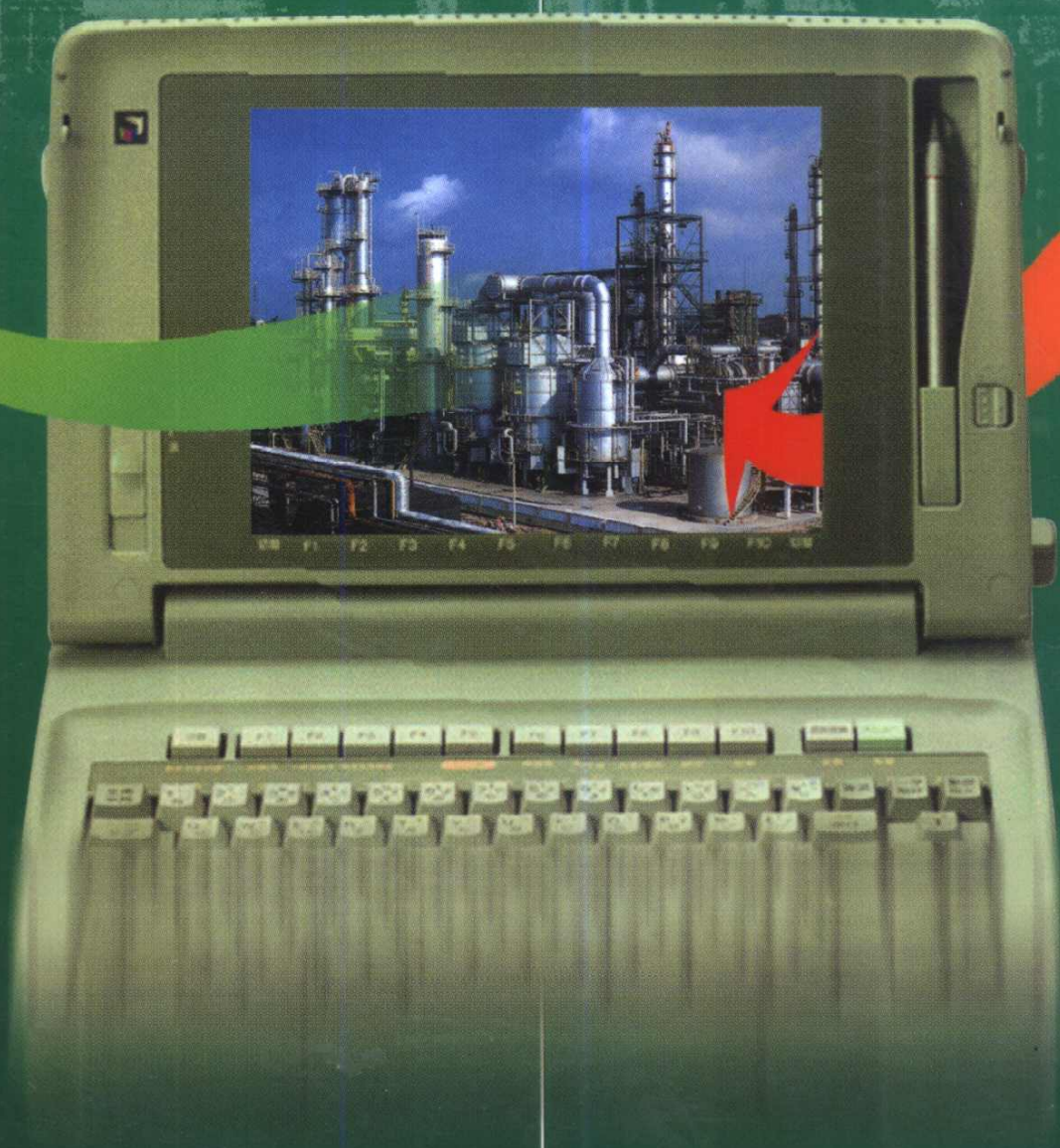


# 实时数据库原理及应用



张志橦 主编



中国石化出版社

766

7D311.13  
Z36f

# 实时数据库原理及应用

张志標 主编

中國石化出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

实时数据库原理及应用/张志標主编.  
—北京:中国石化出版社,2001  
ISBN 7-80164-028-4

I. 实… II. 张… III. 数据库系统  
IV. TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 029761 号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271859

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 30.5 印张 778 千字 印 1—2000

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

定价:82.00 元

主 编 张志橦

副 主 编 李鸿宾 赵建华 彭松涛

撰稿人员 张志橦 晏 立 卢乒乒 陈 松 陆治荣  
郑 宁 金 震 王建新 于 永 甄 镭  
黄嘉珀 顾 坚 文见明 胡红叶 张红斌  
沈谦立 蒋白桦 周博才 寿建祥 沈大农  
何力健 何千里 黄可飞 李 理 包浴平  
夏茂森 张晓兵 苏绍青 高 翔 刘胜玉  
刘晓光 张亚堂 周 颖 石京林 张 昆  
郑晓光 赵奎宏 常 征 罗 真 曼红军  
胡惠琴 姚建伟 王 燕

审稿人员 张志橦 李鸿宾 赵建华 彭松涛

责任编辑 白素萍

# 编者的话

为了推动中国石化 CIMS 和实时数据库(RTDBMS)的进一步普及和应用,编写一本《实时数据库原理及应用》是十分必要的。CIMS 是国外发达工业国家提出并推行的用信息系统提升改造传统产业的一种标准模式。从西方兴起,传到了东方,日本尤为重视;从发达国家提出,也传到了发展中国家,中国特别重视,政府将它列入国家 863 高技术发展计划。实时数据库是近 10 年才被国内重视和试用的技术,但远没有被大家所了解。然而,实时数据库是 CIMS 的基础,是管理、控制一体化的核心技术。研究实时数据库的原理,分析实时数据库的技术,介绍实时数据库的产品,交流实时数据库的应用,推动实时数据库的实施,进而提升传统产业,则是编写本书的目的。

本书由中国石油化工股份有限公司信息管理部张志標副主任任主编,李鸿宾副总工程师、赵建华副总工程师、彭松涛副处长任副总编。总体策划构思、章节设计以及撰写组织由张志標负责。参加撰稿的有美国 OSI 公司、Aspen Tech 公司、Honeywell 公司、英国 Ivensys 公司或其各自代理商,以及中国大庆金桥信息技术工程有限公司、北京三维天地计算机技术开发有限公司、北京和利时系统工程股份公司、北京时林电脑公司、南京中国国家电力公司自动化研究院中德公司以及中国石化、中国石油系统的十几个炼化企业的工程技术人员。其中第一章、第二章、第十三章由张志標和晏立撰写,第三章由卢乒乓撰写,第四章由陈松撰写,第五章由陆治荣撰写,第六章由郑宁撰写,第七章由宴立撰写,第八章由金震、王建新撰写,第九章由于永撰写,第十章由甄镭撰写,第十一章由黄嘉珀、顾坚撰写,第十二章按照先后顺序分别由文见明、胡红叶、张红斌、沈谦立、蒋白桦、周博才、寿建祥、沈大农、何力健、何千里、黄可飞、李理、包浴平、夏茂森、张晓兵、苏绍青、高翔、刘胜玉、刘晓光、张亚堂、周颖、石京林、张昆、郑晓光、赵奎宏、常征、罗真、曼红军、胡惠琴、姚建伟等人撰写。

第一章、第二章、第十三章由张志標审校,第三章至第六章由李鸿宾审校,第七章至第十一章由彭松涛审校,第十二章由赵建华审校,全书的缩略语整理和部分文字改录工作由王燕担任,全书由张志標统审,白素萍担任责任编辑。

澳大利亚 Motherwell Information System 公司的代理提供了相关资料,但由于文字整理和修改工作量过大,未能编入本书。

在本书问世之际,向为本书付出辛勤工作的所有工作人员表示衷心感谢。

由于水平有限,书中错误难免,敬请各位专家和实际应用的工程技术人员赐教。

编写组

# 目 录

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| <b>第一章 前言</b> .....                    | (1)   |
| 第一节 数据库技术的产生与发展.....                   | (1)   |
| 第二节 实时数据库系统的应用.....                    | (3)   |
| 第三节 实时数据库系统的选型.....                    | (4)   |
| <b>第二章 总论</b> .....                    | (6)   |
| 第一节 实时数据库的时间特性.....                    | (6)   |
| 第二节 实时数据库的体系结构.....                    | (8)   |
| 第三节 实时数据库中的数据 .....                    | (10)  |
| 第四节 实时数据库中的事务 .....                    | (12)  |
| 第五节 实时数据库中的调度策略 .....                  | (16)  |
| 第六节 实时数据库的并发控制 .....                   | (18)  |
| 第七节 工程实时数据库 .....                      | (20)  |
| <b>第三章 PI</b> .....                    | (21)  |
| 第一节 概述 .....                           | (21)  |
| 第二节 原理 .....                           | (24)  |
| 第三节 技术特点 .....                         | (39)  |
| 第四节 功能及用途 .....                        | (42)  |
| 第五节 各种系统的数据接口 .....                    | (48)  |
| 第六节 应用领域和典型应用案例 .....                  | (52)  |
| <b>第四章 InfoPlus.21</b> .....           | (57)  |
| 第一节 概述 .....                           | (57)  |
| 第二节 外层应用产品 .....                       | (70)  |
| 第三节 接口 .....                           | (88)  |
| 第四节 应用领域及典型应用案例 .....                  | (91)  |
| <b>第五章 Uniformance</b> .....           | (99)  |
| 第一节 概述 .....                           | (99)  |
| 第二节 原理.....                            | (100) |
| 第三节 设计原则和技术要点.....                     | (115) |
| 第四节 功能及用途.....                         | (119) |
| 第五节 特点.....                            | (123) |
| 第六节 相关接口.....                          | (134) |
| 第七节 发展趋势.....                          | (142) |
| <b>第六章 Industrial SQL Server</b> ..... | (145) |
| 第一节 概述.....                            | (145) |
| 第二节 原理.....                            | (145) |

|            |                  |       |
|------------|------------------|-------|
| 第三节        | 技术特色             | (153) |
| 第四节        | 功能及用途            | (162) |
| 第五节        | 应用领域             | (163) |
| 第六节        | 典型应用案例           | (165) |
| <b>第七章</b> | <b>ConRTDB</b>   | (171) |
| 第一节        | 概述               | (171) |
| 第二节        | 总体设计             | (171) |
| 第三节        | 模型               | (174) |
| 第四节        | 实时数据库系统          | (176) |
| 第五节        | 实时数据库点组态         | (178) |
| 第六节        | 实时数据输入和输出        | (180) |
| 第七节        | 实时数据报警处理         | (183) |
| 第八节        | 历史数据             | (186) |
| 第九节        | 统计数据             | (189) |
| 第十节        | 操作记录             | (190) |
| 第十一节       | 仿真数据库            | (190) |
| 第十二节       | 客户/服务器通信         | (191) |
| 第十三节       | 数据视图             | (191) |
| 第十四节       | 应用程序编程接口         | (195) |
| 第十五节       | 用户触发器程序          | (198) |
| 第十六节       | 系统管理             | (199) |
| 第十七节       | 用户管理             | (201) |
| 第十八节       | 分布式系统            | (201) |
| 第十九节       | 应用               | (201) |
| 第二十节       | 发展趋势             | (201) |
| <b>第八章</b> | <b>SuperInfo</b> | (203) |
| 第一节        | 概述               | (203) |
| 第二节        | 原理               | (203) |
| 第三节        | 技术要点和特色          | (225) |
| 第四节        | 功能及用途            | (237) |
| 第五节        | 相关接口             | (244) |
| 第六节        | 应用领域             | (252) |
| 第七节        | 典型应用案例           | (253) |
| 第八节        | 发展趋势             | (261) |
| <b>第九章</b> | <b>RealMIS</b>   | (264) |
| 第一节        | 概述               | (264) |
| 第二节        | 技术原理及特色          | (264) |
| 第三节        | 功能及用途            | (266) |
| 第四节        | 应用领域及典型应用案例      | (272) |
| 第五节        | 前景展望             | (279) |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| <b>第十章 SLRS</b>                     | (280) |
| 第一节 概述                              | (280) |
| 第二节 原理                              | (282) |
| 第三节 技术要点与特色                         | (287) |
| 第四节 功能与用途                           | (297) |
| 第五节 相关接口                            | (308) |
| 第六节 应用领域                            | (312) |
| 第七节 典型应用案例                          | (318) |
| 第八节 发展展望                            | (323) |
| <b>第十一章 NSIS</b>                    | (325) |
| 第一节 概述                              | (325) |
| 第二节 原理与技术                           | (329) |
| 第三节 实时数据库系统的非实时数据库                  | (338) |
| 第四节 实时数据库的客户端                       | (339) |
| 第五节 实时数据库的 Web 服务器                  | (342) |
| 第六节 相关开放接口                          | (343) |
| 第七节 系统特点                            | (346) |
| 第八节 应用领域与典型案例                       | (347) |
| 第九节 发展趋势                            | (348) |
| <b>第十二章 重点应用案例与分析</b>               | (350) |
| 第一节 InfoPlus 在中国石化福建炼化有限公司的应用       | (350) |
| 第二节 PI 在中国石化镇海炼化股份公司的应用             | (359) |
| 第三节 PI 在中国石化长岭分公司的应用                | (370) |
| 第四节 中国石化镇海炼化股份公司炼油一车间利用 PI 优化班组成本考核 | (376) |
| 第五节 InfoPlus 在中国石化上海石化股份有限公司的应用     | (388) |
| 第六节 InfoPlus 在中国石化茂名分公司的应用          | (395) |
| 第七节 Uniformance 在中国石化金陵分公司的应用       | (407) |
| 第八节 InfoPlus 在中国石化齐鲁分公司胜利炼油厂的应用     | (412) |
| 第九节 PI 在中国石化济南分公司的应用                | (423) |
| 第十节 ONSPEC 在中国石化广州分公司 MIS 中的应用      | (428) |
| 第十一节 ConRTDB 在大庆化工一厂的应用             | (435) |
| 第十二节 InfoPlus 在辽阳石化公司的应用            | (441) |
| 第十三节 InfoPlus 在乌鲁木齐石化公司的应用          | (445) |
| 第十四节 NSIS 在中国石油独山子石化公司炼油厂的应用        | (451) |
| 第十五节 NSIS 在中国石化石家庄炼油厂的应用            | (456) |
| 第十六节 Uniformance PHD 在先进控制中的应用      | (461) |
| 第十七节 PI 在电力企业的应用                    | (465) |
| <b>第十三章 展望</b>                      | (471) |
| <b>附录 缩略语</b>                       | (474) |

# 第一章 前 言

## 第一节 数据库技术的产生与发展

计算机在企业管理以及其他许多领域里的应用,都与数据打交道,都以数据处理为基础。离开了数据,计算机应用甚至人们的绝大多数工作将无从谈起。计算机用于数据管理,早期(20世纪50年代)为文件管理,后来(60年代)发展为数据库管理。数据库是数据管理的最新技术。数据库管理系统已从早期专用的应用程序包发展成为通用的系统软件。数据库技术是计算机科学技术中发展最快的领域之一,也是应用最广的技术之一,并且成为计算机信息系统与应用系统的核心技术和重要基础。

数据库技术从20世纪60年代中期产生至今已有30多年的历史。数据库系统的第一代为网络型、层次型数据库系统,第二代为关系型数据库系统,第三代为面向对象的数据库系统。

数据模型是数据库系统的核心和基础。数据模型的发展经历了格式化数据模型(包括层次数据模型和网状数据模型)、关系数据模型两个阶段,正在走向面向对象的数据模型等非传统数据模型阶段。第一代和第二代数据库系统的数据模型虽然描述了现实世界数据的结构和一些重要的相互联系,但是仍然不能捕捉和表达数据对象所具有的丰富而重要的语义,因此只能属于语法模型。而第三代数据库系统可以以丰富的数据模型和强大的数据管理功能,满足传统数据库系统难以支持的新的应用要求。

20世纪60年代末至70年代初,美国数据库系统语言协会(CODASYL, Conference on Data System Language)下属的数据库任务组 DBTG(Data Base Task Group)在对数据库方法系统研究的基础上,发表了若干报告,确定了数据库系统的许多概念、方法和技术。它是网状模型的典型代表。

1969年,IBM公司研制了层次模型数据库管理系统IMS(Information Management System)。

网状数据库是数据库概念、方法和技术的基础,层次数据库是数据库系统的先驱。

关系型数据库是用数学方法来处理数据库中的数据结构。1962年发表的“信息代数”则是最早用于数据处理的方法。1968年David Child在计算机上实现了用集合论来描述数据结构。1970年IBM公司San Jose研究室的研究员E·F·Codd发表了题为“大型共享数据库数据的关系模型”论文,提出了数据库的关系模型,为关系数据库技术奠定了理论基础。20世纪70年代是关系数据库理论研究和原型开发的时代,其中以IBM San Jose研究室开发的System R和美国加州大学伯克利分校研制的Ingres为典型代表。同时,关系型数据库系统从实验室走向了社会,涌现了如DB2、Oracle、Ingres、Sybase、Informix等许多商品化产品,因此,人们称70年代是计算机领域的数据库时代。至80年代,关系型数据库几乎占据了统治地位。

从20世纪80年代起,数据库技术在商业领域的巨大成功刺激了其他领域对数据库技术需求的增长,推动了以面向对象数据库系统(Object Oriented Data Base System, OODBS)为代表

的研究和发展。数据库研究人员借鉴和吸收了面向对象的方法和技术,提出了面向对象数据模型(简称对象模型),克服了传统数据模型在新的应用领域里的局限性,促进了数据库技术在新的技术基础上继续发展。1990 年高级 DBMS 功能委员会(由加州大学、IBM、Compaq、Oracle 等 6 个单位的人员组成)发表了“第三代数据库系统宣言”,提出了第三代数据库系统的 3 个基本特征和 13 个具体特征及功能。目前,第三代数据库系统仍在发展,不断趋于成熟。

近十几年来,数据库技术日趋与其他相关技术结合,涌现了许多新型的数据库系统:例如与分布处理技术结合,出现了分布式数据库系统;与并行处理相结合,出现了并行数据库系统;与人工智能技术相结合,出现了知识库系统和主动数据库系统;与多媒体技术相结合,出现了多媒体数据库系统;与模糊技术相结合,出现了模糊数据库系统;与实时技术相结合,出现了实时数据库系统;而数据库技术应用于特定的领域,则出现了如数据仓库、空间数据库(地理信息系统的基础)等多种特种数据库系统。

1975 年美国 Honeywell 公司首先推出集散控制系统(DCS),到 20 世纪 80 年代末期国内研制出了中国第一代 DCS 产品。此时,国外 DCS 技术和产品已经跨越了三个时代,推动了工业自动控制领域全面发展到集散控制系统阶段,并引发了实时数据管理和实时数据库概念的出现。

实时数据库理论是在关系数据库的基础上,研究实时事务、实时并发控制和实时任务调度的。国际上从 20 世纪 80 年代后期开始较系统地发表有关实时数据库的论文。90 年代中期,爱尔兰的 Rhode 大学以及美国麻省理工学院开始重点研究实时 SQL 语言。在商品化的实时数据库产品开发上,澳大利亚的 Motherwell Information System 公司于 1982 年较早地推出了 Macro View 产品,美国 OSI 公司于 80 年代中期推出了 Plant Information System,简称 PI 产品,另外,还有美国 Aspen Tech 公司的 Infoplus 21 产品、美国 Honeywell 公司的 Uniformance (PHD) 产品、英国 Wonderware 公司的 Industrial SQL Server 产品。上述产品一般归为工程类实时数据库。而被国外理论界认为严格满足实时要求的实时数据库产品有 1994 年 DBx 公司发布的 Zip-RTDBMS 和 1995 年 Martin Marietta 公司发布的 Eagle Speed RTDBMS。

从 20 世纪 70 年代末开始,国内开始引进 DCS 技术和产品,到 80 年代末期,达到高峰。到 90 年代初,随着国内工业界对 DCS 的大量引进和应用,国内科技教育界率先开始研究实时数据库理论,其中比较知名者有华中理工大学刘云生教授,刘教授曾经发表多篇研究实时事务的并发控制和调度的论文,并指导研制了取名为 ARTS-1 型实时数据库系统的雏型。与此同时,国内相继孕育出了一批 DCS 生产商和实时数据库生产商。其中在实时数据库产品生产方面有代表性的是中国国家电力公司自动化研究院于 1992 年开发的 NSIS 石油化工生产实时数据库产品、中国大庆金桥信息技术工程有限公司于 1993 年开发的 ConRTDB 实时数据库产品、中国北京三维天地计算机技术开发有限公司开发的 SuperInfo 实时数据库产品、中国北京时林电脑公司开发的 SLRS 实时数据库产品以及中国北京和利时系统工程股份有限公司开发的 RealMIS 实时数据库产品等。

从 20 世纪 90 年代初,原中国石油化工总公司系统就跟踪国外实时数据库技术的发展,认为该技术是流程工业 CIMS 设计中生产管理与控制信息集成的关键平台。在国内率先适时引进了 Infoplus 21、PI、Uniformance、ONSPEC 等国外产品,并且应用了 ConRTDB、Super Info、SLRS 和 NSIS 等国内公司的产品。目前,已取得较好的效果,得到了自动化仪表和信息技术专业人员的认同,开始走向推广、普及和提高的阶段。

在计算机应用中,有许多应用包含了对数据的实时存取和实时管理。如工厂生产过程控制系统、数据通信、证券交易、电力调度等等。这些应用一方面要维护大量的数据,另一方面又具有很强的时间性,要求在一定的时间限期内或指定的某一确定时刻从外部系统采集数据,并按照指定的要求处理数据,再对外部系统做出及时的响应。这些系统处理的数据具有一定的时效性,即这些数据只在一定的时间范围内有效,超过时间后这些数据便失去了实时意义。这些应用有一个显著的共同特征,需要处理实时数据,同时还需要管理实时数据。所以必须同时需要实时数据处理技术和数据库技术。

实时数据的管理与传统的数据管理不同,应用的技术也不同。传统的数据库系统支持数据管理,但只处理永久性数据,没有定时限制。传统的实时系统支持数据处理以及数据处理的定时限制,但一般只支持具有简单结构的数据,不包含对共享数据完整性和一致性的维护。因此,只有将数据库与实时系统两者的概念、技术、方法和机制相结合的实时数据库系统,才能同时支持实时性和数据一致性的需要。

实时数据库系统在实时应用中有着极其重要的作用。通过实时应用又促进了实时数据库系统的理论研究。近年来,实时数据库系统已经成为数据库系统的主要研究方向之一,得到数据库领域和实时系统领域研究人员的极大关注。

目前实时数据库系统理论研究的基本方向是在传统关系数据库理论上增加时间限制的要求,从而使实时数据库的设计变得更加复杂,复杂的算法使系统资源的开销加大。这些又影响了系统的实时性,因此又需要对实时数据库的技术进行简化。这些矛盾的存在使得实时数据库系统的发展远远落后于非实时数据库系统。国际上涌现了一批学者从事实时数据库系统理论的研究,本书介绍国内外学者在实时数据库系统方面的一些研究成果。在实时数据库理论逐步形成、发展和完善的过程中,首先在国外,后来在国内开发了多种满足工程实践要求的实时数据库,这些实时数据库系统在实际应用中起到了很大的作用。本书搜集了在国内市场流行的国内外实时数据库软件产品,还介绍了实时数据库系统 in 应用领域方面的实例,供实时数据库系统应用人员参考。

## 第二节 实时数据库系统的应用

过程控制系统是实时数据库系统最重要的应用领域之一。在生产装置运行过程中,实时数据库系统实时采集装置的运行数据,随时掌握装置的运行状况,并通过对生产过程的关键数据的监控和分析,对出现的问题及时进行处理,使生产的运行状态保持平稳。当生产状态发生变化时,可以及时地做出反映;通过对影响原材料用量的过程以及对水、电、汽、风的用量的监测和分析,可以及时发现问题,特别是对生产调度人员来说,可以及时地平衡物料供应,减少单耗,提高经济效益;利用实时数据动态地监控生产成本,可以使成本控制发生在生产过程中,而不是在生产过程完成后,以达到降低成本的目的等等。

在实时数据库系统中,通过高效的压缩技术和海量的存储技术,保存大量的生产过程历史数据。帮助生产人员分析生产过程的变化规律,对生产过程进行优化;还可以帮助生产人员分析生产故障,确定故障产生的原因和防止的方法,防止故障的重复发生。

先进控制和实时优化技术是提高生产企业经济效益有力的手段之一,实时数据库系统为其提供了一个数据平台。可以利用实时数据和历史数据对生产的工艺过程进行先进控制、优

化控制和在线分析,反映生产过程的规律,实时调整工艺参数,使过程处于优化状态。同时也可以通过对影响产量及质量的过程参数的监控,达到提高产品产量及质量的目的。还可以根据统计规律对产品的质量数据和利润进行在线分析,预测产品的产量和质量,从而达到提高经济效益的目的。

实时数据库系统与现场控制设备直接相连接,使企业管理层实时地得到来自生产过程的实时数据,为管理信息系统的开发与应用提供了一个理想的平台,实现管理控制一体化,使管理信息系统实时、高效地运行。

CIMS系统采用计算机技术、通信技术、过程自动化技术、管理科学和系统集成技术把各种硬件平台、网络平台、系统管理平台、数据库、应用软件平台、过程模拟与优化平台、管控一体化平台、先进控制平台、生产过程控制系统及各种应用系统紧密地集成在一起,以实现CIM的理念和CIMS的目的与功能,使之成为一个能够高效运作、具有高度应变能力的生产管理与控制一体化系统。实时数据库系统是连接生产过程系统和CIMS系统的桥梁,实时数据库系统为CIMS系统提供现场的实时数据和历史数据,为CIMS系统中的实时应用提供基础。

### 第三节 实时数据库系统的选型

实时数据库系统在实际应用中是一个关键的系统平台软件。只有选择一个优秀的实时数据库系统,才可以与应用系统密切配合,提高应用系统的运行效率,达到应用系统运行的预期效果。

一般来说,选择一个实时数据库系统要考虑下列因素:

(1) 系统可靠性 它是实时数据库系统最重要的考核指标。如果一个实时数据库系统不能可靠稳定地运行,不但会影响应用系统的稳定运行,而且可能会对应用系统起破坏作用,甚至会造成灾难性的后果。同时,当出现意外情况时,系统应能检测出错误,防止错误扩散,并正确报告出错信息;

(2) 系统功能 实时数据库系统的功能应该满足应用需求。现有的实时数据库产品能够提供的功能差异比较大,在选择实时数据库系统时,应该仔细分析应用需求,检查所选择的产品是否能够满足应用的需要,是否能满足未来发展的需求;

(3) 系统性能 实时数据库系统的性能应该突出满足实时要求。对于各种不同的应用,有不同的时间限制要求,控制类的应用一般对时间限制要求比较严格,管理类的应用则宽一些;

(4) 系统开销 实时数据库系统是一个系统软件,在实时数据库系统的基础上还要进行应用系统的开发。实时数据库系统一般将与应用系统(全部或部分应用程序)运行在一台主机上,实时数据库系统的运行开销如果太大,将会使应用系统的运行效率受到限制;

(5) 运行平台 实时数据库系统需要运行在一定的操作系统平台上,选择实时数据库系统要考虑系统运行的平台。一般来说,实时数据库系统与应用系统最好能运行在同一操作系统平台上;

(6) 系统结构 目前的实时数据库系统有单机结构,也有客户/服务器结构。当前,计算机网络已经广泛应用,选择实时数据库系统应选择客户/服务器结构,最好能支持分布式

应用；

(7) 系统开放性 实时数据库系统的开放性要好。实时数据库系统要与控制系统连接，与控制系统的接口要多，应该能支持OPC(OLE for Process Control)规范。接口最好能向用户开放，用户可以自己增加设备接口驱动程序。在用户接口访问方式上，应该能够提供不同层次的数据库访问接口，如应用程序编程接口(API)、控件、DDE、SQL等多种用户数据访问接口。与关系数据库的联接程度也是系统开放性的检测标准；

(8) 系统安全性 实时数据库系统同时供多个用户访问，也是一个大型应用系统的一部分，应该具有良好的安全性，对用户的访问权限应该有严格的限制，并能防止非法用户的入侵；

(9) 使用方便性 一个好的系统应该容易学习，方便使用。要从组态、应用等各个方面评价系统使用的方便性。实时数据库系统一般都带有配套的应用软件工具，如流程图画面组态软件、数据报表生成软件、浏览器访问数据软件和多种数据访问接口。这些配套的应用软件工具将加快实时数据库系统的二次开发速度，配套软件工具是否丰富往往也成为人们选择实时数据库系统的一个重要标准。

选择一个好的实时数据库系统不单单是价格问题，更重要的是关系到应用系统的开发是否能够真正地成功，也要考虑应用系统近期和较长时间内的系统扩充问题，要做到一次选择，长期受益。

## 第二章 总 论

实时数据库系统(Real – Time Database Management System, RTDBMS)是其数据和事务都具有定时特性或确定的定时限制的数据库系统。系统的正确性不仅依赖于逻辑结果,而且依赖于逻辑结果产生的时间。

实时数据库系统是在实时系统和数据库技术两个研究领域交叉产生的一个新的研究领域。数据库技术的研究人员致力于利用数据库技术的特点和优点解决实时系统中的数据管理问题,为数据库系统提供时间调度和资源分配算法,以及实时数据处理的各种方法。

### 第一节 实时数据库的时间特性

在实时系统的应用中,计算机系统以外部系统的数据作为输入数据,再用其输出来控制外部系统。系统内的数据由实时数据库进行管理。实时数据库中的数据表示外部系统的当前状态,只有数据与外部系统的实际情况相吻合,数据才有意义。在一个实时系统中,必须满足时间限制,以保证应用的正确性。实时数据库在实时系统中进行数据组织和数据管理。在与外部系统进行交互时,外部系统产生激励,实时数据库必须在限定的时间内接受这种激励,即在限定的时间内接受外部系统的数据输入;当外部系统需要进一步的控制输出时,必须在限定的时间内产生控制输出。

在设计实时数据库系统时必须考虑下列时间特性:

(1) 实时数据库中存在随着时间的推进而成为无效的数据。在实时数据库中,大量的数据反映当前外部世界的实时状态。当外部世界改变时,描述外部世界状态的数据也发生了变化。因此,在实时数据库中并非所有的数据都是永久的,许多的数据是短暂的,随着时间的推移,数据不再能反映外部世界的状态时,数据就成为了无效数据。

(2) 实时数据库系统及与之交互的外部世界存在以实时方式发生的事件。在实时应用中,外部世界对实时数据库系统产生多种活动请求。这些活动请求在外部世界与实时数据库系统交互时表现为事件,实时数据库系统内部同样也有为配合内部活动的而设置的各种事件。这些事件周期性或非周期性地实时发生,实时数据库系统必须对发生的事件迅速做出反应,以事件驱动的方式激发一定的活动进行处理。

(3) 实时数据库系统必须及时完成活动,并产生正确结果。当事件发生时,实时数据库系统要有与之相关联的活动来进行处理。完成这些活动要求及时、正确。完成活动并不简单地要快,而是要求及时。

数据、事件、活动都有与之相联系的时间限制。设计实时数据库系统时一定要充分考虑时间特性,考虑外部环境所施加的时间限制、系统性能所决定的时间限制、数据的时间一致性所要求的时间限制以及其他时间限制。

#### 一、时间限制

在实时应用中,各种活动一般都是由相应的事件触发,活动的时间限制往往取决于相关

联事件的时间限制。对于事件有三种时间限制：

(1) 最大时间限制 两个事件之间的最大时间间隔。如发现系统产生紧急报警，那么，处理报警并恢复正常的最大时间必须在指定时间之内；

(2) 最小时间限制 两个事件之间的最小时间间隔。如两个控制信号输出的最小时间至少间隔一定时间；

(3) 持续时间限制 一个事件需要持续的时间。如一台设备必须在停止运行指定时间后才可以重新启动。

可以看出，事件可以是一个瞬时发生的行为，也可以是一个有限的短暂行为过程。如果是一个行为过程，可以分解成过程开始和过程结束两个事件，行为过程也可以看成是复合事件。

事件的发生一般有相应的活动进行处理，因此对事件的时间限制将直接作用于处理事件的活动，转换成相应活动的时间限制，如重复发生的事件的时间限制将转换成相应活动的周期性要求；事件的最大时间限制将转换成从激励事件开始到相应活动的截止时间等等。

除了事件给活动施加的时间限制以外，还有来自其他方面的时间限制：如

(1) 外部环境产生的时间限制 它限制外部信号必须到达系统的时间，可能是要求系统周期性地采集信号，也可能是在某一条件下要求在指定时间内接收外部信号或向外部系统发送信号；

(2) 系统性能产生的时间限制 由于活动需要时间，而系统性能决定了活动的时间长度。如系统对输入的响应时间，当接收输入信号后，一定要在指定时间内做出响应，系统性能决定了能否满足响应时间的要求；

(3) 数据的时间一致性产生的时间限制 为保证数据的时间一致性，对输入或输出的时间限制；

(4) 同步活动产生的时间限制 活动与活动之间存在同步，一个活动需要另一个活动的同步消息才能执行，一个活动的时间限制受制于另一个活动。

实时应用要求系统满足时间约束条件，并对违反时间约束条件的情况进行处理。在实时数据库系统中将执行一个有时间限制的活动作为一个任务，时间约束条件就可以用任务开始时间、任务截止时间和任务周期来表示。一般用下列条件作为时间约束条件：

(1) 最早开始时间 限定任务不能在此之前开始的绝对时间，也就是说，任务必须等到这个指定的时间以后方可开始；

(2) 最迟开始时间 限定任务必须在此之前开始的绝对时间，也就是说，任务如果到这个时间还未开始，就是出现了错误；

(3) 截止时间 限定任务必须在此之前完成的绝对时间。

时间约束条件常常以执行周期的形式出现。在实际应用中，任务通常是重复执行的，重复执行任务的开始时间和截止时间的间隔为时间周期。每个任务在其时间段内执行。实时数据库中通常定义的采样周期和控制周期就是以执行周期的形式出现。

以执行周期的形式表示时间约束条件所存在的问题是时间段并不精确，由此，一个任务执行的结果可能不准确。这就是实时系统中的不精确性。当然，不精确性必须在一定的范围之内。

## 二、一致性限制

实时数据库与传统数据库的主要差别体现在时间特性上。传统的数据库管理系统只有逻

辑一致性限制,而实时数据库还有时态一致性等限制。

实时数据库中存在 4 种一致性约束条件:数据逻辑一致性、事务逻辑一致性、数据时态一致性和事务时态一致性。

(1) 数据逻辑一致性 一般的数据库系统都支持数据逻辑一致性,如数据范围的限制,限制一些数据值为非负整数,就是数据逻辑一致性的例子。一致性约束条件一般通过基本读写操作的连续性和典型的读/写锁就可以实现。

(2) 事务逻辑一致性 事务逻辑一致性约束事务所产生的结果值。一般的数据库系统都支持事务逻辑一致性,它要求一个事务执行的结果和一系列事务执行的结果相一致。用两阶段锁定等技术即可实现。

(3) 数据时态一致性 它对数据项的寿命和有效性进行限制。对于时间特性至关重要的应用来说,它所使用的数据通常必须能够非常接近地反映出应用环境的当前状态。数据是在离散时间间隔上采集到的,因此它们是实际值的近似值。随着时间的流逝,会越来越不精确,直到某个时间,这个值不再能正确地反映应用环境的状态。就是说,在这一时刻,数据值不再满足时序一致性。有两种形式的数据时态一致性约束条件:绝对时序一致性和相对时序一致性。绝对时序一致性是指数据项的时间必须在当前时间的某个区间内,如观察到的传感器值必须是当前两秒以内记录的;相对时序一致性是指一些数据值必须是在相同时间区间内记录的,如传感器的一个值表示一个物体当前的速度,一个值表示该物体当前的位置,用这两个值推导该物体将来新的位置,就必须保证记录这两个值的时间差在一定的范围内。

(4) 事务时态一致性 它将事务当作有时间限制(如截止时间、开始时间或时间周期)的实时任务。时间限制可能是硬的时间限制、软的时间限制或时间周期限制。违反时间约束条件看作是违反一致性,需要进行适当的恢复性操作。

## 第二节 实时数据库的体系结构

实时数据库管理实时数据以及与实时数据有关的信息,与传统数据库相比,主要在调度机制和事务管理方面较大的区别。实时数据库系统的体系结构见图 2-1。

实时应用是具有定时限制的数据库任务,它们是实时数据库系统的服务对象,也是实时事务的产生源。实时数据库系统内部分为三大部分:资源管理、实时事务管理和数据管理。

资源管理是对系统资源进行管理,包括对 CPU 进行调度管理,合理运用 CPU 资源,满足实时要求;进行时间调度,触发与时间相关的实时事务执行,进行存储空间分配和管理;考虑定时限制的磁盘调度算法以及与实时应用有关的 I/O 调度。

实时事务管理包括管理实时事务的产生、执行和结束。首先要解决实时调度问题,实时调度最主要的目标是满足事务的截止时间,调度算法要在最大程度上满足事务的时间限制,同时保证数据的逻辑一致性和时序一致性。实时并发控制用以保证数据库中数据的一致性和完整性。事务恢复机制是在事务失败时努力将数据库恢复到正确状态。

数据管理实现对数据的存取操作和其他处理,除了管理实时数据外,一般实时数据库系统还要求管理历史数据。

实时数据库系统的体系结构强调了实时这一特性,因为一个实时数据库系统必须具有下列能力:

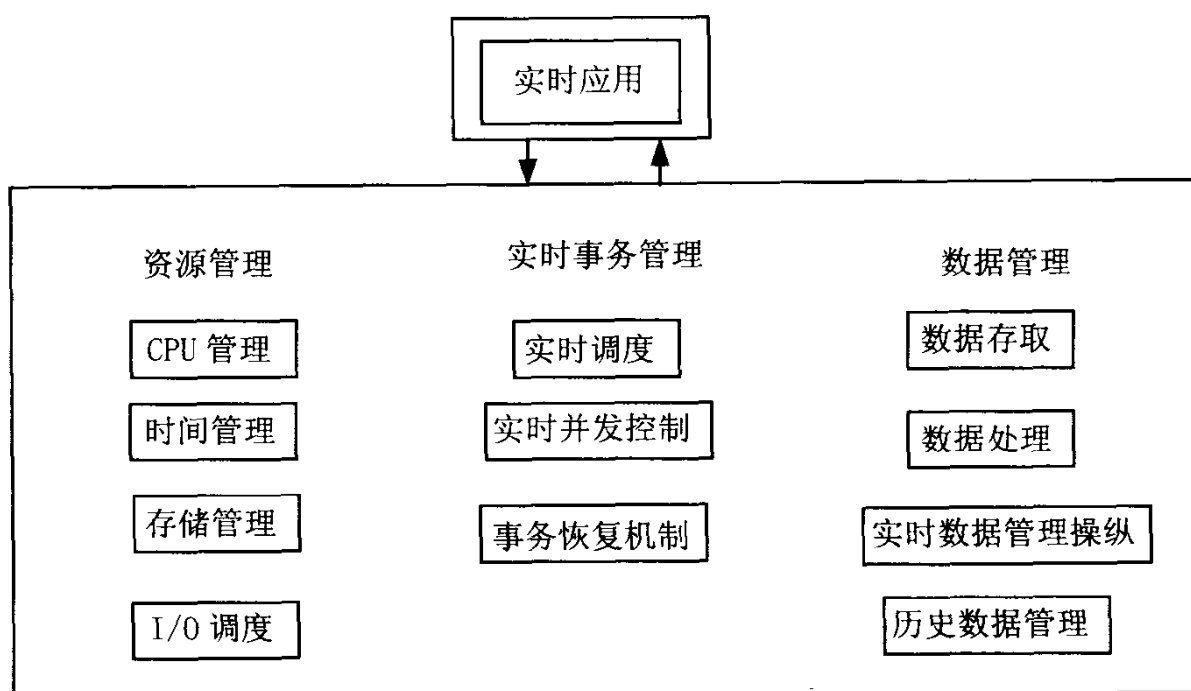


图 2-1 实时数据库系统体系结构

### 1. 数据库状态最新

数据库必须尽可能提供外部世界最新的(不断变化的)映像。

### 2. 数据值时间一致

系统必须保证事务读取的数据能保持时序一致性。

### 3. 事务处理及时

系统必须确保事务的实时处理，满足其定时限制，特别是要保证在截止时间以前完成。

实时数据库系统从结构和功能上应综合设计下列模型：

#### 1. 任务/事务模型

首先要确定实时事务执行单一任务还是复合任务，一般来说，实时事务执行的是复合任务，这就决定了实时数据库系统要支持复杂事务模型。复杂事务模型要处理事务内部和事务之间的结构、时间等相关性，并且要对事务内部和事务之间的执行先后顺序加以限制。

#### 2. 资源模型

资源模型中有共享资源和排他资源两种类型的资源。典型的共享资源是数据，而 CPU、缓冲区和磁盘都是排他资源。资源模型中应包括各种资源的类型、数量、技术参数，以及资源的体系结构(集中式、分散式、分布式)和使用代价。资源分配策略要考虑任务的优先级和时间限制。数据或内存缓冲区的粒度对系统的性能影响很大，应该小心选择。要注意对资源的调度是否是可抢占，在实时事务中，可抢占方式要慎重考虑。

#### 3. 负载模型

负载模型规定系统任务或事务的类型、到达的频率分布和时间限制等。在实时环境下，有两种类型的事务：内部事务和外部事务。内部事务是实时数据库系统内部的事务，与外部环境无关；外部事务与外部世界交互作用，如从过程设备采集数据或向过程设备发送控制数据。外部事务又分为周期性的和非周期的。周期性的外部事务按照固定的时间周期执行，如实时数据库定时向过程设备采集数据，更新对应的数据对象，而不管数据值是否变化。非周期的外部事务仅当需要时才执行，如只在需要时才向过程设备发送和改变控制数据，其频率