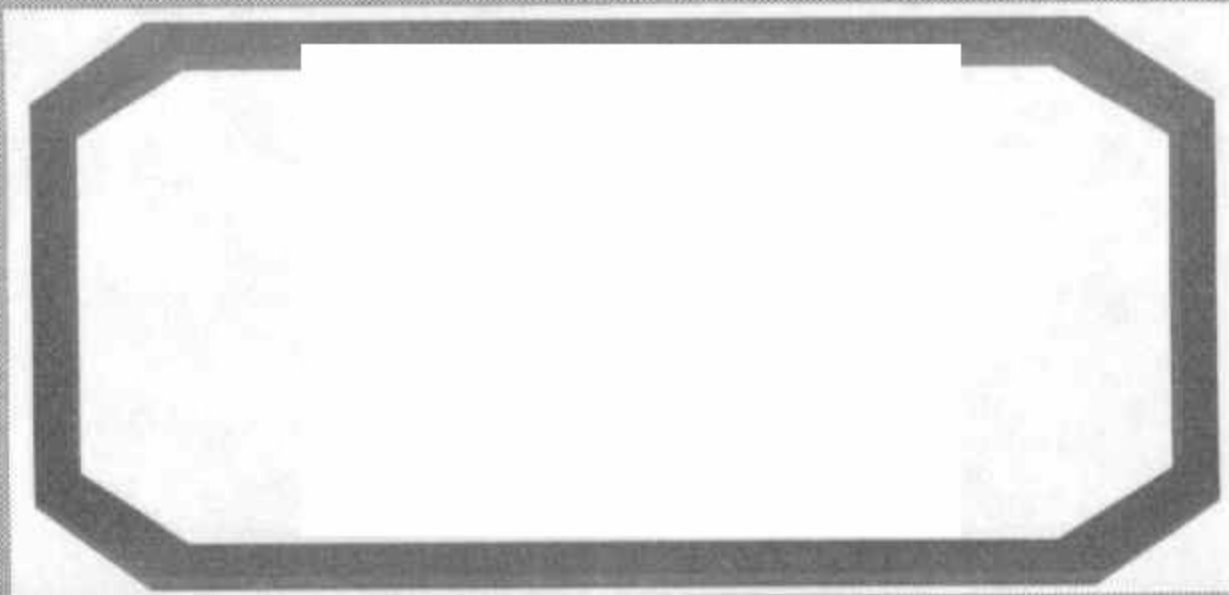


海量数据存储

方粮 编著

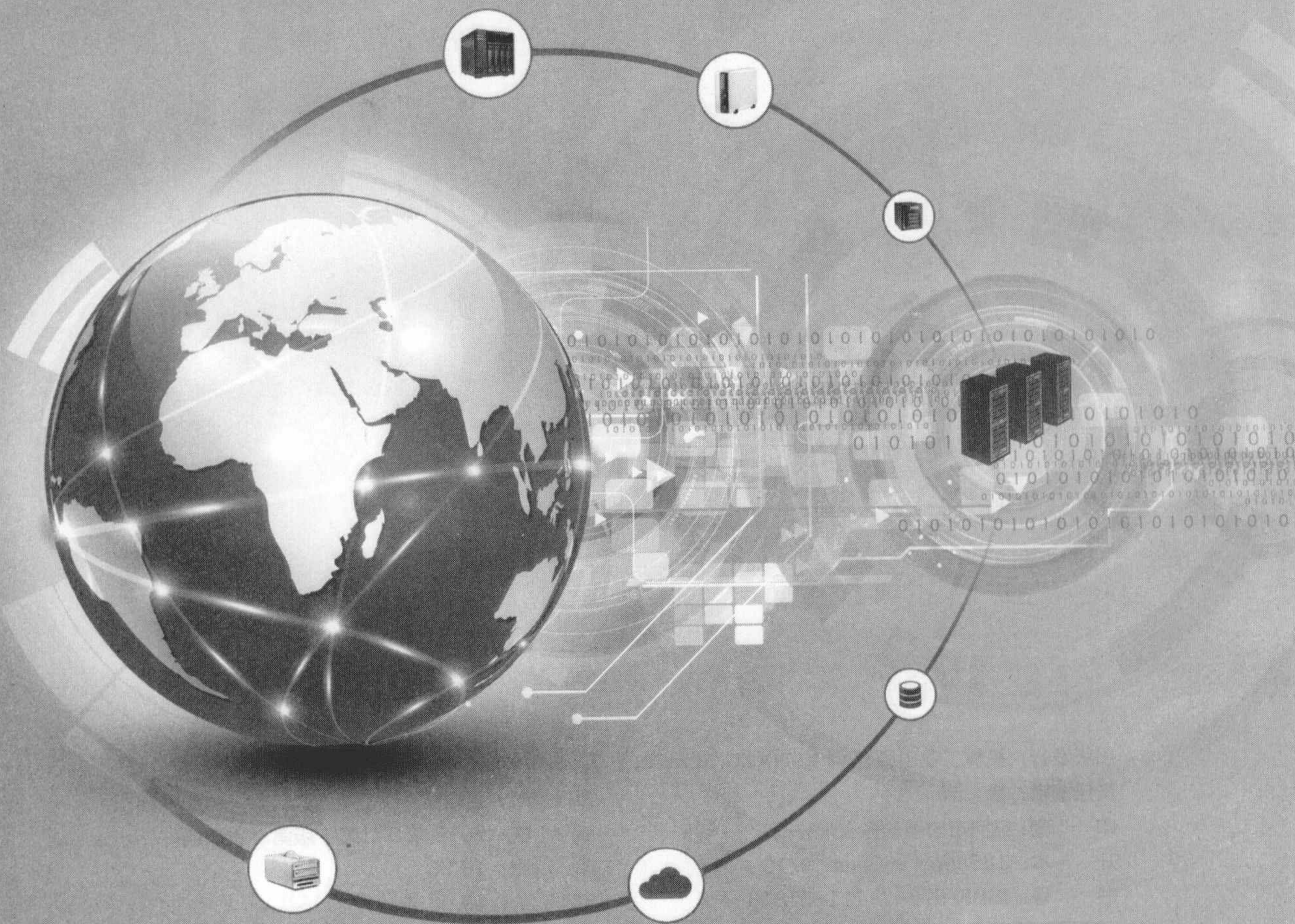



机械工业出版社
China Machine Press



海量数据存储

方粮 编著



 机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

海量数据存储 / 方粮编著. —北京: 机械工业出版社, 2016.8

ISBN 978-7-111-54816-4

I. 海… II. 方… III. 数据存储 IV. TP333

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 216300 号

本书在介绍大数据背景以及物联网环境中数据基本特征的基础上, 详细介绍了海量数据存储的相关知识, 内容包括: 数据存储基本原理、容错磁盘阵列 (RAID) 技术、网络存储技术、分布式文件系统、海量存储系统、存储优化技术、存储技术在物联网中的应用, 以及新型存储芯片技术和未来存储技术的发展方向。本书内容清晰、简洁, 每章后都有本章小结和扩展阅读, 以加深所学知识。

本书可作为从事信息存储系统开发管理、云存储系统构建、物联网应用研发等工作的技术人员的培训用书或参考书, 也可作为高等院校计算机、物联网、信息系统等专业本科生或研究生教材。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余洁

责任校对: 董纪丽

印刷: 三河市宏图印务有限公司

版次: 2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 16.75

书号: ISBN 978-7-111-54816-4

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
客服热线: (010) 88378991 88361066
购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604
读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东



前言

在物联网技术不断发展、应用迅速推广的时代，以无线传感网为代表的数源不断生产海量数据，像滚滚洪流涌向数据中心，数据存储正面临严峻挑战。大数据时代，各行各业的数据量急剧增加，在分析处理过程中需要进行暂时或长久的数据存储，传统的数据存储在容量、速度、功耗、可靠性等方面均难以胜任。为应对挑战，亟待普及与数据存储相关的基础知识，提高数据存储应用和管理的水平，也需要深入研究数据存储的体系结构、管理与优化等提高存储效率的相关技术，同时需要探索基于全新原理的、性能更加优越的存储新技术。本书旨在普及数据存储知识，开阔视野，以应对当前和未来面临的存储挑战。

技术发展的推动和应用需求的牵引使得数据存储技术日新月异。本书内容力求覆盖存储技术的各个方面，从数据存储基本原理到存储系统的维护和管理，从数据存储发展历史到最新技术进展。通过学习本书，你可以掌握或了解：

- 数据是什么？数据和信息有什么区别？
- 数据如何存储？存储器是怎样工作的？存储设备是如何发展的？
- RAID 的基本概念、级别和发展。
- 网络存储的发展，DAS、NAS、SAN、iSCSI、云存储的工作原理。
- 海量存储的体系结构和管理方法，体系结构如何适应存储器的变化？
- 存储管理如何走向自动化？虚拟存储和软件定义存储有何区别？
- 数据的备份与恢复，以及重复数据的删除。
- 物联网中的数据有何特征？如何有效管理？如何可靠存储？
- 古老的磁盘还充满生机吗？新型的非易失存储芯片进展如何？FRAM、RRAM、PRAM、STT-MRAM 的原理、现状、前景如何？

感谢上海交通大学傅育熙教授、西安交通大学桂小林教授、武汉大学黄传河教授、上海交通大学蒋建伟教授、华中科技大学秦磊华教授、上海交通大学王东教

授、南开大学吴功宜教授、四川大学朱敏教授，在与他们的交流中，我学到了很多知识，开阔了视野，受益匪浅。特别感谢机械工业出版社华章公司温莉芳副总经理的指导和关心，本书是在温老师的鼓励下完成的。特别感谢机械工业出版社华章公司教材部朱劼编辑，感谢她不断的鼓励和极大的耐心及宽容。特别感谢负责本书的余洁编辑和曲熠编辑，她们极其认真、细致的审阅和极具专业水平的修改建议使本书增色许多。

海量数据存储技术的研究与应用需要多学科综合考虑，涉及材料、物理、计算机科学与技术、可靠性工程、系统科学、管理科学等，因此，存储器件与部件的研究、存储系统的方案设计、软硬件安装调试、日常应用和维护管理等工程都极具挑战性。海量数据存储的堡垒，有待我们探索和攻克！

方 粮



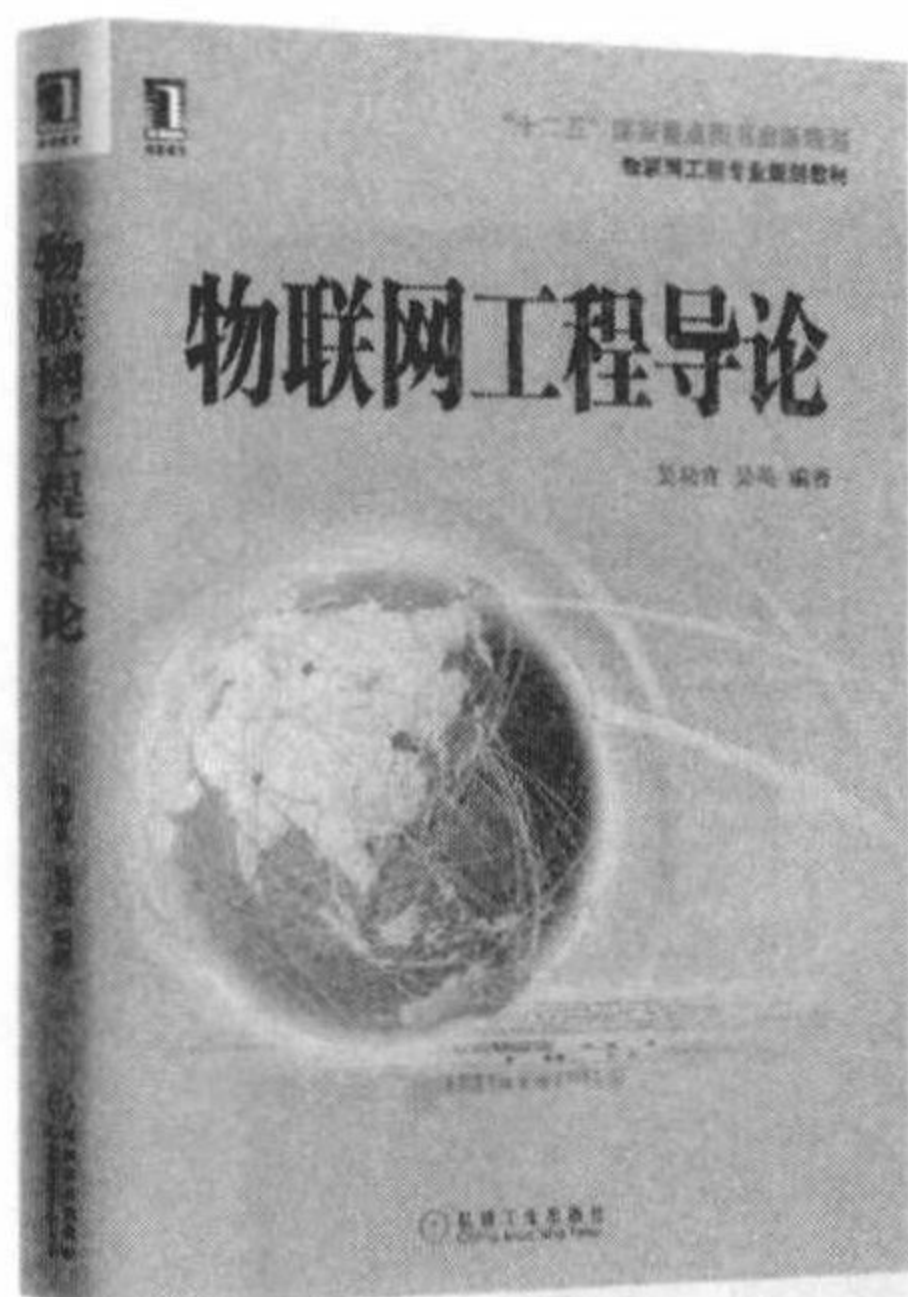
教学建议

教学章节	教学要求	课时
第 1 章 海量数据存储的基本概念	掌握数据与数据存储的基本概念 掌握数据与信息异同	2
	了解物联网与大数据时代面临的机遇与挑战 掌握海量数据与海量数据存储的基本概念	2
第 2 章 数据存储的基本原理	掌握数据存储的实现原理 掌握数据的写入与读出技术 掌握数据存储设备的发展历史与分类	2
	掌握磁盘存储器的结构、原理、性能指标、发展趋势 掌握光盘存储技术的原理与发展趋势 掌握数据存储系统的概念	2
第 3 章 容错磁盘阵列 (RAID) 的技术和应用	掌握 RAID 的基本概念、特性、专用术语 掌握 RAID 的分级与结构	2
	掌握 RAID 的软件实现技术 掌握 RAID 的硬件实现技术 了解 RAID 的性能指标与选购要点	2
第 4 章 网络存储技术	掌握网络存储的概念、分类、发展趋势 掌握 DAS 的概念 掌握 NAS 的概念、结构、原理、应用	2
	掌握 SAN 的概念、结构、原理、应用 掌握 NAS 和 SAN 的比较及其融合发展	2
	掌握 iSCSI 的协议与实现、安全性、可用性 掌握基于 iSCSI 的存储系统、应用、趋势	2
	掌握云存储的原理与模型 掌握基于云的备份与恢复技术	2
第 5 章 海量存储系统的体系结构与管理	掌握海量存储的体系结构概念 掌握分布式文件系统的基本概念与关键技术	2
	掌握 Hadoop 的基本概念、实现与应用 了解海量传感数据管理系统的总体结构及设计技术 了解适应新型存储介质的存储体系结构	2
第 6 章 存储管理自动化与优化技术	掌握存储管理自动化和优化的概念与实现技术 了解 SMI-S 的主要技术特性及应用	2

(续)

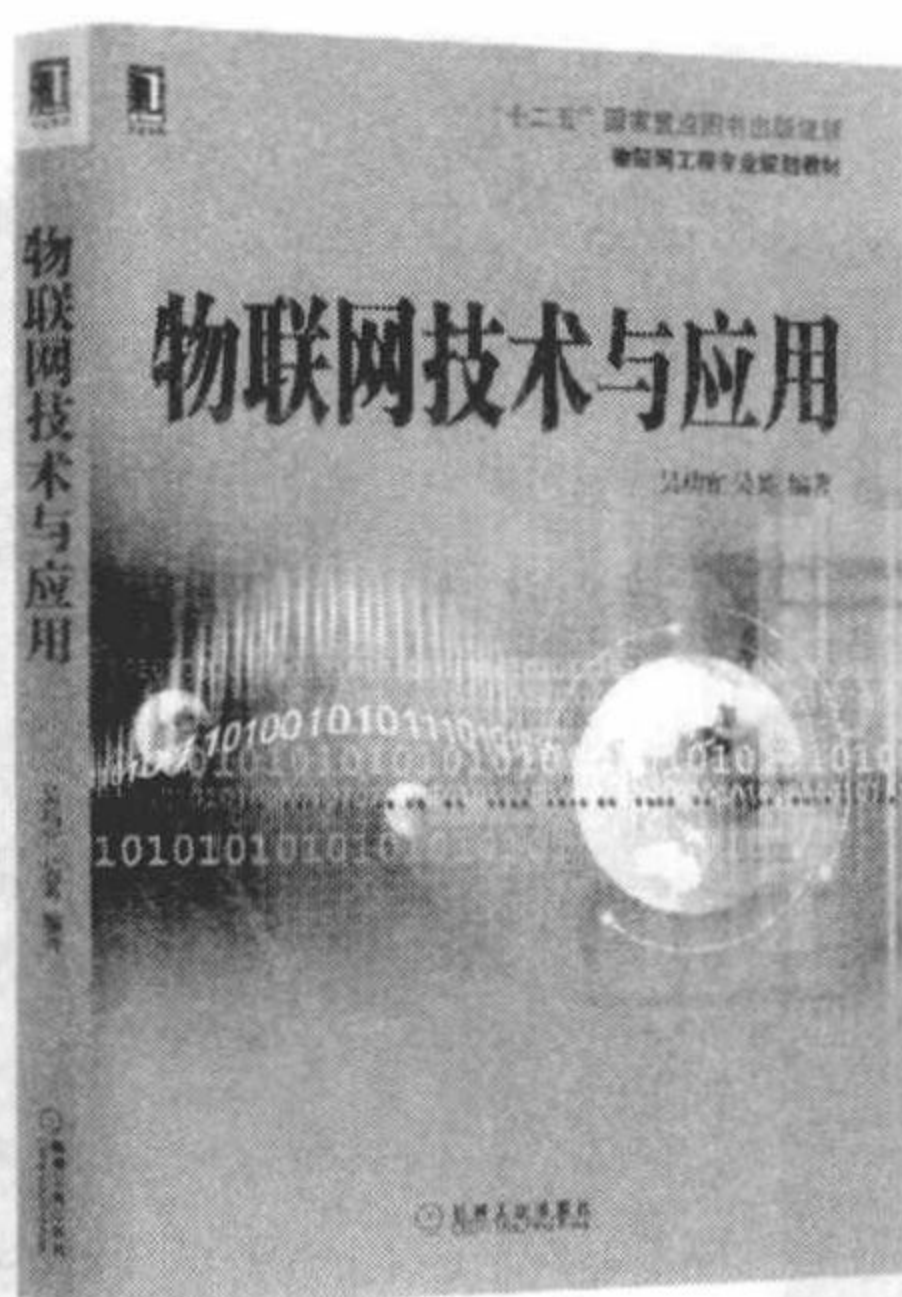
教学章节	教学要求	课时
第6章 存储管理自动化与优化技术	掌握虚拟存储的概念、关键技术、实现模式 掌握软件定义存储的概念、结构、设计考虑 掌握软件定义存储的理念对存储系统设计的影响 了解软件定义存储实施过程需要考虑的问题 了解软件定义存储的发展趋势	2
	掌握数据备份与恢复的概念、连续数据保护技术 了解个人备份工具 CrashPlan 掌握重复数据删除的概念、方法、关键技术 了解重复数据删除解决方案实例	2
第7章 存储技术在物联网中的应用	掌握物联网数据的特征与存储需求 掌握物联网数据存储模式及技术 掌握物联网数据存储的高效解决方案	2
	掌握物联网数据中心设计的关键技术 了解 TinyOS 中的数据存储 了解无线传感器网络中的容错数据存储技术	2
第8章 新型存储技术及发展趋势	了解存储介质的新发展、固态硬盘技术 了解新型存储芯片技术	2
合计		36

推荐阅读



物联网工程导论

作者：吴功宜等 ISBN: 978-7-111-38821-0 定价：49.00元



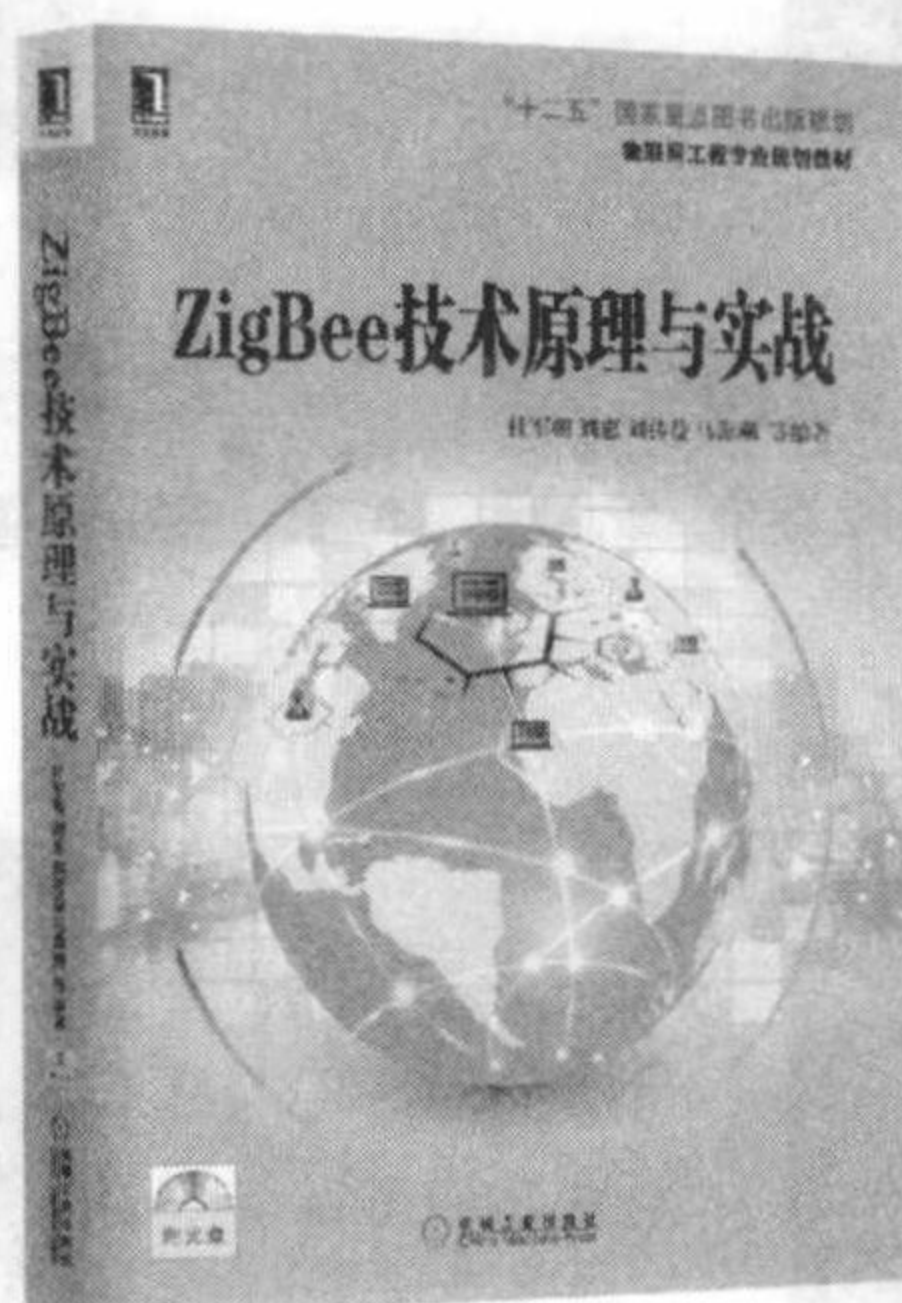
物联网技术与应用

作者：吴功宜等 ISBN: 978-7-111-43157-2 定价：35.00元



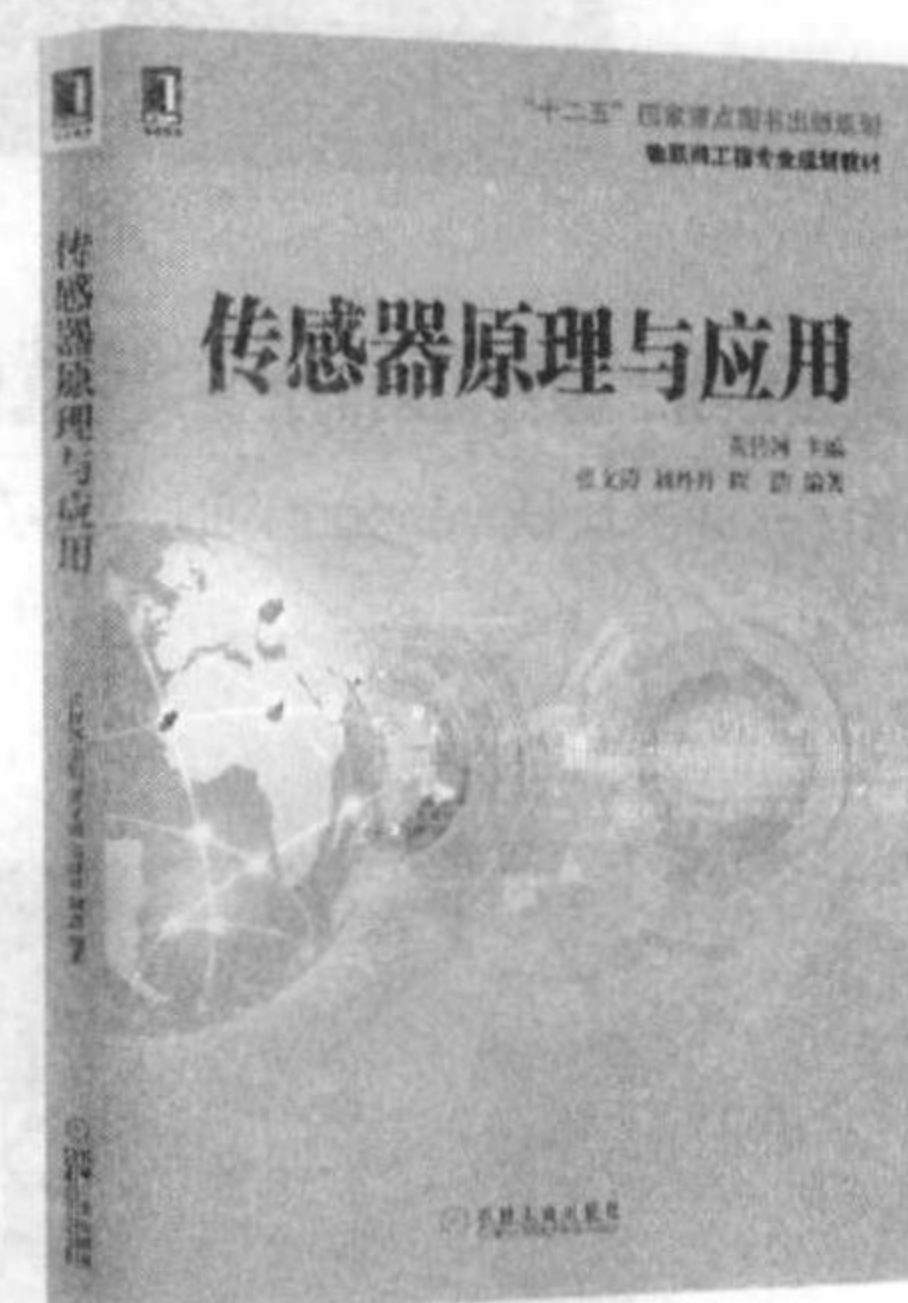
物联网信息安全

作者：桂小林等 ISBN: 978-7-111-47089-2 定价：45.00元



ZigBee技术原理与实战

作者：杜军朝等 ISBN: 978-7-111-48096-9 定价：59.00元



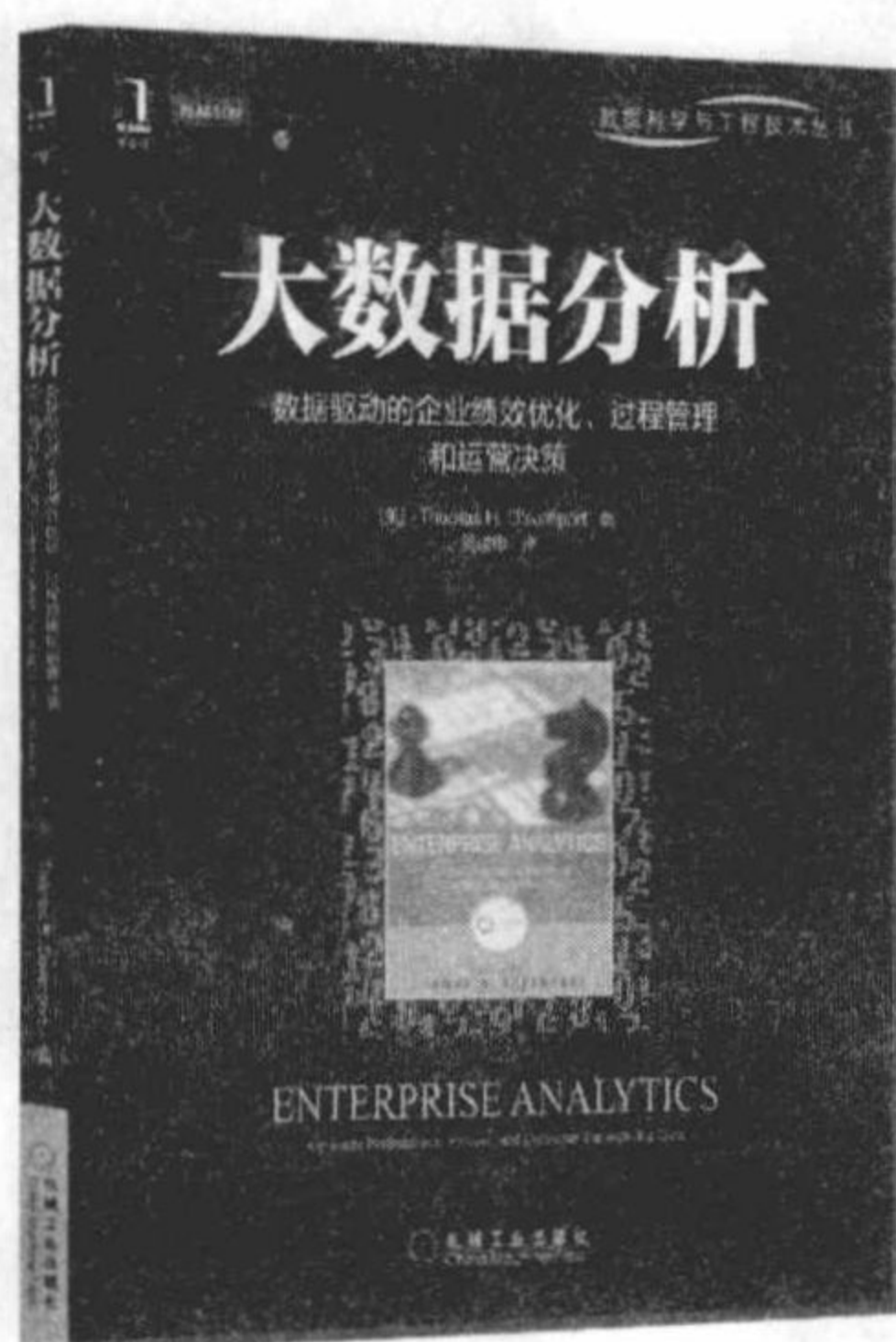
传感网原理与技术

作者：李士宁等 ISBN: 978-7-111-45968-2 定价：39.00元

传感器原理与应用

作者：黄传河 ISBN: 978-7-111-48026-6 定价：35.00元

推荐阅读



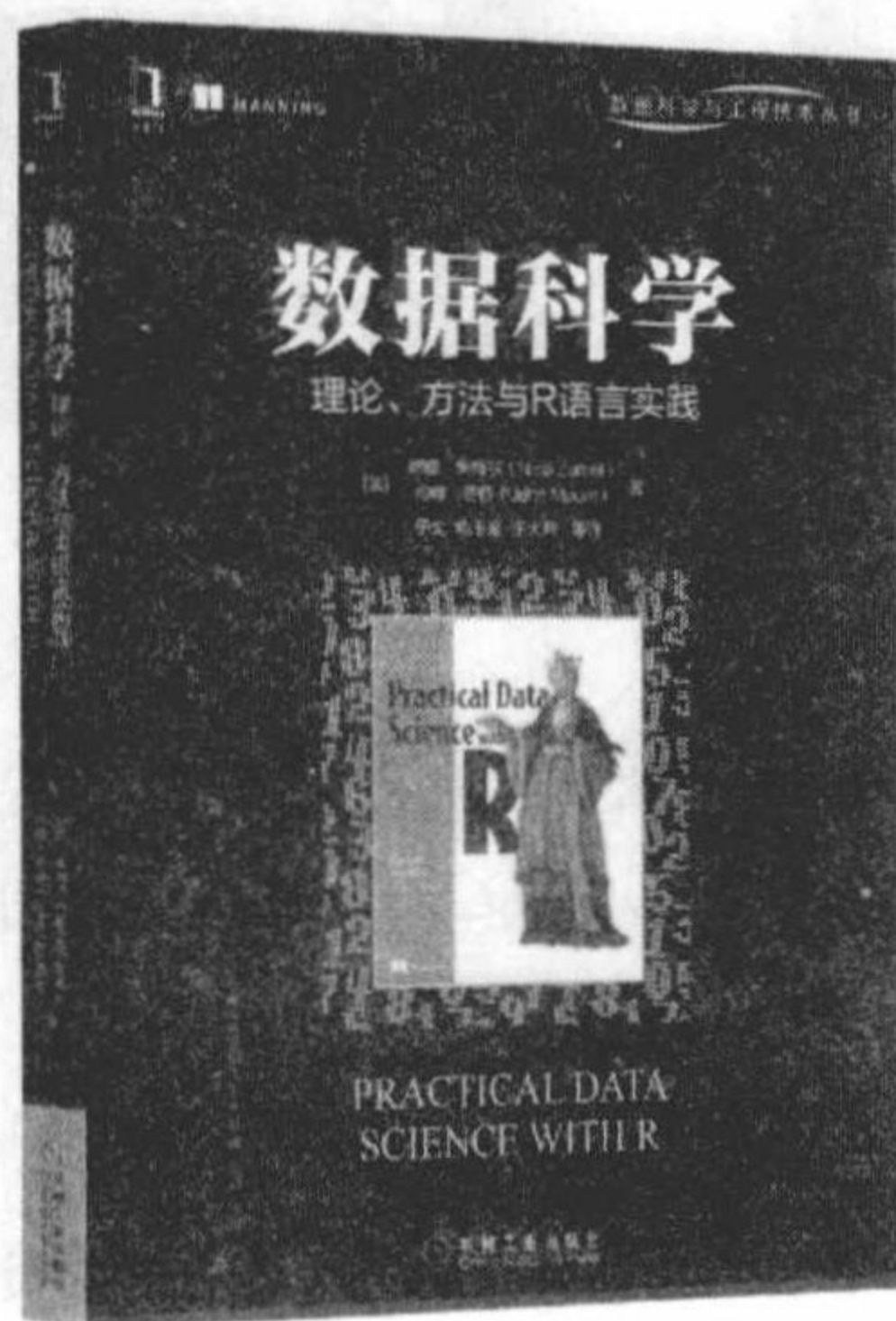
大数据分析：数据驱动的企业绩效优化、过程管理和运营决策

作者：Thomas H. Davenport ISBN: 978-7-111-49184-2 定价：59.00元



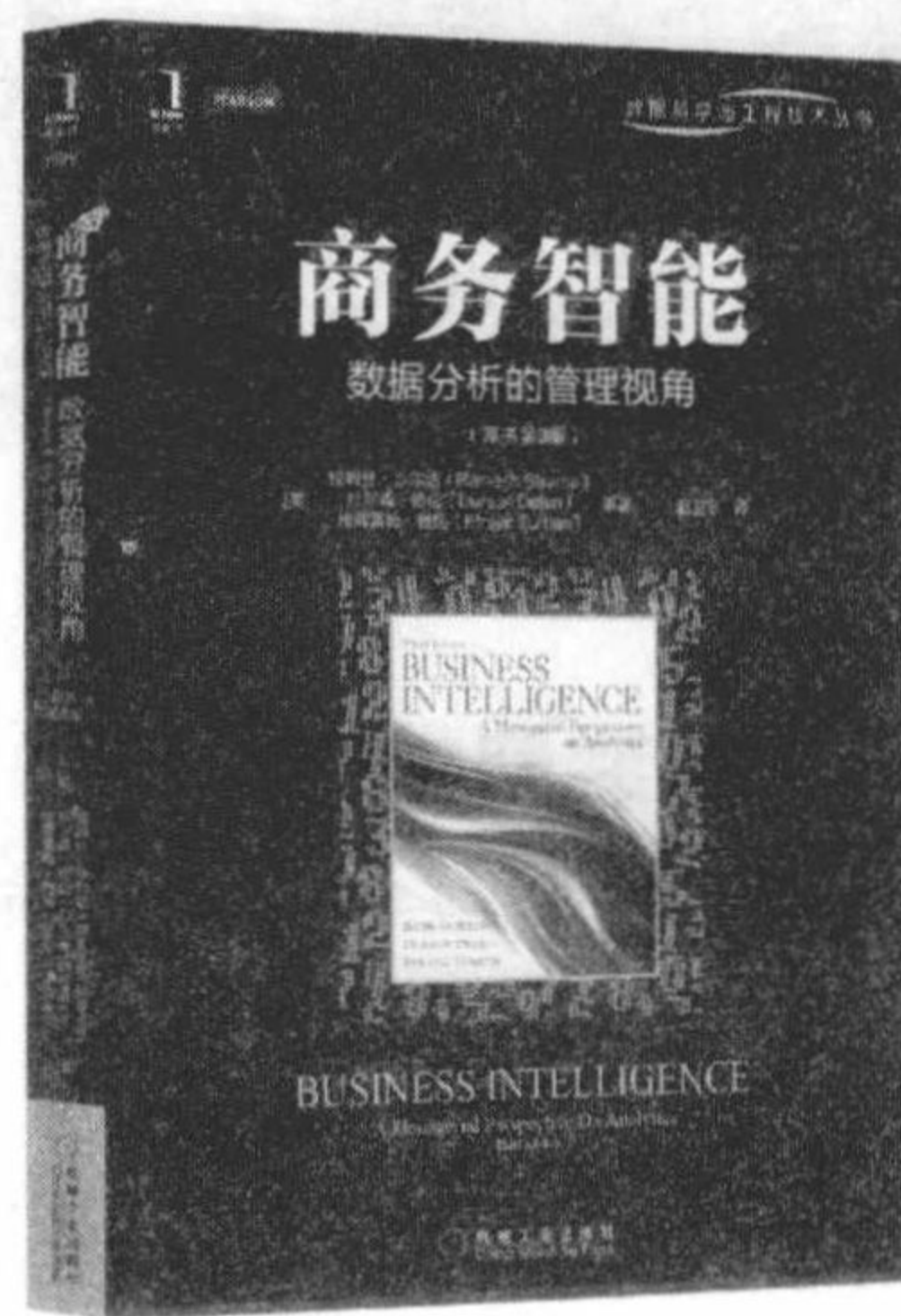
统计学习导论——基于R应用

作者：加雷斯·詹姆斯等 ISBN: 978-7-111-49771-4 定价：79.00元



数据科学：理论、方法与R语言实践

作者：尼娜·朱梅尔等 ISBN: 978-7-111-52926-2 定价：69.00元



商务智能：数据分析的管理视角（原书第3版）

作者：拉姆什·沙尔达等 ISBN: 978-7-111-49439-3 定价：69.00元



目 录

前言

教学建议

第 1 章 海量数据存储的基本概念 / 1

1.1 数据与数据存储 / 1

1.1.1 数据的基本概念 / 1

1.1.2 数据存储的基本概念 / 3

1.2 物联网与大数据时代面临的机遇
和挑战 / 4

1.3 海量数据与海量数据存储 / 5

1.3.1 海量数据的基本概念 / 5

1.3.2 海量数据的存储 / 6

1.4 本章小结与扩展阅读 / 7

思考题 / 7

参考文献 / 7

第 2 章 数据存储的基本原理 / 8

2.1 数据存储的实现 / 8

2.1.1 存储介质的不同状态 / 8

2.1.2 存储介质的状态感知 / 10

2.1.3 存储介质的状态转换 / 11

2.2 数据的写入与读出技术 / 11

2.3 数据存储设备的发展历史与分类 / 12

2.3.1 数据存储设备的发展历史 / 12

2.3.2 数据存储设备的分类 / 17

2.4 磁盘存储器 / 18

2.4.1 磁盘存储器的基本结构 / 18

2.4.2 磁盘存储器的工作原理 / 19

2.4.3 磁盘存储器的性能指标 / 20

2.4.4 磁盘存储器的发展趋势 / 21

2.5 光盘存储器 / 21

2.5.1 光盘存储器的发展过程 / 22

2.5.2 光盘存储器的基本原理 / 24

2.5.3 光盘存储器的的发展趋势 / 28

2.6 数据存储系统 / 30

2.6.1 数据存储系统的基本概念 / 30

2.6.2 Cache 的工作原理与替换
策略 / 30

2.6.3 虚拟存储器 / 36

2.7 存储系统实验 / 37

2.7.1 实验一：虚拟磁盘 (RamDisk) / 37

2.7.2 实验二：文件系统与目录
结构 / 38

2.8 本章小结与扩展阅读 / 40

思考题 / 40

参考文献 / 40

第3章 容错磁盘阵列 (RAID) 的技术和应用 /42

- 3.1 RAID 的工作原理 /42
 - 3.1.1 磁盘阵列的基本概念 /42
 - 3.1.2 磁盘阵列的特性 /44
 - 3.1.3 磁盘阵列的若干专用术语 /45
- 3.2 RAID 的分级与结构 /46
 - 3.2.1 RAID0 /46
 - 3.2.2 RAID1 /47
 - 3.2.3 RAID2 /48
 - 3.2.4 RAID3 /48
 - 3.2.5 RAID4 /49
 - 3.2.6 RAID5 /49
 - 3.2.7 RAID6 /50
 - 3.2.8 RAID7 /50
 - 3.2.9 RAID0 + 1 /51
 - 3.2.10 Matrix RAID /51
 - 3.2.11 JBOD 和 NRAID /52
 - 3.2.12 NV RAID /54
- 3.3 RAID 的实现技术 /54
 - 3.3.1 概述 /54
 - 3.3.2 软件 RAID 的实现技术 /55
 - 3.3.3 硬件 RAID 的实现技术 /62
- 3.4 RAID 的性能指标与选购要点 /69
 - 3.4.1 RAID 的性能指标 /69
 - 3.4.2 影响 RAID 性能的因素 /70
 - 3.4.3 磁盘阵列控制器模式对比 /71
 - 3.4.4 RAID 的选购要点 /71
- 3.5 本章小结与扩展阅读 /73
- 思考题 /73
- 参考文献 /74

第4章 网络存储技术 /75

- 4.1.2 网络存储的发展趋势 /76
- 4.2 DAS /77
- 4.3 NAS /80
 - 4.3.1 NAS 的主要特点 /80
 - 4.3.2 NAS 的基本结构 /81
 - 4.3.3 NAS 的工作原理 /81
 - 4.3.4 NAS 的应用 /83
 - 4.3.5 NAS 与 DAS 的比较 /86
 - 4.3.6 NAS 的选购要点 /88
- 4.4 SAN /90
 - 4.4.1 SAN 技术的产生 /90
 - 4.4.2 SAN 的结构与工作原理 /92
 - 4.4.3 SAN 的应用 /95
 - 4.4.4 NAS 与 SAN 的比较 /101
 - 4.4.5 融合 NAS 的 SAN 的发展趋势 /102
- 4.5 iSCSI /104
 - 4.5.1 iSCSI 简介 /104
 - 4.5.2 iSCSI 协议及实现 /105
 - 4.5.3 iSCSI 的性能 /108
 - 4.5.4 iSCSI 的安全性问题 /109
 - 4.5.5 iSCSI 的可用性问题 /109
 - 4.5.6 基于 iSCSI 的存储系统 /111
 - 4.5.7 iSCSI 的应用 /112
 - 4.5.8 iSCSI 磁盘阵列产品选购要点 /113
 - 4.5.9 iSCSI 的发展趋势 /114
- 4.6 云存储技术 /115
 - 4.6.1 概述 /116
 - 4.6.2 云存储的模型与应用 /117
 - 4.6.3 云存储的分类和管理工具 /121
 - 4.6.4 基于云存储技术实现在线备份的安全 /124
 - 4.6.5 基于云的灾难恢复功能 /126
- 4.7 本章小结与扩展阅读 /127
- 思考题 /127

参考文献 /127

第5章 海量存储系统的体系结构

与管理 /128

5.1 海量存储系统的体系结构 /128

5.1.1 多级存储层次的基本概念 /128

5.1.2 多级存储层次的性能分析 /130

5.2 分布式文件系统 /131

5.2.1 分布式文件系统的基本概念 /131

5.2.2 分布式文件系统的关键技术 /135

5.2.3 Ceph: 一个 Linux PB 级分布式文件系统 /136

5.3 Hadoop 及数据分布式管理 /138

5.3.1 Hadoop 的基本概念 /138

5.3.2 Hadoop 的实现 /139

5.3.3 Hadoop 的应用 /140

5.4 海量传感数据管理系统的设计 /141

5.4.1 海量传感数据管理系统的设计要求 /141

5.4.2 海量传感数据管理系统的总体结构 /142

5.4.3 HBase 数据库设计 /142

5.4.4 传感数据存储管理功能 /142

5.4.5 传感数据查看功能 /143

5.5 适应新型存储介质的存储体系结构 /143

5.5.1 存储体系结构的变化 /143

5.5.2 面向新型存储介质的存储体系结构 /146

5.6 本章小结与扩展阅读 /147

思考题 /148

参考文献 /148

第6章 存储管理自动化与优化技术 /149

6.1 存储管理的自动化与标准化 /149

6.1.1 为什么需要存储管理自动化 /149

6.1.2 哪些存储管理工作可以自动化 /150

6.1.3 存储管理自动化的实现 /151

6.1.4 存储管理的标准化 /152

6.1.5 SMI-S 的主要技术特性及应用 /153

6.2 虚拟存储技术 /155

6.2.1 虚拟存储的特点 /155

6.2.2 存储虚拟化的关键技术 /156

6.2.3 虚拟存储的实现模式 /156

6.2.4 存储虚拟化的应对措施 /158

6.3 软件定义存储 /159

6.3.1 软件定义存储的基本概念 /159

6.3.2 软件定义存储的体系结构 /160

6.3.3 软件定义存储的理念对存储体系设计的影响 /161

6.3.4 软件定义存储实施过程需要考虑的问题 /162

6.3.5 软件定义存储的发展趋势 /163

6.4 数据备份与恢复 /163

6.4.1 数据备份与恢复的必要性 /163

6.4.2 数据备份与恢复的基本概念 /164

6.4.3 容灾与灾难恢复 /166

6.4.4 连续数据保护技术 /168

6.4.5 个人备份工具 CrashPlan /172

6.5 重复数据删除 /176

6.5.1 重复数据删除的基本概念 /176

6.5.2 重复数据删除的基本方法 /177

6.5.3 重复数据删除的关键技术 /178

6.5.4 源端重复数据删除的利与弊 /179

6.5.5 重复数据删除解决方案实例 /180

6.6 本章小结与扩展阅读 /181

思考题 /182

参考文献 /182

第7章 存储技术在物联网中的应用 /183

7.1 物联网数据的特征与存储需求 /183

7.1.1 物联网数据的特征 /184

7.1.2 物联网数据的存储需求 /185

7.1.3 物联网数据存储系统的评价
指标 /185

7.2 物联网数据存储模式及实现 技术 /186

7.2.1 物联网数据存储模式分类 /186

7.2.2 物联网典型的存储实现技术 /186

7.2.3 物联网存储模式的比较分析 /189

7.2.4 物联网数据存储技术的发展
趋势 /190

7.3 物联网数据存储的高效解决 方案 /190

7.3.1 物联网数据存储面临的挑战 /191

7.3.2 物联网数据存储的研究基础 /191

7.3.3 物联网数据存储的体系结构 /192

7.3.4 物联网数据存储的实现方法 /193

7.3.5 实例研究和讨论 /196

7.4 物联网数据中心设计的关键 技术 /198

7.4.1 物联网数据中心面临的挑战 /199

7.4.2 物联网数据中心的总体结构 /200

7.4.3 物联网数据中心的应用 /203

7.5 TinyOS 中的数据存储 /205

7.5.1 TinyOS 简介 /205

7.5.2 卷 /206

7.5.3 存储配置数据 /206

7.5.4 存储日志数据 /210

7.5.5 存储大数据块 /212

7.6 无线传感器网络中的容错数据 存储技术 /212

7.6.1 概述 /213

7.6.2 WSN 容错存储的相关研究
进展 /213

7.6.3 设计 WSN 容错存储方案应
考虑的因素 /214

7.6.4 备份与恢复机制 /216

7.6.5 性能评价 /218

7.7 本章小结与扩展阅读 /220

思考题 /221

参考文献 /221

第8章 新型存储技术及发展趋势 /222

8.1 存储介质 /222

8.1.1 磁存储介质 /222

8.1.2 光存储介质 /227

8.1.3 半导体存储器 /229

8.1.4 DNA 存储 /230

8.1.5 基于纳米颗粒的存储技术 /232

8.2 固态硬盘技术 /232

8.2.1 固态硬盘的结构与性能
优化 /233

8.2.2 闪存感知的 RAID 技术 /237

8.2.3 基于 PCIe 接口的闪存阵列 /245

8.3 铁电存储器 /249

8.4 相变存储器 /250

8.5 阻变存储器 /251

8.6 自旋转移矩磁存储器 /254

8.7 本章小结与扩展阅读 /257

思考题 /258

参考文献 /258

第 1 章 海量数据存储的基本概念

本章介绍海量数据存储的基本概念，内容包括数据与数据存储的基本概念、数据存储面临的机遇与挑战、海量数据存储的相关知识等。

1.1 数据与数据存储

1.1.1 数据的基本概念

1. 什么是数据

根据中国百科大辞典定义，数据是“可由人工或自动化手段加以处理的那些事实、概念和指示的表现形式，还包括字符、符号、表格、图形等”。

一般而言，数据是对一组物理符号组合的统称。物理符号可以是数字、文字、图像，也可以是计算机代码。如果要通过数据承载特定含义的信息，这样的数据将按一定的规则进行排列组合。

数据是关于事件的一组离散且客观的事实描述，分为模拟数据和数字数据两大类。数据是计算机加工的“原料”，如图形、声音、文字、数字、字符和符号等。

信息的接收始于数据的接收，信息的获取只能通过对数据背景进行解读来完成。数据背景是接收者针对特定数据的信息准备，即当接收者了解物理符号序列的规律，并知道每个符号和符号组合的指向性目标或含义时，便可以获得一组数据所承载的信息。亦即数据转化为信息，可以用公式“数据 + 背景 = 信息”表示。

数据库指的是以一定方式存储在一起，能为多个用户共享，具有尽可能小的冗余度，与应用程序彼此独立的数据集合。

2. 什么是信息

到目前为止，我们已经知道信息不等同于数据。但是，什么是信息以及我们如何定义信息呢？信息的最早定义是由香农和韦弗提出的，他们把信息定义为超越随机概率所预测的部分。在这个意义上，信息必须使接收者感到意外，它必须使接收者减少关于这个世界状态的不确定性。随机的偶然事件表示完全不确定的



状态。在某种程度上，如果接收者可以减少不确定性，他就获得了信息。如果一个报告的结论是已知的，那么它没有令人意外的价值，因此，根据这个定义它就不是信息。

香农和韦弗的定义对于今天的商业运作可能是过于刻板 and 狭义的，因为当今信息系统扮演着多重角色。一些信息系统在运行中收集管理员已经知道的数据，不具有令人感到意外的作用，而只是众多文档中的一个而已。

信息的另一个定义与决策制定有关。根据这个定义，信息是可供管理员减少选择的数据。未获信息的管理员可能会做任意的选择，而已获得信息的管理员很可能只有更少的理性选择。这个定义建立于信息在改变管理者决策的作用之上。

信息还有一个定义是经过处理的或有意义的的数据。在这个意义上说，任何观察到的结果可认为是数据，一旦经过处理并使接收者感到有意义，它就被定义为信息。

在我国，信息一词最早出现于唐代。唐代诗人李中在《暮春怀故人》中写道：“梦断美人沉信息，目穿长路倚楼台。”其中的“信息”就是消息的意思，与当今含义相似。中国《辞海》对信息的释义：“音讯、消息；通信系统传输和处理的对象，泛指消息和信号的具体内容和意义。”这与香农的“信息是用来消除随机不确定性的东西”类似。香农的这一定义被人们看作经典并加以引用。控制论创始人维纳（Norbert Wiener）认为“信息是人们在适应外部世界，并使这种适应反作用于外部世界的过程中同外部世界进行互相交换的内容和名称”，它也被作为经典定义加以引用。

信息是事物及其属性标识的集合。信息是事物运动状态和存在方式的表现形式。信息是确定性的增加，即肯定性的确认。

3. 数据与信息的关系

在不严格的应用场合，数据和信息时有混用。在日常用语中，数据和信息可以互换使用。例如，牛津字典把数据定义为：“被用作讨论或决定事情的基础的事实或信息。”同时，信息被定义为“被告知的或被发现的事实，或被输入到计算机的事实”。在这两种定义中，数据和信息被假定为同一事物，具有相同的概念。

但数据和信息这两个术语在信息处理和管理文献中的含义完全不同。数据是观测结果的一个集合，其可能为真，也可能不为真。因此，数据可能不是事实。数据被处理后变成信息。为处理数据，人们需要：①清理数据，消除误差，并减少不可靠的来源；②分析数据，以使它与要做的决策相关；③组织数据，使其有助于理解。数据与信息之间的关系可用图 1-1 表示。

因此，我们可以把信息理解为“有意义的的数据”。数据是建筑材料（砖头和灰浆），而信息是建成的房子。一堆原材料是无用的，但是一旦组织成一个结构，它们就可以成为某个人的家。同样，数据本身对管理人员是无用的，除非把它组织成信息。

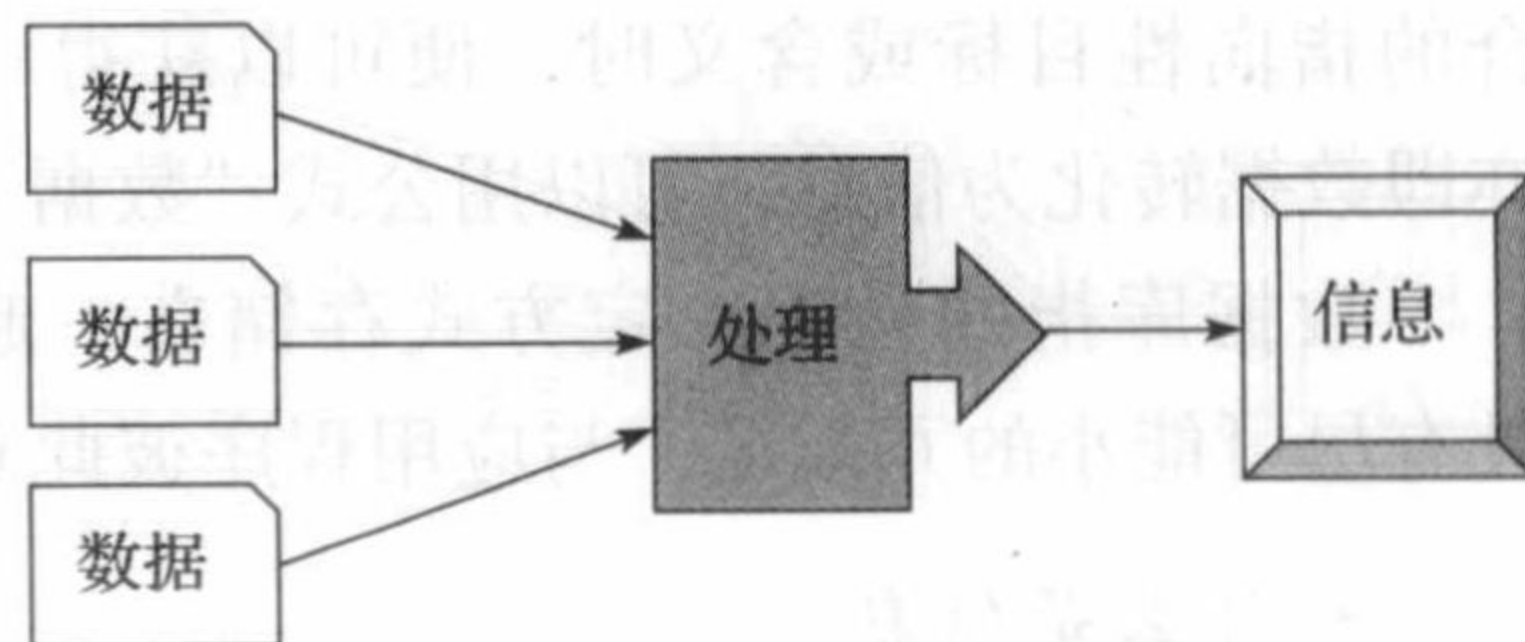


图 1-1 数据与信息的关系

数据与信息的关系体现在：数据是指描述事物的符号记录，可定义为有意义的实体，它涉及事物的存在形式；而信息是处理过的某种形式的数据，对于接收信息者具有意义，在当前或未来的行动和决策中具有实际或可察觉的价值。

数据在变成信息之前，要经过许多不同的操作步骤，包括：

- 1) 数据的采集。
- 2) 数据的分类。
- 3) 数据的存储。
- 4) 数据的取出。
- 5) 数据的编辑。
- 6) 数据产生过程的验证和质量控制。
- 7) 数据的汇总。
- 8) 假设的生成。
- 9) 数据的描述。
- 10) 分析假设的检验。
- 11) 分析。
- 12) 结果蕴含的外推。
- 13) 数据表示形式的选择。
- 14) 报告的发布。
- 15) 报告有效性的评估。

数据在变成有意义的信息之前，必须经过大量的操作。

1.1.2 数据存储的基本概念

从理论上讲，任何一个装置，只要满足三个条件就可以用于存储数据：①具有两个或两个以上的稳定状态；②状态可以识别；③状态可以改变。比如磁盘，不同的磁化方向是稳定的状态，磁化方向可以用读磁头感应出来，磁化方向可以用写磁头改变。又比如闪存，浮栅中电荷量的多少可以确定闪存单元的多个状态（0态或1态，或者00、01、10、11态等），通过检测源漏电流可以确定浮栅中的电荷量（读出），浮栅中的电荷量可以通过电场的作用增加或减少（擦除、写入）。再如光盘，光盘存储介质面上光斑的“有”“无”可表示不同状态，光斑可以通过激光或压印的方法形成并可用光头感应。

数据存储历史悠久，可追溯到古代的结绳记事。上古无文字，结绳以记事。《易·系辞》：“上古结绳而治，后世圣人易之以书契。”孔颖达疏：“结绳者，郑康成注云，事大大结其绳，事小小结其绳，义或然也。”古人为了要记住一件事，就在绳子上打一个结。要记住两件事，他就打两个结。记三件事，他就打三个结，如此等等。

随着人类文明的发展、科学技术的进步，用于存储数据的技术或装置越来越多。就目前常见的存储装置来看，按存储介质划分主要有基于磁、电、光或混合的方法。未来有可能采用基于分子或原子、自旋、DNA的等新方法。

基于磁性原理的存储技术可追溯到磁带、磁心、磁鼓、软磁盘、硬磁盘，到近期的磁性随机存储器（MRAM）。

基于电荷的存储技术主要有半导体存储器件，如DRAM、SRAM、FLASH（闪存）、FRAM（铁电存储器）、PRAM（相变存储器）等。

基于激光的存储技术主要有光盘存储器，如CD、DVD、Blu-ray Disc（蓝光光盘，简称BD）等。

至于磁光混合技术，虽然磁存储和光存储是当今信息外部存储的主要方式，二者的存储密度近年也都有很大的提高，但目前都遇到了制约密度进一步提高的因素。如何将磁和光两种存储方式的最先进技术（如近场光学、GMR 磁头、光学跟踪和伺服、非晶态磁性物质、飞行磁头等）结合起来，开发一种全新的存储技术，以期突破瓶颈，极大地提高存储密度及相关性能，是当前的研究热点。其中，开发光磁混合记录驱动器、探索新型存储介质、研究数据读出技术是目前的研究重点。

1.2 物联网与大数据时代面临的机遇和挑战

随着社会的进步，特别是随着计算机技术及互联网技术的发展，人类进入了信息时代。在信息时代，数据量急剧增长，特别是近期物联网概念的出现，数据增长的势头更为猛烈。

物联网的概念最早出现于 20 世纪 90 年代。早期，把物联网定义为以射频识别、电子代码、互联通信为技术基础，实现在任何时间、任何地点、对任何物品的智能化信息管理。到目前为止，普遍接受的物联网的概念有所扩展，即物联网是建立在互联网基础之上的一种延伸的网络，底层连接端扩展到了任何物品与物品之间。用技术术语表示，物联网是通过射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描仪等数据采集（传感）部件，遵照一定的通信协议，把物与物、人与物进行智能化连接，进行数据的交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

物联网的出现使真实的物理空间与虚拟的网络空间建立了广泛的连接，具有革命性的意义。国际电信联盟在 2005 年 11 月发布的《ITU 互联网报告 2005：物联网》中指出：“无所不在的‘物联网’通信时代即将到来，世界上所有的物体，从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过互联网主动进行数据交换。”

物联网技术的迅速发展使数据像滚滚洪流，源源不断地涌向各个领域，海量的数据给数据存储提出了前所未有的挑战。

云计算与云存储概念的出现、大数据概念的诞生，使海量数据的增长加速，使全球的数据总量急剧膨胀。据统计，到 2020 年全球的数据总量将达到 35ZB（1ZB = 10^{12} GB），每年的复合增长率将达到 26%。

机遇。巨量数据需要存储，这是存储行业的机遇。我们首先面临的是存储行业的发展机遇。据 Gartner 对大数据的定义：“大数据是需要新处理模式才能具有更强的决策力、洞察力和流程优化能力的海量、高增长率和多样化的信息资产。”从这里可以看到大数据的三个特征，即海量、高增长率和多样化。

大数据产业的主要市场机会集中在各实体企业对海量数据的处理、挖掘等应用上。国内各个行业的信息化发展必将拉动大量的数据处理，而数据处理的爆发必然带动存储硬件设备、存储软件系统、数据中心的大规模建设，从而带给数据存储设备厂商和解决方案提供商巨大的商机和发展机遇。

机遇带来商机，也带来挑战。

挑战。数据量如此巨大，如何存储、管理、应用？难度很大，这是我们面临的严峻挑战。首要的是数据存储容量的挑战！主要表现为海量数据的高速增长给存储理论、技术和