

 Springer

世界著名计算机教材精选

分布式数据库 系统原理 (第3版)

M. Tamer Özsu
Patrick Valduriez

著

周立柱 范举 吴昊 钟睿铖 等译



PRINCIPLES OF DISTRIBUTED DATABASE SYSTEMS Third Edition

清华大学出版社



世界著名计算机教材精选

分布式数据库系统原理

(第3版)

M. Tamer Özsu 著
Patrick Valduriez

周立柱 范 举 吴 昊 钟睿铖 等译

清华大学出版社
北 京

Translation from English language edition:
Principles of Distributed Database Systems, Third Edition
by M. Tamer Özsu, Patrick Valduriez
Copyright © 2013, Springer Berlin Heidelberg
Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书为英文版 *Principles of Distributed Database Systems, Third Edition* 的简体中文翻译版, 作者 M. Tamer Özsu, Patrick Valduriez, 由 Springer 出版社授权清华大学出版社出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2011-6890 号

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。
版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

分布式数据库系统原理(第3版)/(德)厄兹叙(Özsu, T.), (德)(Valduriez, P.)著;周立柱等译. —北京:清华大学出版社, 2014

书名原文: Principles of Distributed Database Systems, Third Edition

世界著名计算机教材精选

ISBN 978-7-302-34600-5

I. ①分… II. ①厄… ②厄… ③周… III. ①分布式数据库—数据库系统 IV. ①TP311.133.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 003369 号



责任编辑: 龙启铭
封面设计: 何凤霞
责任校对: 李建庄
责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 39.25

字 数: 978 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版

印 次: 2014 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 89.00 元

产品编号: 041888-01

译 者 序

本书英文版是由加拿大滑铁卢大学 M. Tamer Özsu 和法国国立计算机及自动化研究院 Patrick Valduriez 编写的。出于以下几点考虑,我们将这本书的第 3 版翻译成简体中文介绍给国内读者。

首先,本书作者是国际著名的数据库领域的专家,他们的学术造诣保证了本书的学术水平与价值。第二,这本教材历经二十余年,三次更新,其核心内容经过多次写作和修改,堪称是分布式数据库系统的经典图书,是分布式计算在数据库领域的体现。第三,云技术的本质就是分布式计算,而分布式数据库系统揭示的正是分布式计算在数据处理领域的本质问题。从这个角度考虑,教材的内容对云技术的学习与研究也有一定的借鉴作用。当然,对于云计算时代来说,传统的结构化数据的处理技术已经远远不够,我们必须考虑半结构化、非结构化数据所带来的特殊矛盾。也正是出于这样的考虑,本书第 3 版增加了 P2P 数据管理,万维网数据库管理(图数据管理,分布式 XML 处理等),数据流管理,云数据管理等前沿研究的内容。

在本书的翻译过程中我们曾经和该教材的作者进行过交流,得到过他们的帮助,在此我们表示衷心的感谢。另外,我们还得到了清华大学出版社的龙启铭编辑的大力支持。对此,我们也表示由衷的谢意。

本书第 1~3、6~8 章由周立柱翻译,第 4、5、9、17 章由范举翻译,第 10~13 章由吴昊翻译,第 14~16、18 章由钟睿铖翻译,周立柱对全书的翻译进行了校阅。虽然我们尽了很大的努力来完成本书的翻译工作,但其中一定还会存在这样或那样的错误或不足。在此敬请读者谅解,并希望能够得到读者的赐教,对于这样的帮助我们将不胜感激。

译 者

2014 年 3 月于清华园

前 言

从本书的第 1 版问世至今几乎过去了二十年,而从第 2 版的发行算起也有十年了。如同人们可以想象的那样,对于一个发展迅速的领域,在这段期间内所发生的变化是惊人的。现在,分布式数据管理从一个潜在的重要技术变成普遍应用的技术,而因特网和万维网的出现使人们审视分布的观点发生了变化。近年来出现的以数据流和云计算为代表的不同形式的分布计算,重新引发了研究分布式数据管理的兴趣,这些都给本书的修改带来了机遇。

五年前我们开始了本版教材的工作,我们花了相当多的时间才把它完成。最终,教材的内容发生了较大的变化:在对内容的核心部分进行更新的同时,还加入了新的内容。本书的主要变化如下:

(1) 数据集成和查询处理讨论得更细,这反映了学术界在过去十年里对于这些研究主题的动向。第 4 章集中讨论了集成过程,而第 9 章则讨论了多数据库系统的查询处理。

(2) 前一版仅仅简单地讨论了数据复制的协议。现在这一主题用单独一章(第 13 章)来处理,对协议以及如何把协议集成到事务处理都进行了深入讨论。

(3) 第 16 章深入讨论了 P2P 数据管理。这样的系统已经成为传统的分布式数据库系统的另一种体系结构形式。虽然早期的分布式数据库系统采用了 P2P 的形式,但现代的 P2P 系统体现了本质的不同特点。因此有必要把它们独立成章并深入讨论。

(4) 第 17 章讨论了万维网数据管理。这是一个难以处理的内容,因为目前还没有一个统一的框架。我们讨论了从万维网模型到搜索引擎,再到分布式 XML 处理的不同主题。

(5) 早期的版本都包含有当时“近期研究”的讨论。这一版也含有类似的一章(第 18 章),它讨论了流数据管理和云计算。这些主题仍在变化之中,我们指出了目前尚须解决的问题及可能的研究方向。

本书努力在这两个目标之间寻求一种平衡:一是要介绍新的正在出现的研究,二是要保持本书在讨论分布式数据管理的原理方面的特色。

本书由两部分组成。第一部分包括分布式数据管理的基础原理,由第 1~14 章组成。这部分的第 2 章包含一些背景知识,如果学生已经掌握了关系数据库以及计算机网络技术的概念,可以跳过这一章。但这一章十分重要的是例 2.3,因为它介绍了本书大部分内容都会涉及的用例。第二部分包含第 15~18 章,是更为高级的主题。一门课程应当覆盖哪些内容依赖于讲课的时间以及目标要求。如果课程的目标是基础技术,那么就on应该覆盖第 1、3、5~8 章,以及第 10~12 章。作为这种选择的一个扩充,可以再覆盖第 4、9 和 13 章。如果课程的时间更长,则可以从第二部分的第 15~18 章里选择一章或多章。

许多同事为本书提供了帮助和支持。S. Keshav (University of Waterloo) 阅读了计算机网络部分并提供了很多的更新建议。Renée Miller (University of Toronto) 和 Erhard Rahm (University of Leipzig) 阅读了第 4 章的最初内容并给予了许多的点评,Alon Halevy (Google) 回答了这一章的有些问题,提供了他即将出版的书里和该主题有关的初稿,他还阅读了本书的第 9 章并提供了反馈意见,Avigdor Gal (Technion) 也对本章给予了仔细的审阅

和评论。Matthias Jarke 和 Xiang Li (University of Aachen)、Gottfried Vossen (University of Muenster)、Erhard Rahm 以及 Andreas Thor (University of Leipzig)贡献了本章的练习。Hubert Naacke (University of Paris 6)贡献了第9章的异构成本建模一节,而 Fabio Porto (LNCC, Petropolis)则贡献了这一章的自适应查询处理一节。如果没有 Gustavo Alonso (ETH Zürich) 和 Bettina Kemme (McGill University),则不可能写出数据复制(第13章)。Tamer 在2006年春访问 Gustavo 四个月,他在那里开始了该章的工作并且经常举行长时间的讨论。Bettina 在2007年一年的时间里几次阅读该章内容,提出了全面的建议,并详细指出如何更好阐述所用的材料。Esther Pacitti (University of Montpellier)也对本章有所贡献,提供了审阅与背景材料两方面的帮助,她的贡献还包括第14章的数据库集群复制这一节。Ricardo Jimenez-Peris 在这章的数据库集群容错这一节做出了贡献。Khuzaima Daudjee (University of Waterloo)阅读了该章并作了评论。第15章的分布式对象数据管理是由 Serge Abiteboul (INRIA)审阅的,包括对本章材料的重要意见以及改进的建议。第16章的P2P系统很大程度上要归功于2006年秋季访问 NUS (National University of Singapore)的四个月期间和 Beng Chin Ooi 的讨论。第16章的关于P2P系统的查询用到了 Reza Akbarinia (INRIA)和 Wenceslao Palma (PUC-Valparaiso, Chile)的 PhD 的工作,而关于复制一节则使用了 Vidal Martins (PUCPR, Curitiba)的 PhD 材料。第17章的分布式XML处理一节使用了 Ning Zhang(Facebook)、University of Waterloo 的 Patrick Kling,以及 CWI 的 Ying Zhang 的 PhD 论文的材料。他们三个人还阅读了这一章并提供了宝贵的意见。Victor Muntés i Mulero (Universitat Politècnica de Catalunya)为这一章的练习做出了贡献。Özgür Ulusoy (Bilkent University)为第16和17章提出了评论意见,纠正了其中的错误。第18章的数据流管理一节来自于 Lukasz Golab (AT&T Labs-Research)和 University of Waterloo 的 Yingying Tao 的 PhD 工作。Walid Aref (Purdue University) 和 Avigdor Gal (Technion)在他们的课程中使用了本书的初稿,这对于改进本书的某些部分是十分有益的。我们感谢他们,还有很多在前两版帮助过我们的其他同事。我们并没有完全地吸收了他们的建议,当然书中的错误都应该是我们的责任。上过 University of Waterloo 两门课程(Web Data Management in Winter 2005 和 Internet-Scale Data Distribution in Fall 2005)的同学在他们的部分课程作业中对本书作了综述,这非常有助于某些章的结构形成。Tamer 在 ETH Zürich 讲授的课程(PDDBS-Parallel and Distributed Databases in Spring 2006),和在 NUS 讲授的课程(CS5225-Parallel and Distributed Database Systems in Fall 2010)使用了本书这一版的许多部分。我们感谢所有上过这些课程的同学,他们只能使用当时正在形成的某些章。这些教学经历使得书中的材料获得了相当大的改进。

读者将会注意到第3版的出版商与前两版是不同的。我们以前的出版商 Pearson 决定不再与我们的第3版有关, Springer 此后予以了相当多的关注。我们要感谢 Springer 的 Susan Lagerstrom-Fife 以及 Jennifer Evans 用闪电一样的速度决定出版本书。我们还要感谢 Jennifer Mauer 在转接过程中做了大量的工作。我们也要感谢 Pearson 的 Tracy Dunkelberger 为我们所做的毫无拖延的版权交接。

如同早期的版本一样,我们提供了本书教学所用的幻灯片以及大部分练习题的答案。采用本书的教员可以从 Springer 得到这些材料,在 springer.com 的图书网站上可以找到相

关的链接。

最后,我们非常愿意倾听大家有关本书内容的建议和评论。我们欢迎任何反馈意见,尤其是以下几个方面:

- (1) 尽管我们尽了最大努力,但仍然存在的错误(虽然我们希望不会太多)。
- (2) 哪些内容应当拿掉,还有哪些内容应当加入或扩充。
- (3) 你所设计的、希望放入本书中的练习题。

M. Tamer Özsu (Tamer.Ozsu@uwaterloo.ca)

Patrick Valduriez (Patrick.Valduriez@inria.fr)

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 分布式数据处理	2
1.2 什么是分布式数据库系统	2
1.3 数据发送的不同选择	4
1.4 DDBS 的承诺	5
1.4.1 分布及复制数据的透明管理	5
1.4.2 分布式事务提供的可靠性	9
1.4.3 改进的性能	10
1.4.4 更为容易的系统扩展	11
1.5 分布所带来的复杂性	11
1.6 设计问题	12
1.6.1 分布式数据库设计	12
1.6.2 分布式目录管理	12
1.6.3 分布式查询处理	12
1.6.4 分布式并发控制	13
1.6.5 分布式死锁管理	13
1.6.6 分布式数据库的可靠性	13
1.6.7 复制	13
1.6.8 问题之间的相互关系	13
1.6.9 其他方面的问题	14
1.7 分布式 DBMS 体系架构	15
1.7.1 ANSI/SPARC 体系架构	15
1.7.2 集中式 DBMS 的通用体系架构	16
1.7.3 分布式 DBMS 体系架构的模型	18
1.7.4 自治性	18
1.7.5 分布	19
1.7.6 异构性	20
1.7.7 体系架构的不同选择	20
1.7.8 客户/服务器系统	20
1.7.9 P2P 系统	22
1.7.10 多数据库体系架构	25
1.8 参考文献说明	28
第 2 章 背景知识	30
2.1 关系 DBMS 概述	30

2.1.1	关系数据库概念	30
2.1.2	规范化	32
2.1.3	关系语言	33
2.2	计算机网络概述	41
2.2.1	不同类型的网络	42
2.2.2	通信方式	45
2.2.3	数据通信的基本概念	46
2.2.4	通信协议	47
2.3	参考文献说明	50
第3章	分布式数据库设计	51
3.1	自顶向下的设计过程	52
3.2	分布设计的研究问题	54
3.2.1	为什么要分片	54
3.2.2	不同的分片方法	55
3.2.3	划分程度	56
3.2.4	分片的正确性规则	56
3.2.5	不同的分配方法	57
3.2.6	信息需求	57
3.3	分片	58
3.3.1	水平分片	58
3.3.2	垂直分片	70
3.3.3	混合分片	79
3.4	分配	80
3.4.1	分配问题的定义	80
3.4.2	信息需求	82
3.4.3	分配模型	83
3.4.4	解决办法	85
3.5	数据目录	85
3.6	本章小结	86
3.7	参考文献说明	87
练习	88
第4章	数据库集成	91
4.1	自底向上的设计方法	92
4.2	模式匹配	95
4.2.1	模式异构性	97
4.2.2	语言匹配方法	98
4.2.3	基于限制的匹配方法	100

4.2.4 基于学习的匹配方法	101
4.2.5 组合匹配方法	101
4.3 模式集成	102
4.4 模式映像	103
4.4.1 映像建立	104
4.4.2 映像维护	108
4.5 数据清洗	109
4.6 本章小结	110
4.7 参考文献说明	111
练习	112
第 5 章 数据与访问控制	120
5.1 视图管理	120
5.1.1 集中式 DBMS 中的视图	121
5.1.2 分布式 DBMS 中的视图	123
5.1.3 物化视图的维护	124
5.2 数据安全	126
5.2.1 裁决式访问控制	127
5.2.2 多级访问控制	128
5.2.3 分布式访问控制	130
5.3 语义完整性控制	132
5.3.1 集中式语义完整性控制	133
5.3.2 分布式语义完整性控制	136
5.4 本章小结	140
5.5 参考文献说明	141
练习	142
第 6 章 查询处理概述	144
6.1 查询处理问题	144
6.2 查询处理的目标	147
6.3 关系代数运算的复杂度	148
6.4 查询处理程序的刻画	148
6.4.1 语言	149
6.4.2 优化类型	149
6.4.3 优化时机	149
6.4.4 统计	150
6.4.5 决策站点	150
6.4.6 网络拓扑的利用	150
6.4.7 利用复制的片段	151

6.4.8 使用半连结	151
6.5 查询处理的层次	151
6.5.1 查询分解	152
6.5.2 数据本地化	153
6.5.3 全局查询优化	153
6.5.4 分布式查询执行	154
6.6 本章小结	154
6.7 参考文献说明	154
第7章 查询分解与数据本地化	156
7.1 查询分解	156
7.1.1 规范化	156
7.1.2 分析	157
7.1.3 去除冗余	159
7.1.4 重写	160
7.2 分布数据的本地化	164
7.2.1 主水平划分的归约	164
7.2.2 垂直分片的归约	166
7.2.3 诱导分片的归约	167
7.2.4 混合分片的归约	169
7.3 本章小结	170
7.4 参考文献说明	171
练习	171
第8章 分布式查询的优化	174
8.1 查询优化	174
8.1.1 搜索空间	175
8.1.2 搜索策略	176
8.1.3 分布式代价模型	177
8.2 集中式查询优化	182
8.2.1 动态查询优化	182
8.2.2 静态查询优化	185
8.2.3 混合查询优化	188
8.3 分布查询的连结排序	189
8.3.1 连结排序	189
8.3.2 基于半连结的算法	191
8.3.3 连结与半连结的对比	193
8.4 分布式查询优化	194
8.4.1 动态方法	194

8.4.2	静态方法	197
8.4.3	基于半连结的方法	200
8.4.4	混合方法	204
8.5	本章小结	207
8.6	参考文献说明	208
	练习	209
第9章	多数据库查询处理	211
9.1	多数据库查询处理的关键问题	211
9.2	多数据库查询处理体系架构	212
9.3	使用视图进行查询重写	214
9.3.1	Datalog 术语	214
9.3.2	使用 GAV 的查询重写技术	215
9.3.3	使用 LAV 的查询重写技术	216
9.4	查询优化和执行	218
9.4.1	异构代价模型	218
9.4.2	异构查询优化	223
9.4.3	自适应的查询处理	227
9.5	查询翻译和执行	232
9.6	本章小结	234
9.7	参考文献说明	234
	练习	235
第10章	事务管理介绍	238
10.1	事务的定义	239
10.1.1	事务的终结条件	241
10.1.2	事务的特性	242
10.1.3	事务的形式化定义	243
10.2	事务的性质	245
10.2.1	原子性	245
10.2.2	一致性	245
10.2.3	隔离性	246
10.2.4	持久性	249
10.3	事务的类型	249
10.3.1	平面事务	250
10.3.2	嵌套事务	250
10.3.3	workflow	252
10.4	再论体系架构模型	254
10.5	本章小结	255

10.6	参考文献说明	256
第 11 章	分布式并发控制	257
11.1	可串行化理论	257
11.2	并发控制机制的分类	261
11.3	基于加锁的并发控制算法	262
11.3.1	集中式 2PL	265
11.3.2	分布式 2PL	268
11.4	基于时间戳的并发控制算法	269
11.4.1	基本 TO 算法	269
11.4.2	保守 TO 算法	272
11.4.3	多版本 TO 算法	273
11.5	乐观并发控制算法	274
11.6	死锁管理	276
11.6.1	死锁预防	277
11.6.2	死锁回避	278
11.6.3	死锁检测与解决	279
11.7	“放松”的并发控制	281
11.7.1	非串行化历史	281
11.7.2	嵌套分布式事务	282
11.8	本章小结	284
11.9	参考文献说明	285
	练习	286
第 12 章	分布式 DBMS 的可靠性	288
12.1	可靠性的概念和度量	288
12.1.1	系统、状态与故障	288
12.1.2	可靠性与可用性	289
12.1.3	平均无故障时间/平均修复时间	291
12.2	分布式 DBMS 的故障	292
12.2.1	事务故障	292
12.2.2	站点(系统)故障	292
12.2.3	介质故障	293
12.2.4	通信故障	293
12.3	局部可靠性协议	294
12.3.1	体系结构的考虑	294
12.3.2	恢复信息	296
12.3.3	LRM 命令的执行	299
12.3.4	建立检查点	302

12.3.5 处理介质故障	303
12.4 分布式可靠性协议	304
12.4.1 分布式可靠性协议的组件	304
12.4.2 两阶段提交协议	305
12.4.3 2PC 的变型版本	310
12.5 处理站点故障	311
12.5.1 2PC 的终结和恢复协议	311
12.5.2 三阶段提交协议	315
12.6 网络划分	319
12.6.1 集中式协议	320
12.6.2 基于投票的协议	320
12.7 体系架构方面的考虑	322
12.8 本章小结	323
12.9 参考文献说明	324
练习	325
第 13 章 数据复制	327
13.1 复制数据库的一致性	328
13.1.1 相互一致性	328
13.1.2 相互一致性与事务一致性	330
13.2 更新管理策略	331
13.2.1 积极更新传播	331
13.2.2 懒惰更新传播	332
13.2.3 集中式技术	332
13.2.4 分布式技术	333
13.3 复制协议	333
13.3.1 积极集中式协议	333
13.3.2 积极分布式协议	338
13.3.3 懒惰集中式协议	338
13.3.4 懒惰分布式协议	343
13.4 分组通信	344
13.5 复制与故障	346
13.5.1 故障和懒惰复制	346
13.5.2 故障和积极复制	346
13.6 复制中介程序服务	349
13.7 本章小结	351
13.8 参考文献说明	351
练习	352

第 14 章 并行数据库系统	354
14.1 并行数据库系统架构	354
14.1.1 目标	355
14.1.2 功能架构	356
14.1.3 并行 DBMS 架构	357
14.2 并行数据布局	361
14.3 并行查询处理	365
14.3.1 查询并行性	365
14.3.2 数据处理的并行算法	366
14.3.3 并行查询优化	371
14.4 负载均衡	374
14.4.1 并行执行问题	374
14.4.2 算子内负载均衡	375
14.4.3 算子间负载均衡	377
14.4.4 查询内负载均衡	377
14.5 数据库集群	381
14.5.1 数据库集群架构	381
14.5.2 复制	382
14.5.3 负载均衡	384
14.5.4 查询处理	386
14.5.5 容错性	388
14.6 本章小结	389
14.7 参考文献注释	390
练习	391
第 15 章 分布式对象数据库管理	393
15.1 基础对象概念和对象模型	394
15.1.1 对象	394
15.1.2 类型和类	396
15.1.3 组合(聚合)	398
15.1.4 子类划分和继承	398
15.2 对象的分布设计	400
15.2.1 类的水平分片	400
15.2.2 类的垂直分片	402
15.2.3 路径划分	402
15.2.4 类的分片算法	402
15.2.5 分配	403
15.2.6 复制	404
15.3 架构问题	404

15.3.1	可选的客户/服务器架构	404
15.3.2	缓存一致性	408
15.4	对象管理	410
15.4.1	对象标识管理	410
15.4.2	指针转换	411
15.4.3	对象迁移	412
15.5	分布式对象存储	413
15.6	对象查询处理	416
15.6.1	对象查询处理器架构	417
15.6.2	查询处理问题	417
15.6.3	查询执行	421
15.7	事务管理	424
15.7.1	关于正确性的判据	424
15.7.2	事务模型和对象结构	426
15.7.3	对象 DBMS 中的事务管理	426
15.7.4	将事务看作对象	432
15.8	本章小结	433
15.9	参考文献注释	433
	练习	434
第 16 章	P2P 数据管理	436
16.1	基础设施	438
16.1.1	非结构 P2P 网络	438
16.1.2	结构化的 P2P 网络	441
16.1.3	超级节点 P2P 网络	444
16.1.4	P2P 网络的比较	446
16.2	P2P 系统中的模式映射	446
16.2.1	成对模式映射	446
16.2.2	基于机器学习技术的映射	447
16.2.3	共同协议映射	447
16.2.4	使用 IR 技术的模式映射	448
16.3	在 P2P 系统中查询	449
16.3.1	前 k 名查询	449
16.3.2	连结查询	458
16.3.3	范围查询	459
16.4	副本一致性	462
16.4.1	在 DHT 中的基本支持	462
16.4.2	在 DHT 中的数据当前性	464
16.4.3	副本协调	465

16.5	本章小结	468
16.6	参考文献注释	468
	练习	469
第 17 章	万维网数据管理	471
17.1	万维网图管理	472
17.1.1	万维网图结构的压缩	473
17.1.2	采用 S-节点的万维网图存储	474
17.2	万维网搜索	475
17.2.1	万维网爬取	476
17.2.2	索引	478
17.2.3	排序与链接分析	479
17.2.4	关键词搜索的评价	479
17.3	万维网查询	480
17.3.1	半结构化数据方法	481
17.3.2	万维网查询语言方法	485
17.3.3	问答系统	489
17.3.4	隐藏万维网搜索与查询	492
17.4	分布式 XML 处理	495
17.4.1	XML 概览	496
17.4.2	XML 查询处理技术	502
17.4.3	XML 数据的分片	505
17.4.4	分布式 XML 处理的优化	511
17.5	本章小结	517
17.6	参考文献说明	518
	练习	518
第 18 章	前沿研究:流数据和云计算	520
18.1	数据流管理	520
18.1.1	流数据模型	521
18.1.2	流查询语言	523
18.1.3	流算子和它们的实现	526
18.1.4	查询处理	528
18.1.5	DSMS 查询优化	531
18.1.6	负载削减和近似	532
18.1.7	多查询优化	533
18.1.8	流挖掘	533
18.2	云数据管理	536
18.2.1	云的分类	536