CCF 大数据教材系列丛书
CCF 大数据专家委员会 组编

主编 杜小勇

大数据管理

高等教育出版社

CCF 大数据教材系列丛书
CCF 大数据专家委员会 组编

大数据管理

主编 杜小勇

高等教育出版社·北京

大数据管理 Dashuju Guanli

图书在版编目（CIP）数据

大数据管理 / 杜小勇主编. -- 北京 : 高等教育出版社, 2019.3
ISBN 978-7-04-051561-9

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①杜… Ⅲ. ①数据管理-高等学校-教材 Ⅳ. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第040956号

策划编辑　张江漫
责任编辑　黄涵玥
书籍设计　张申申
插图绘制　于　博
责任校对　张　薇
责任印制　田　甜

出版发行　高等教育出版社
社址　北京市西城区德外大街4号
邮政编码　100120
购书热线　010-58581118
咨询电话　400-810-0598
网址　http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn
网上订购
http://www.hepmall.com.cn
http://www.hepmall.com
http://www.hepmall.cn
印刷　北京信彩瑞禾印刷厂
开本　850mm×1168mm　1/16
印张　20.25
字数　310千字
版次　2019年3月第1版
印次　2019年3月第1次印刷
定价　48.00元

物料号　51561-00

内容提要

本书系统全面地阐述了大数据管理系统的基础理论、基本技术和基本方法。全书分为三篇共10章。第一篇大数据管理概述，综述了数据库管理系统发展经历或正在经历的四个阶段，梳理了大数据管理系统的数据特征、系统特征、应用特征，阐述了大数据管理系统的组成，指出发展大数据管理系统是历史的必然；第二篇数据模型与语言，包括关系模型与SQL、键值对数据模型、文档模型与查询语言、图模型与类SQL查询语言，共4章；第三篇大数据管理系统，包括大数据管理系统的体系架构、数据组织与存储、分布式查询处理优化、分布式事务、故障恢复，共5章。

本书可以作为高等学校大数据专业、计算机类专业、信息管理与信息系统等相关专业大数据管理课程的教材，也可供从事数据库和大数据管理系统研究、开发和应用的研究人员和工程技术人员参考。

大数据教材系列丛书编委会

主任　　梅　宏

成员　　（按姓名拼音排序）

卜佳俊　陈宝权　陈恩红

程学旗　杜小勇　方　粮

胡　斌　黄宜华　金　海

马华东　潘柱廷　王建民

王晓阳　王元卓　袁晓如

周傲英　周　涛　周晓方

编者按

随着大数据的蓬勃发展，大数据领域人才的需求越来越大，大数据人才培养受到了各界的广泛关注。2016年，教育部开始批准设立“数据科学与大数据技术”本科专业，越来越多的高校申请开设“数据科学与大数据技术”专业或开设大数据方向的相关课程，截至2018年3月，已有近三百所高校获批建设“数据科学与大数据技术”专业。虽然大数据专业和大数据方向的课程不断开设，但是，当前我国高校的大数据教学尚处在摸索阶段，尤其缺乏成熟的、系统性和规范性的大数据教学体系和教材。

在此背景下，中国计算机学会大数据专家委员会成立了大数据教材系列丛书编委会，着手编著系列化、规范化的大数据教材。自2017年6月，经编委会多次研讨，形成丛书框架，作者们随即开始紧张的编写工作。编委会和作者间也有多轮的初稿审阅和研讨交流。数易其稿，终于付梓。

大数据教材系列丛书采用“1+3+X”的体系，即以1本《大数据导论》为基础，设置《大数据管理》《大数据处理》《大数据分析》3本关键技术教材，以及针对行业领域的X本应用教材。本套教材系列丛书既适合高校大数据专业的专科生、本科生以及研究生系统地学习大数据相关知识与技术，也适合从事大数据相关技术的企事业单位研究人员、工程师作为参考用书。

《大数据导论》是一本全面介绍大数据相关知识的专业通识教材，其系统地介绍大数据涵盖的内容，包括数据与大数据、大数据获取与感知、大数据存储与管理、大数据分析、大数据处理、大数据治理、大数据安全与隐私等，同时还介绍了部分行业中大数据的典型应用案例，反映了大数据在社会经济生活中的重要价值。

《大数据管理》首先综述数据管理系统的发展，指出发展大数据管理系统是历史的必然，并沿着数据模型和系统构件两个维度上展开。在数据模型的维度上，主要介绍关系、键值对、图和文档数据模型及其语言；在系统维度上，介绍系统结构、存储与组织、查询处理、事务管理、故障恢复等话题。

《大数据处理》包括大数据处理基础技术、大数据处理编程与典型应用处理、大数据处理系统与优化三个方面。本教材以大数据处理编程为核心，从基础、编程到优化等多个方面对大数据处理技术进行系统介绍，

使得读者能够快速入门，同时体会大数据处理系统的设计理念与优化方法本质。

《大数据分析》包括大数据分析方法和理论、典型大数据分析任务以及大数据分析系统与应用。本教材特色是理论联系实际，本书从基础理论、典型任务以及系统应用多个方面对大数据分析相关知识进行了系统而详细的介绍，使得读者能够快速入门，体会大数据分析技术的本质特征，领略大数据技术带来的创新理念。

“X”系列教材包含面向各行各业的大数据应用的知识与技术，既可面向工程实践，又可面向职业培训，且将随着产业界大数据应用的发展进行更新迭代。

大数据已成为学术界、产业界和政府共同关注的热点，正在开启信息化的新阶段。大数据人才培养也刚刚起步，还需要付出更多努力去探索。通过汇集中国计算机学会大数据专家委员会的智力资源，丛书编委会希望本系列教材能够为我国大数据人才培养尽到绵薄之力，助力我国大数据事业的蓬勃发展。尽管编委会和作者花费了很大精力规划和编写本系列教材，但是囿于对大数据的认识局限和自身能力限制，难免存在疏漏和错误，欢迎读者批评指正，以待再版时修正完善。

大数据教材系列丛书编委会

2018年7月

前言

近年来，大数据的重要性凸显，许多国家都把大数据上升到国家战略的高度。实施国家大数据战略，离不开大数据技术的研究。回顾信息技术的发展历史，数据管理技术是信息应用技术的基础。在计算机学科分支中，数据管理是整个领域为数不多既有基础理论研究、又有系统软件研制、还有产业支撑的学科。专门从事数据管理系统软件和应用软件研制的甲骨文公司于2013年超越IBM，成为继微软公司之后全球第二大软件公司。如今，历史似乎又正在重演，大数据管理在大数据技术中表现得越来越重要。

顺应国家大数据发展战略和社会需求，根据教育部2018年3月份数据统计显示，国内共有283所高校相继获批了数据科学与大数据技术专业。在此背景下，中国计算机学会大数据专家委员会，围绕大数据专业建设和人才培养的需求，组织编写大数据“1+3+X”系列教材，该教材以梅宏院士主编的《大数据导论》为基础，并针对性地设置《大数据管理》《大数据处理》《大数据分析》三本关键技术课教材和X本领域应用教材。本书《大数据管理》就是其中的一本关键技术课教材。

本书分为三篇10章。第一篇大数据管理概述，包括第1章数据库管理系统概述；第二篇数据模型与语言，包括第2章关系数据模型与SQL、第3章键值对数据模型、第4章文档模型与查询语言、第5章图模型与类SQL查询语言，共4章；第三篇大数据管理系统，包括第6章大数据管理系统的体系架构、第7章数据组织与存储、第8章分布式查询处理优化、第9章分布式事务、第10章故障恢复，共5章。

全书内容全面丰富，既有数据库管理系统发展的历史回顾、现状综述和未来发展预测，又有大数据管理系统核心技术的深入剖析，全书每一章节分别邀请了在该领域研究多年的一线科研工作者或资深架构师执笔，教师可以针对不同专业和不同类别的学生挑选书中不同章节的内容进行讲解。

本书由杜小勇组织编写并任主编。提供本书初稿的主要有：张延松（第2、8章）、李翠平（第3、8章）、张孝（第4、8章）、卢卫（第5、8章）、张峰（第6章）、柴云鹏（第7章）、李海翔（第9章）、陈跃国（第10章）。参加一些章节部分内容初稿编写的有：卞昊穹、丁鹏傑、林玉婷、王童童。全书最后由杜小勇审定。

在本书的撰写过程中，作者阅读参考了国内外大量教材、专著、论文、技术报告、系统源代码，努力跟踪大数据管理的新方法、新技术、新系统，有选择地把它们纳入到教材中来，但因大数据管理技术和系统还在快速发展中，尚未成型，书中不足之处，敬请学术同仁与读者指正。作者邮箱：duyong@ruc.edu.cn。

杜小勇

2018年9月

目录

第一篇 大数据管理概述

第1章 数据库管理系统概述

1

数据管理系统的功能是伴随着数据库应用的扩展而不断发展起来的。第一代系统的功能主要集中在数据的组织与存储上，为了有效支持层次或者图结构的数据组织，各种链表结构被提出来。这个时期的数据库系统就是一种数据组织与数据存取的工具。第二代系统主要围绕 OLTP 应用展开，除了关系存储技术之外，重点发展了事务处理子系统、查询优化子系统、数据访问控制子系统。第三代系统主要围绕 OLAP 应用展开，重点在提出高效支持 OLAP 复杂查询的新的数据组织技术，包括 CUBE 和列存储等技术以及 OLAP 分析前端工具的开发。第四代系统主要围绕大数据应用展开，重点围绕分布式可扩展、异地多备份高可用架构、多数据模型支持以及多应用负载类型支持上等。

1.1 数据管理系统的发展历史

“管理”一词的含义就是对资源进行有效的规划、组织和使用，使得系统各部分更加有效地配合以高效实现系统的目标。系统资源很少、规模很小的时候，无所谓管理。只有当系统的资源很多、规模很大、系统的复杂性很高的时候，管理才变得举足轻重。由此可见，管理一定是伴随着系统复杂性的提高而逐渐形成的，管理的内涵是随着系统目标的变化而变化的。有一句话说“世界上本来没有路、走的人多了就成了路”，数据管理系统的功能也是在人们发展信息系统的实践中，不断凝练共性而形成的。因此，回顾和总结数据管理系统的历史可以沿着数据库应用发展的主线来展开，这也是数据管理系统的目的所在；同时，回顾历史也要兼顾到系统的复杂性，包括系统所能拥有的资源种类和数据规模大小等因素。

1.1.1 第一代：层次、网状数据库系统

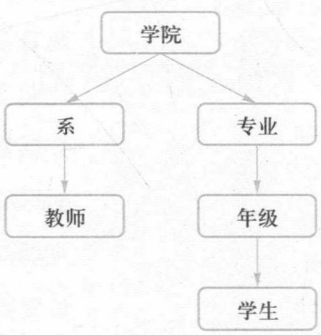
数据管理系统的发展可以上溯到20世纪60年代出现的层次数据库技术。当时计算机已经开始在商业上获得应用，文件作为数据存储的主要设施，已经无法满足对商业应用（如银行业务）中数据项之间的复杂关系进行管理的需求，主要表现在以下几个方面：第一，文件系统是面向单一应用的，也就是说根据每一个应用的需要，有针对性地设计文件

的数据结构。因此不同的应用要使用同一个文件结构会显得效率较低。第二，文件之间的数据是独立的，如果两个文件之间的数据存在内在的逻辑关系，要维护这种关系就非常困难甚至是不可能的。第三，文件的组织方式单一，难以满足不同的访问模式对数据高效率访问的需求。

因此，这个时期的信息系统对数据管理的核心需求是提供一种面向系统整体的数据组织与访问功能，简单地说就是存储和访问这两件事情。受制于当时的计算机技术限制，第一代的数据库管理系统是层次型的，之后又进一步扩展为网状型数据库。这里所谓的层次型或者网状型指的是系统中的数据组织方式是按照树或者（受限）图来组织的。树由于其每一个结点最多只有一个父结点，因此可以采用更加有效的手段（例如按照树遍历的顺利）来存储数据。网状模型则通过引入“基本层次联系”的概念，将图分解为一组基本层次联系的集合。而基本层次联系实际上就是一个命名的层次联系。因此，这两类数据库本质上还是一样的，都可以用“树”结构来表达和存储数据。尽管这个时期数据管理的功能集中在数据存储组织和数据访问等，但是，这是第一次将数据管理的功能从具体的应用逻辑中分离并独立出来，在数据管理系统的发展历史上是一件里程碑的事情。

图1-1 层次模型

举一个学校组织的例子：一所大学有不同的学院，学院有不同的系，每一个系有多位教师，学院也有不同的专业，每个专业下，每一学年都有许多学生入学。这样一个组织可以用一个层次模型表示如图1-1所示。



对于层次/网状数据库，数据访问的最常见的模式就是根据某一个父结点的值检索子结点的全部或者部分值。例如，查询信息学院计算机系的教师张丽的情况，数据的访问就需要从学院到系再到教师这样的路径进行访问，为了提高数据访问的效率，最有效的数据存储方式就是按照树遍历（例如中序遍历）方式访问树结点并将这些结点的数据邻近存储，兄弟结点之间则用指针进行链接。因此，这个时期的数据库看起来就是玩各种数据结构，指针、链表被大量使用。