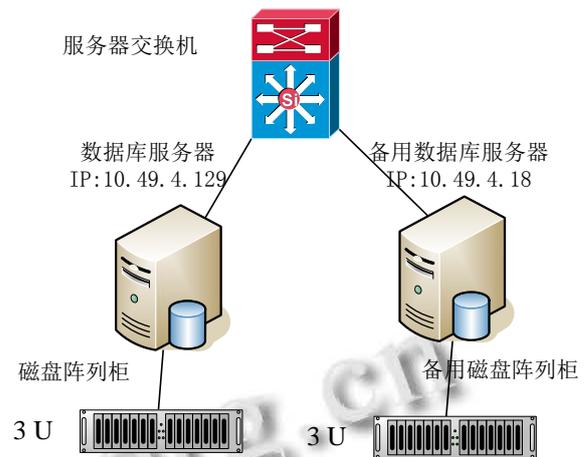


图2 数据库部署图

Data Guard 技术是通过在主用数据库和备用数据库建立节点, 两个节点间通过日志同步的方式来保证数据库中的数据同步. 在数据同步(即日志同步)过程中数据量较小, 按时间段划分大概 700MB/天, 所以占用系统资源也较少, 不会影响数据库的日常业务, 对调度用户完全是透明的, 不影响调度用户的使用.

3.3 应急切换方案

CTC 系统数据库一旦发生故障, CTC 业务将中断, 例如预存调度命令下发、阶段计划的存取等都将受到影响, 此时为了不影响调度指挥的正常运行, 需要尽快切换至备用数据库, 切换方案如下:

(1)CTC 系统主用数据库切换到备用数据库准备

①查看主用数据库状态, 如果主用数据库的状态是“TO STANDBY”或者“session active”, 备库的状态是“TO PRIMARY”或者“session active”, 表明主用数据库状态正常.

②检查在备用数据库没有日志间隙, 确认主库和备用库之间没有归档缝隙, 也就是主库当前的归档 sequence#, 与备用库当前接受是 sequence#相同.

③执行 SWITCHOVER 测试, 确认在 RAC 环境时, 主库需要只保留一个实例操作, 其他的都关闭. 以 oracle 身份登录到主用数据库执行关闭操作.

2)主用数据库切换到备用数据库

①在主用数据库上, 执行切换命令, 将主用数据库转为备用数据库接收归档日志.

②在备用数据库上, 将备用数据库转换角色成为主用数据库.

③打开新的主用数据库.(原备用数据库)

(3)修改 CTC 调度终端应用程序配置文件或修改备用数据库 IP 地址

①如果备用数据库 IP 地址不变,则修改调度终端 Tnsnames.ora 文件中的 IP 地址指向变为备用数据库的 IP 地址。

②如果直接修改备用数据库的 IP 地址为主用数据库地址,则可以直接进行数据库的应用业务,不需修改任何终端和服务器参数。

4 实验验证

(1)在 CTC 系统数据库日常维护过程中,除了检查数据库文件系统性能和磁盘空间外,为了保证数据完整性,对备用数据库还要进行切换实验。

①更改调度终端和相关系统中间数据库的指向:首先更改 IP 指向,从主用数据库 10.49.4.129 变更为 10.49.4.18;然后更改数据库名的指向从主用数据库名 ora 变更为 oral。

②验证备用数据库数据完整性。调度终端和相关系统中间数据库直接查询最新调度命令或运行图数据,与主用数据库连接的调度终端进行比较,实时数据完全一致,这样就验证了备用数据库与主用数据库通信良好且数据备份完整。试验完成后将调度终端指向更改为主用数据库即可。

(2)在 CTC 系统数据库搬迁过程中,应急手段得到了应用机会,缩短了调度指挥业务的中断时间。

①采用 Data Guard 备份技术的数据库同步解决方案已经在朔黄铁路成功运行将近半年时间,在日常切换实验的基础上制定了相应的应急预案,当发生主库故障情况下,可直接将备用数据库的对外 IP 地址更改为主用数据库的 IP 地址,并关闭备用数据库日志归档服务,同时备用数据库转换为主用数据库提供数据库业务服务。

②在朔黄铁路 2014 年元月 23 日信息机房搬迁过程中,在主用数据库光纤交换机故障无法向外提供服务的情况下,紧急启用了备份数据库,由两名维护人员同时操作主备库的切换,仅仅用了 5 分钟时间,备用数据库转换为主用数据库,承担 CTC 系统数据库业务近 24 小时,为调度指挥业务正常运行提供了保证,减少了故障延时。

5 结语

(1)采用 Data Guard 备份技术,是当前主流的数据

库的高级复制技术,从应用层解决了数据库的实时备份和应急切换问题,与远程磁盘镜像方案来比,节约磁盘成本约 50~60%,另外在网络资源占用上,Data Guard 技术只传输相应 DML 语句的日志信息,与磁盘镜像技术传输交易所涉及的所有数据块及归档日志数据相比,其传输量减少 7 倍,从而节约了网络资源。

(2)相比较静态备份数据库,大大缩短了主库故障后的恢复时间,通过停用主用数据库,更改备用数据库 IP 地址,直接替换主用数据库提供数据库业务服务的方法,时间从 1 个多小时缩短至 5 分钟。并且还能有效保证数据库数据的完整性。

综上,我们通过 oracle 的 11GR2 的 Data Guard 备份技术,对数据库的动态备份和应急切换进行了探索和实践,在应用层完成数据库日志归档,进而保证主备数据库的数据一致性,取得了可喜的成果:

①实现了对 CTC 系统数据库的自动备份,

②实现了快速的人工主备库切换(双人切换操作约 5-10 分钟左右),大大压缩了 CTC 主用数据库故障后系统的中断时间。

③为实施异地容灾备份积累了经验。通过 CTC 系统数据库的实时备份与应急实践,可以将包括 CTC 在内的其他生产数据库都同步到远程服务器和数据存储器上,通过与异地的网络连接,在主用生产数据库发生故障,业务中断或数据库数据丢失时,可以在短时间之内在异地完成数据库和业务的切换,进而保证朔黄铁路日常管理和运输生产信息系统的有序运行。

④本方案,是在利用既有资源条件下,解决了眼前的燃眉之急。以后如果资金到位的情况下,可开发第三方支持软件,实现数据库状态的实时监控,数据库故障时自动切换功能,使数据库的安全性得到了大大的提高。

参考文献

- 1 侯启同.调度集中和列车调度指挥系统.北京:中国铁道出版社,2013.
- 2 运基信号 2007.696 调度集中系统(CTC)数据通信规程.
- 3 Carpenter L, Meeks J, Liu YD, et al. Oracle Data Guard 11g 完全参考手册.北京:清华大学出版社,2011.
- 4 张乐奕.Oracle9i 数据库 Data Guard 实施及维护手册.Oracle 数据库维护论文集.北京,2010.
- 5 宋鹏飞,许伟,王涛. CTC/TDCS 核心数据库定时备份及应急切换方案.铁道通信信号(增刊)2013.