



中国科学院研究生教学丛书

分布式数据库系统及其应用

邵佩英 编著

(第二版)



科学出版社

www.sciencep.com

中国科学院研究生教学丛书

分布式数据库系统及其应用

(第二版)

邵佩英 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在第一版的基础上做了较大的修改,增加了与分布式数据库技术密切相关的、新的网络与数据库的接口技术,基于组件的新的软件开发方法,WWW 数据库,移动数据库,数据仓库和数据挖掘等内容,反映了分布式数据库技术和应用开发的新的发展趋势。本书还增加了习题和部分习题的参考答案。本书对分布式数据库系统的基本内容提供了翔实的讲解,对一些有争议的问题进行了开放式讨论,但对深奥的理论没有采用繁琐的证明方法,而是采用大量的图示和实例做浅显的解释,从而增加了它的知识性和易理解性。

本书可作为计算机专业高年级本科生的选修课教材,特别适合作研究生的专业课教材,也可作为从事计算机信息处理研究或相关应用开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分布式数据库系统及其应用/邵佩英编著. —2 版. 北京:科学出版社,2005
(中国科学院研究生教学丛书)
ISBN 7-03-015113-5

I. 分… II. 邵… III. 分布式数据库-数据库系统 IV. TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 016526 号

责任编辑:鞠丽娜/责任校对:刘彦妮

责任印制:吕春珉/封面设计:槐寿明

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

世界知识印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 3 月第 二 版 印张:25 3/4

2005 年 3 月第五次印刷 字数:608 000

印数:8 001—12 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<世知>)

销售部电话 010-62136131

编辑部电话 010-62138978-8002

《中国科学院研究生教学丛书》序

在 21 世纪曙光初露,中国科技、教育面临重大改革和蓬勃发展之际,《中国科学院研究生教学丛书》——这套凝聚了中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血的研究生教材面世了。相信这套丛书的出版,会在一定程度上缓解研究生教材不足的困难,对提高研究生教育质量起着积极的推动作用。

21 世纪将是科学技术日新月异,迅猛发展的新世纪,科学技术将成为经济发展的最重要的资源和不竭的动力,成为经济和社会发展的首要推动力量。世界各国之间综合国力的竞争,实质上是科技实力的竞争。而一个国家科技实力的决定因素是它所拥有的科技人才的数量和质量。我国要想在 21 世纪顺利地实施“科教兴国”和“可持续发展”战略,实现小平同志规划的第三步战略目标——把我国建设成中等发达国家,关键在于培养造就一支数量宏大、素质优良、结构合理,有能力参与国际竞争与合作的科技大军,这是摆在我国高等教育面前的一项十分繁重而光荣的战略任务。

中国科学院作为我国自然科学与高新技术的综合研究与发展中心,在建院之初就明确了出成果出人才并举的办院宗旨,长期坚持走科研与教育相结合的道路,发挥了高级科技专家多,科研条件好,科研水平高的优势,结合科研工作,积极培养研究生;在出成果的同时,为国家培养了数以万计的研究生。当前,中国科学院正在按照江泽民同志关于中国科学院要努力建设好“三个基地”的指示,在建设具有国际先进水平的科学研究基地和促进高新技术产业发展基地的同时,加强研究生教育,努力建设好高级人才培养基地,在肩负起发展我国科学技术及促进高新技术产业发展重任的同时,为国家源源不断地培养输送大批高级科技人才。

质量是研究生教育的生命,全面提高研究生培养质量是当前我国研究生教育的首要任务。研究生教材建设是提高研究生培养质量的一项重要基础性工作。由于各种原因,目前我国研究生教材的

建设滞后于研究生教育的发展。为了改变这种情况,中国科学院组织了一批在科学前沿工作,同时又具有相当教学经验的科学家撰写研究生教材,并以专项资金资助优秀的研究生教材的出版。希望通过数年努力,出版一套面向 21 世纪科技发展,体现中国科学院特色的高水平的研究生教学丛书。本丛书内容力求具有科学性、系统性和基础性,同时也兼顾前沿性,使阅读者不仅能获得相关学科的比较系统的科学基础知识,也能被引导进入当代科学研究的前沿。这套研究生教学丛书,不仅适合于在校研究生学习使用,也可以作为高校教师和专业研究人员工作和学习的参考书。

“桃李不言,下自成蹊。”我相信,通过中国科学院一批科学家的辛勤耕耘,《中国科学院研究生教学丛书》将成为我国研究生教育园地的一丛鲜花,也将似润物春雨,滋养莘莘学子的心田,把他们引向科学的殿堂,不仅为科学院,也为全国研究生教育的发展作出重要贡献。

饶阳群

前 言

本书作为中国科学院研究生教学丛书之一已经出版四年多了。据有关部门反映,这是一本备受欢迎的数据库系统教材。它全面、系统地阐述了分布式数据库系统的基本理论、概念原理、结构特点、存在问题、设计思想、技术方法;重点论述了分布式数据库的查询优化、事务管理、并发控制、可靠性、安全性和目录管理;讨论了客户机/服务器模式的概念、结构、工作方式以及与分布式数据库系统的关系;展望了分布式数据库系统的发展前景。

现代数据库管理技术在当前信息社会中的关键作用已经变得更加清晰,毕竟 Internet 仅仅是一个通信系统,它的真正价值是从数据库中读取或存入数据和信息。因此,随着 Internet 和无线技术的发展,特别是 WWW 建立以来,它们与分布式数据库有着极其紧密的关系。从特定意义上说,整个 Internet 就是一个巨大的“分布式数据库”。同时,随着时间的推移,本书中的内容,特别是后面部分的内容,已经有了相当大的变化。与分布式数据库技术密切相关的、新的数据库与网络的接口技术、新的软件开发方法、WWW 数据库、移动数据库的产生和应用,以及数据仓库、联机分析处理(OLAP)和数据挖掘已经成为了数据库技术研究、开发和应用最活跃的热点之一。

考虑到上述原因,作者根据本人的教学实践和有关反馈信息,对第一版中的内容做了如下几个方面的修改。

对第一至四章的修改主要是调整结构、补充和进一步完善有关内容。

对第五至七章,除修改、补充和进一步完善外,新增加的内容包括分布式事务管理的可串行化调度测试,两阶段封锁协议的实现方法,基于时间戳排序的多版本技术,采用验证锁的多版本两阶段封锁技术;关于分布式可靠性协议中的网络分割与提交协议;分布式数据库安全中的用户账户和数据库审计,统计数据库的安全性,数据加密技术,目录管理的重要性等内容。

对第八章的修改除调整结构、补充和进一步完善外,新增加了客户机/服务器计算模式的远景展望,创建基于客户机/服务器模式系统的自动化设计工具,创建基于客户机/服务器模式系统的技术和方法,基于组件的软件开发技术,异构数据源访问接口技术和方法等内容。

删除了第一版的第九章,本书新增加的第九章是:分布式数据库与 WWW 数据库和移动数据库。这两类数据库与分布式数据库有着极其紧密的关系,研究支持它们的基本技术,并考察它们将会如何影响分布式数据库系统。

对第十章的修改除调整结构、补充和进一步完善外,新增加了对对象-关系数据库系统的产生和发展,重点介绍 SQL3 语言对对象-关系数据库系统的支持,讨论嵌套关系模型。

本书增加了第十一章:数据仓库与数据挖掘。本章概括地论述了数据库技术的最新应用领域:数据仓库、联机分析处理和数据挖掘的关键概念、数据模型、功能结构、技术方法,通过实例给出支持决策的方法,以及介绍了一些预期的研究方向。数据仓库可以看成是要

求事先进行多种活动的一种过程;数据挖掘可以认为是从现存的数据仓库中发现知识的一个活动。

本书增加的章后练习习题涉及了概念、理论、算法、技术和方法。给出章后练习习题的目的在于使学生们能对每一章学到的知识进行复习、回顾和系统化,有的习题还要求将所学知识应用到一个小的、实际的,但有约束的例子中,以进一步巩固所学的知识。

本书第二版继续保持了第一版的特点。所有概念都以一种技术上完备,而又易于理解的方式表达,并尽量减少各种符号的使用。它没有采用繁琐的证明方法,而是采用了大量的图示和实例描述概念和预期的结果,从而进一步增加了它的知识性和易理解性。本书内容涵盖了分布式数据库研究领域的各个关键问题,并以真实的实例系统引入分布式数据库的设计技术和方法。书中对分布式数据库技术的基本内容提供翔实的讲解,对深奥的理论做了浅显的解释,对一些有争议的问题进行了开放式的讨论,并充分反映了分布式数据库技术和应用开发的新的发展趋势。通过本书的学习,读者可以对分布式数据库系统的整体结构、设计技术和关键问题有深入的认识和理解,同时可以熟识分布式数据库系统的理论基础和应用方法。

作者认为应当用一年的时间来学习这门课程。但是如果仅仅有一个学期的时间,可以选择本书的第一至七章进行系统学习,而将八至十一章作为参考资料。

本书适合作为计算机专业高年级本科生的选修课教材,特别适合作为研究生的专业课教材,还可作为高校教师及从事计算机信息处理研究或相关应用开发人员工作和学习的参考资料。在学习本书之前,读者应具有数据库的基本概念和基础知识。

罗晓沛、孙淑玲、李伯民、陈伯飞仔细审阅了全书;宋纲、陈铭、王辉、祝孔强、阚劲松、颜涯等同学为本书提供有关资料。科学出版社的有关工作人员为本书的出版做了大量工作,在此一并表示衷心的感谢。

邵佩英

2004年12月

目 录

第一章 分布式数据库系统概述	1
1.1 分布式数据库系统的由来与发展	1
1.1.1 分布式数据库系统的由来	1
1.1.2 分布式数据库系统的发展	1
1.2 分布式数据库系统的定义与分类	4
1.2.1 分布式数据库系统的定义	4
1.2.2 分布式数据库系统的分类	6
1.3 分布式数据库系统的体系结构和组成成分	8
1.3.1 分布式数据库系统的体系结构	8
1.3.2 分布式数据库的组成成分	9
1.3.3 分布式数据库中数据的分片与分布	9
1.3.4 分布式数据库的模式结构	12
1.3.5 分布式数据库管理系统的功能结构	15
1.3.6 分布式数据库管理系统的一种参考模型	17
1.4 分布式数据库系统中数据的独立性与分布透明性	25
1.4.1 分布式数据库系统中数据的独立性与分布透明性概述	25
1.4.2 分布式数据库简单查询与分布透明性	26
1.4.3 分布式数据库复杂查询与分布透明性	29
1.4.4 分布式数据库更新应用与分布透明性	31
1.5 分布式数据库系统的优点和存在的技术问题	34
1.5.1 分布式数据库系统的优点	34
1.5.2 分布式数据库系统中存在的技术问题	35
1.6 本章小结	37
习题	38
第二章 分布式数据库系统的设计	39
2.1 分布式数据库系统设计概述	39
2.1.1 分布式数据库系统的创建方法	39
2.1.2 分布式数据库系统设计的内容	41
2.1.3 分布式数据库设计的目标	41
2.1.4 分布式数据库设计的方法	43
2.2 自顶向下设计分布式数据库	44
2.2.1 自顶向下设计分布式数据库的步骤和内容	44
2.2.2 数据的分片设计	44

2.2.3 数据库片段的位置分配设计	49
2.3 DATAID-D 方法	52
2.3.1 DATAID-D 方法概述	52
2.3.2 分布要求分析阶段	53
2.3.3 分布设计阶段	54
2.4 实例研究:飞机订票系统	55
2.4.1 实例研究概述	55
2.4.2 飞机订票系统中的分布要求分析	57
2.4.3 飞机订票系统中的分布设计	59
2.5 自底向上设计分布式数据库	61
2.5.1 自底向上设计分布式数据库要解决的问题	61
2.5.2 构造全局模式的设计问题和解决方法	62
2.5.3 自底向上综合的一个例子	65
2.6 本章小结	66
习题	67
第三章 分布式数据库中的查询处理和优化	69
3.1 分布式查询优化概述	69
3.1.1 分布式查询优化的目标	69
3.1.2 分布式查询优化的准则和代价估算	69
3.1.3 分布式查询策略的重要性	70
3.2 分布式查询优化中的基础知识	72
3.2.1 用关系代数表达式和 SQL 语句表示一个查询	72
3.2.2 查询树	73
3.2.3 等价变换规则的概念和术语	74
3.2.4 等价变换规则	75
3.3 分布式查询的分类与层次结构	76
3.3.1 分布式查询的分类	76
3.3.2 分布式查询处理的层次结构	78
3.4 基于关系代数等价变换的查询优化处理	79
3.4.1 基于关系代数等价变换查询优化处理的基本原理和实现方法	79
3.4.2 基于关系代数等价变换的查询优化处理举例	80
3.5 基于半连接算法的查询优化处理	83
3.5.1 采用半连接方法表示连接操作	83
3.5.2 采用半连接算法优化连接操作的基本原理和步骤	84
3.6 基于直接连接算法的查询优化处理	85
3.6.1 利用站点依赖信息的算法	85
3.6.2 分片和复制算法	87
3.6.3 站点依赖和数据复制结合	89

3.6.4 Hash 划分算法	90
3.6.5 不同方法的比较	92
3.7 直接连接操作的常用策略	92
3.7.1 直接连接操作的一般常用策略	92
3.7.2 利用并行性的直接连接操作策略	93
3.8 本章小结	94
习题	95
第四章 分布式数据库中的事务管理和恢复	97
4.1 分布式事务概述	97
4.1.1 分布式事务定义和特性	97
4.1.2 分布式事务的结构和事务状态	99
4.1.3 分布式事务管理的问题和目标	102
4.2 分布式事务的执行与恢复	104
4.2.1 分布式事务管理的抽象模型	104
4.2.2 分布式事务执行的控制模型	105
4.2.3 分布式数据库系统中的故障	107
4.2.4 事务故障恢复的基本概念	108
4.2.5 事务故障的恢复	111
4.2.6 分布式事务的执行与恢复举例	113
4.3 两阶段提交协议	114
4.3.1 两阶段提交协议的基本思想和内容	114
4.3.2 两阶段提交协议的通信结构	117
4.3.3 两阶段提交协议与故障恢复	122
4.4 分布式数据库中的数据更新	124
4.4.1 多站点的数据更新	124
4.4.2 主文本更新法	125
4.4.3 快照方法	126
4.5 分布式事务增强数据库一致性	127
4.5.1 业务规则的一致性	127
4.5.2 冗余数据的一致性	128
4.6 本章小结	130
习题	130
第五章 分布式数据库中的并发控制	131
5.1 并发控制的概念和理论	131
5.1.1 并发控制的概念	131
5.1.2 事务可串行化理论的基本概念	133
5.1.3 分布式事务的可串行化理论	134
5.1.4 分布式事务的可串行化调度测试	136

5.1.5 并发控制机制的常用方法及其分类	139
5.2 分布式数据库系统并发控制的封锁技术	141
5.2.1 基于封锁的并发控制方法概述	141
5.2.2 两阶段封锁协议	147
5.2.3 两阶段封锁协议的实现方法	150
5.2.3 多粒度封锁与意想锁	152
5.3 分布式数据库系统中的死锁处理	156
5.3.1 全局死锁与等待图	156
5.3.2 死锁的预防方法	158
5.3.3 死锁的检测和解决方法	159
5.4 分布式数据库系统并发控制的时标技术	162
5.4.1 基于时标的并发控制方法	162
5.4.2 基本时标法	164
5.4.3 保守时标法	164
5.5 分布式数据库系统并发控制的多版本技术	166
5.5.1 基于时间戳排序的多版本技术	166
5.5.2 采用验证锁的多版本两阶段封锁	167
5.6 分布式数据库系统并发控制的乐观方法	168
5.7 本章小结	170
习题	171
第六章 分布式数据库中的可靠性	173
6.1 分布式数据库可靠性的概念及其度量	173
6.1.1 分布式数据库可靠性的概念	173
6.1.2 平均故障间隔时间和平均修复时间	174
6.2 分布式数据库系统的故障原因和容错技术	175
6.2.1 分布式数据库系统中系统失败的原因	175
6.2.2 基本的容错方法和技术	177
6.3 分布式数据库的可靠性协议	179
6.3.1 分布式数据库可靠性协议的组成	179
6.3.2 两阶段提交协议的演变	180
6.3.3 事务阻断与终结协议	181
6.3.4 两阶段提交协议的终结协议	182
6.3.5 两阶段提交协议的恢复协议	185
6.3.6 三阶段提交协议	187
6.4 网络分割与提交协议	190
6.4.1 网络分割概述	190
6.4.2 网络分割的提交协议	191
6.5 不一致性的检测和解决方法	197

6.5.1 决定网络的状态	197
6.5.2 不一致性的检测和解决方法	199
6.5.3 检查点和冷启动	201
6.6 本章小结	203
习题	204
第七章 分布式数据库的安全性与管理	206
7.1 数据库安全性概述	206
7.1.1 数据库安全性的概念	206
7.1.2 分布式数据库的不安全因素	207
7.1.3 分布式数据库安全需求和安全措施分析	208
7.1.4 分布式数据库的用户账户和数据库审计	210
7.2 安全数据模型与多级安全数据库	211
7.2.1 数据库安全术语与基本概念	211
7.2.2 基于授予/收回权限的自主访问控制	213
7.2.3 多级安全 BLP 模型	217
7.2.4 基于多级安全性分类级别标记的强制访问控制	219
7.3 统计数据库的安全性	222
7.4 数据加密	223
7.4.1 数据加密概述	223
7.4.2 公开密钥加密算法和数据签名	224
7.5 计算机系统与数据库管理系统的安全评估标准	226
7.5.1 计算机系统的安全评估标准	226
7.5.2 数据库管理系统的安全评估标准	227
7.5.3 当前流行的几种 RDBMS 安全机制	228
7.6 分布式数据库的目录结构和管理	231
7.6.1 分布式数据库目录的重要性	231
7.6.2 分布式数据库目录的内容及用途	232
7.6.3 分布式数据库目录系统的组织方式及逻辑结构	234
7.6.4 分布式数据库目录的分布方式	236
7.6.5 具有站点自治性的对象命名和目录管理	237
7.7 分布式数据库中权限保护和用户识别	238
7.7.1 分布式数据库中的权限和保护	238
7.7.2 分布式数据库中权限规则的分布	239
7.7.3 分布式数据库系统中的用户识别和分类	239
7.8 本章小结	240
习题	241
第八章 分布式数据库与客户机/服务器模式	242
8.1 客户机/服务器计算模式	242

8.1.1 客户机/服务器计算模式概念	242
8.1.2 客户机/服务器环境下应用成分的分布和开放性	244
8.1.3 客户机/服务器模式的体系结构	246
8.2 客户机/服务器模式的定位	249
8.2.1 计算环境演变分析	249
8.2.2 客户机/服务器模式的定位	253
8.3 客户机/服务器模式的特性和优缺点	254
8.3.1 客户机/服务器模式的特性	254
8.3.2 客户机/服务器模式的优点与不足	255
8.4 客户机/服务器模式的远景展望	256
8.5 分布式数据与分布式访问	259
8.5.1 从集中式到分布式数据的转移	259
8.5.2 数据分布的基本形式	260
8.5.3 数据分布的技术	264
8.5.4 分布式数据的访问	266
8.6 创建基于客户机/服务器模式的数据库系统	269
8.6.1 创建客户机/服务器系统的自动化设计工具	269
8.6.2 创建客户机/服务器系统的技术和方法	274
8.6.3 基于组件的软件开发技术和方法	275
8.6.4 异构数据源访问接口技术和方法	278
8.7 本章小结	281
习题	281
第九章 分布式数据库与 WWW 数据库和移动数据库	283
9.1 WWW 数据库系统的产生及其运行环境	283
9.1.1 WWW 数据库系统的产生	283
9.1.2 统一资源定位器和超文本传输协议	283
9.1.3 超文本标记语言和主页	285
9.2 WWW 数据库系统的体系结构	287
9.2.1 概述	287
9.2.2 WWW 浏览器	288
9.2.3 WWW 服务器	289
9.3 WWW 数据库	290
9.3.1 WWW 数据库的建立和访问	290
9.3.2 WWW 数据库接口	292
9.3.3 WWW 数据库面临的问题	295
9.4 移动数据库系统概述	296
9.4.1 移动数据库的产生背景	296
9.4.2 移动计算环境的体系结构	297

9.4.3 移动数据库系统的参考模型	299
9.5 移动数据库系统的数据管理问题	300
9.5.1 移动应用中的数据	300
9.5.2 移动计算环境下的数据管理问题	301
9.6 移动数据库系统实现技术和应用研究	302
9.6.1 移动数据库数据的同步复制	302
9.6.2 移动数据库数据的移动事务管理	304
9.6.3 移动数据库系统的微型化	305
9.7 间歇同步移动数据库	306
9.8 本章小结	306
习题	308
第十章 分布式数据库系统的发展趋势	309
10.1 并行数据服务器与分布式数据库系统	309
10.1.1 并行数据服务器体系结构	309
10.1.2 并行数据服务器数据定位	312
10.1.3 并行操作处理的算法	315
10.1.4 并行查询处理的算法	321
10.2 分布式知识库系统	322
10.2.1 知识库	322
10.2.2 逻辑查询处理	325
10.2.3 并行递归查询处理	327
10.3 分布式面向对象数据库	332
10.3.1 面向对象数据库	333
10.3.2 分布式对象管理	335
10.4 对象-关系数据库	337
10.4.1 对象-关系数据库系统产生背景	337
10.4.2 对象-关系数据库系统的特点	338
10.4.3 SQL3 标准对对象-关系系统的支持	339
10.4.4 扩展类型系统的实现以及相关问题	341
10.4.5 嵌套关系数据模型	342
10.5 本章小结	344
习题	345
第十一章 数据仓库和数据挖掘	347
11.1 数据仓库	347
11.1.1 数据仓库的定义、特征和结构	347
11.1.2 数据仓库的元数据	351
11.1.3 数据仓库的数据模型	353
11.1.4 数据仓库的设计	357

11.1.5 数据仓库实现中的困难和开放问题	362
11.2 联机分析处理	363
11.2.1 OLAP 的数据组织	363
11.2.2 OLAP 的衡量标准和多维数据分析功能	365
11.2.3 OLAP 的多层结构	368
11.3 知识发现和数据挖掘	370
11.3.1 知识发现和数据挖掘的概念	370
11.3.2 数据挖掘技术概述	371
11.3.3 关联规则	374
11.3.4 其他数据挖掘问题	377
11.3.5 数据挖掘的应用	379
11.3.6 商业化数据挖掘工具	380
11.4 本章小结	381
习题	382
习题参考答案	383
主要参考文献	395

第一章 分布式数据库系统概述

1.1 分布式数据库系统的由来与发展

1.1.1 分布式数据库系统的由来

分布式数据库系统(distributed data base system, DDBS)的研究始于 20 世纪 70 年代中期。这是由于数据库应用需求的拓展和计算机硬件环境的改变,特别是计算机网络与数字通信技术的飞速发展,卫星通信、蜂窝通信、计算机局域网、广域网和激增的 Intranet 及 Internet 得到了广泛应用,使分布式数据库系统应运而生,并成为计算机技术最活跃的研究领域之一。国际上每年都召开专门会议,研究探讨分布式数据库系统的各类问题及其解决方案。英国国家计算中心(national computing centre)专门对分布式数据库做了分析和预测,断言:“分布式系统,特别是以分布式数据库作为该系统的核心,将成为今后 10 年计算机科学发展的主要方向之一。”事实已经证明了这一点。

分布式数据系统符合当今信息系统应用的需求,符合当今企业组织的管理思想和管理方式。尤其是那些地域上分散而管理上又相对集中的大集团、大机关、大企业,如全球或全国性的公司、银行、连锁店、保险业、各类交通运输业,以及全国性人力、财力、资源、环境管理机构 and 军事国防单位等。在这些组织中,数据通常就已经是分布的了,因为企业中的每个部门都会很自然地维护与自己工作有关的数据。这样企业的整个信息资产就被分裂成通常所说的信息孤岛(island of information),而分布式数据库系统所起的作用就是为把这些小孤岛联系在一起提供桥梁。换句话说,分布式数据库的结构能够反映当今企业组织的信息数据结构:本地数据保存在本地维护,而同时又可以在需要时存取异地的数据。这就是说,往往既要有各部门的局部控制和分散管理,同时也要有整个组织的全局控制和在高层次的协同管理。这种协同管理要求各部门之间的信息既能灵活交流和共享,又能统一管理和使用,自然而然就提出了使用分布式数据库系统的要求。而且,随着应用需求的扩大和要求的提高,人们越来越认识到集中式数据库的局限性,迫切需要把这些子部门的信息通过网络连接起来,组成一个分布式数据库,或重新建立一个既有各部门独立处理又适合全局范围应用的分布式数据库系统。

世界上第一个分布式数据库系统 SDD-1 (system of distributed database)是由美国计算机公司(CCA)于 1976 年至 1978 年设计,并于 1979 年在 DEC-10 和 DEC-20 计算机上实现。

1.1.2 分布式数据库系统的发展

分布式数据库系统是数据库系统与计算机网络系统相结合的产物。计算机网络技术的飞速发展和广泛应用,使得对分布式数据库系统的研究和开发变得更加活跃。

分布式数据库系统产生于 20 世纪 70 年代末期,80 年代进入成长阶段。一方面因为计算机功能增强而成本下降,使得各行各业都购置了计算机,从而有利于数据的分散处理;另一方面也因为计算机网络技术的发展,降低了数据传输的费用。特别是微型机和超级微型机的出现和计算机局域网的广泛应用,则为分布式数据库系统的研制和实现提供了必要的条件。事实上,不论是军事上还是民用上,分布式数据库技术研究都有着深刻的应用背景。因此,各国在 DDBS 上都投入了大量的人力、财力和物力,美国、西欧、日本等相继提出规模宏大的 DDBS 研制计划。例如:

1) 德国斯图加特大学研制的 POREL 系统,历时 11 年,投资 450 万马克。

2) 美国 IBM 的 San Jose 研究室研制的 R^* ($R^* = R, RR, RRR, \dots$ 表示任意数目的 R) 和 System R。

3) 美国加州大学伯克利分校研制的分布式 INGRES 和荷兰阿姆斯特丹大学研制的扩展 INGRES,在 Unix / PDP 机上实现。

4) 法国 INRIA 研制的 SIRIUS-DELTA 系统和 IMAG 研究中心研制的 MICROBE 系统。

1987 年,关系数据库的最早设计者之一 C. J. Date (另一位是 E. F. Codd) 在《Distributed Database: A Closer Look》中提出了完全的、真正的分布式数据库管理系统应遵循的 12 条规则,这 12 条规则现已被广泛接受,并作为分布式数据库系统的理想目标或标准定义。它们是:

- 1) 本地自治性(local autonomy);
- 2) 不依赖于中心站点(no reliance on central site);
- 3) 可连续操作性(continuous operation);
- 4) 位置独立性(location transparency and location independence);
- 5) 数据分片独立性(fragmentation independence);
- 6) 数据复制独立性(replication independence);
- 7) 分布式查询处理(distributed query processing);
- 8) 分布式事务管理(distributed transaction management);
- 9) 硬件独立性(hardware independence);
- 10) 操作系统独立性(operating system independence);
- 11) 网络独立性(network independence);
- 12) 数据库管理系统独立性(DBMS independence)。

显然,这 12 条规则既不是相互独立的,也不是同等重要的,完全实现难度很大。但是,以这些规则为基础可以有助于理解分布式技术,还可以有助于规划一个特定的分布式系统的功能。这 12 条规则更可以有助于区分一个真正的、普遍意义上的分布式数据库系统与一个只能提供远程数据存取的系统。在一个远程数据存取的系统中,用户可以操作远程站点上的数据,甚至可以同时操作多个远程站点上的数据,但是,“远程与本地不是无缝连接的”,用户会或多或少地知道数据是在异地的,从而采取必要的相应操作。例如,一般意义上的客户机/服务器模式,或是浏览器/Web 服务器/数据库服务器的三层模式数据库系统,都能够通过计算机网络访问和操作远程站点中的数据库,但是,用户清楚地知道数