

大数据丛书

十二五国家重点图书出版规划项目

Broadview[®]
www.broadview.com.cn

数据 可视化

陈为 沈则潜 陶煜波 等编著

1 3 5 7 9
1 3 5 7 9 11 13

专业 全面 典藏必备

电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

大数据丛书

十二五国家重点图书出版规划项目

数据 可视化

陈为 沈则潜 陶煜波 等编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书共有 16 章, 分为 4 篇。基础篇, 阐述数据可视化的基础理论和概念, 从人的感知和认知出发, 介绍数据模型和可视化基础; 时空数据篇, 介绍带有空间坐标或时间信息的数据的可视化方法, 此类数据通过设备在真实物理空间中采集得到或由科学计算模拟产生; 非时空数据篇, 描述非结构化和非几何的抽象数据的可视化, 这些数据既存在于真实物理空间, 又是社会空间和网络信息空间的基本表达形式; 用户篇, 介绍面向各类数据的可视化在实际应用中共同需要的方法、技术和工具, 例如交互和可视化评测方法, 以及在具体领域的可视化和应用系统。

本书从研究者的角度, 介绍数据可视化的定义、方法、效用和工具, 既可作为初学者的领路手册, 也可用于可视化研究和可视化工具使用的参考指南。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

数据可视化 / 陈为等编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.12
(大数据丛书)
ISBN 978-7-121-21154-6

I. ①数… II. ①陈… III. ①可视化软件 IV. ①TP31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176670 号

策划编辑: 刘 皎

责任编辑: 葛 娜

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 41.75 字数: 885 千字

印 次: 2013 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 128.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

Foreword

Visualization, as a discipline in computer science, is a rather young field of study. The field has made many advances over the past 25 years through tremendous basic and application-driven research efforts, and also successfully transferred some of these advances into products and services for data-intensive applications. Visualization as a problem-solving and knowledge discovery tool has become even more important as we enter the Big Data era. Its applications grow from scientific computing, engineering design, biomedicine, cyber security, and intelligence, to social science, transportation studies, and commerce. Visualization will be considered a basic skill, and will likely become part of the standard curriculum in science and engineering.

There is clearly a fast-growing interest in visualization as a discipline, a technology, or a practice. Over the years, I have been asked by many to suggest readings in visualization. So far, no book has ever managed to provide a comprehensive overview of the field, since even the good ones focus on a subarea of visualization, typically reflecting the author's research endeavors. A visualization textbook is definitely needed. I know a few other book projects are underway, but this book is by far the most comprehensive one I have seen. It provides a fairly complete introduction to essential topics in visualization, as well as information on where the field is today, effectively serving the needs of both practitioners and future researchers in the field. As the field evolves rapidly to cope with demands from new applications and exploiting Big Data, I believe the authors will update the content regularly to reflect the latest and greatest developments in the field, which will make this book a lasting, valuable resource.

While visualization has become an active area of study and practice in the United States and Europe, visualization research and education in Asia would benefit from increased promotion and development. Thus, the publication of this textbook is timely. I praise the dedicated effort of Professor Wei Chen and his co-authors in creating this book, which will help accelerate visualization education, research, and practice in China and other Chinese-speaking countries. I hope to see this book translated into other languages. It will then become an important reference in the field of visualization. I found the book very informative and easy to read. I believe you will enjoy reading it.

Kwan-Liu Ma

Davis, CA

September 20, 2013

序言

浙江大学计算机辅助设计与图形学(CAD&CG)国家重点实验室陈为教授来电话,请我为他的新作《数据可视化》作序。陈为教授是我的老同事,也是我们实验室可视化方向的带头人。现在他有新作出版,请我作序是对我的尊重,我哪有不懂之理。然而我犹豫了。我坦率地告诉他,我怕完不成任务,因为我已退休多年,不再跟踪学科前沿多年。陈为说,他把书稿链接发给我,请我浏览以后再作定夺。我在浏览了《数据可视化》的内容简介、前言、目录和第1章后,深感全书内容十分丰富,架构严谨,是我国学界和业界急需的一本好书。陈教授在信里还写道:“可否请您从可视化在中国的发展历史、现状、未来为这本书写一个序言,作为对我们的鼓励。”读信后,我感到我写不出现状和未来,写点我经历过的事情,以及谈点作为过来人的体会和建议还是可以的,同时我感到作为可视化领域的一名老兵面对《数据可视化》这样一本可视化新作、好书,又有爱不释手和责无旁贷之感,当即决定试试。

“可视化”或它的全称“科学计算可视化”(Visualization in Scientific Computing, 缩写为 ViSC)一词是在1987年根据美国国家科学基金会召开的“科学计算可视化研讨会”内容撰写的一份报告中正式提出的。在短短20余年历史中,科学计算可视化发展成为一个十分活跃的研究领域,新的研究分支不断涌现,如出现了用以表示海量数据不同类型及其逻辑关系的信息可视化技术,以及将可视化与分析相结合的可视分析学研究方向。现在又有了把“科学计算可视化”、“信息可视化”和“可视分析学”这三个分支整合在一起的新学科“数据可视化”。这是可视化研究领域的新起点,必将进一步促进学科交叉与融合,进一步扩大应用领域的发展,进一步提高应用水平。可以预期,这波数据可视化研究新浪潮必将推动可视化学科研究和应用向更宽、更深、更高的方向发展。事实上,这既是学界和业界的责任,也是广大用户的期待,因为现有的可视化技术还远远满足不了用户的期望。我举一个亲身体验来说明我的这个论断。去年8月我的小孙女出生,面对可爱的小脸,脑海里不由得回忆起3个月前看到儿子发来的那张胎儿超声波三维影像时留下的印象:紧闭的双目,高额头和大鼻子。今天小天使虽然依然双目紧闭,依然是高额头,但鼻子一点也不大,反而显得小巧、可爱,加上时张时合的小嘴,这张真实的小脸与那张高科技三维图像相比不知要漂亮多少倍。这个事实说明,今天的超声波三维成像技术离用户期望水平还相去甚远。我们全家在感谢今天科技进步让我们提前3个月看到了小孙女的真容的同时,

也期望科学家们早日提供逼真的胎儿三维影像。

应该说,我们国家可视化方向的研究工作起步还是比较早的。国家自然科学基金委将科学计算可视化列为“八五”重点资助项目,国家科委也将其列为基础研究专门项目给予资助。国内一批图形学研究中心,如浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室、清华大学计算机系、中科院CAD开放实验室和中科院软件所等单位在20世纪90年代初相继开展了可视化方向的基础研究和应用研究。我们这一代人遇到的最大困难是信息闭塞,很多信息都是从国际学术交流中取得的。例如,我是在1991年3月至7月在德国Encarnacao教授领导的弗朗霍夫图形学研究所(FhG-IGD)作访问研究,在Martin Goebel博士领导的可视化研究室工作时接触科学计算可视化研究方向的。我有幸与研究室内一批年轻博士一起工作4个月为我奠定了从事可视化学科的基础。回国后我在浙江大学CAD&CG国家重点实验室大力倡导,并组织年轻教师和博士生开展可视化方向的研究工作,很快出现了一批较高水平的研究成果,影响并推动了可视化研究方向在国内普及。基于可视化方向的广泛应用背景,我们从1993年9月起在浙江大学为全校理工科硕士和博士研究生开设“科学计算可视化”全校性选修课。1995年4月23日至27日由我们实验室牵头举办了虚拟现实与科学计算可视化国际研讨会(International Workshop on VR-ViSC)。同时为国内青年学者和学生举办同名高级研讨班,请出席国际研讨会的一批国内外著名学者为国内高级研讨班学员作报告,取得了很好的效果。这应是我国第一次举办VR-ViSC专题国际研讨会和同名国内高级研讨班,让国外学者有机会了解我国学者在这个领域的研究成果,也让国内学者和学生有机会接触世界一流学者。我想借此机会向Encarnacao教授表示我们最诚挚的谢意,是他帮助我们解决了国外学者来华的费用。欧洲学者费用是他出面向欧盟申请的,北美加拿大和美国学者来华费用也是Encarnacao教授出面通过他的老朋友Larry L. Rosenblum教授向美国国家科学基金会申请的。Larry是美国海军研究生院教授,曾任美国国家科学基金会计算机学部主任。直到2006年4月16日我的一批国外老朋友应邀参加我的70岁生日庆祝大会,几位老朋友到我的新居做客,其中就有Larry,这是他第一次访问中国。我如此冗长地介绍1995年研讨会和一批国外老朋友无非是想强调国际交流的重要,以及强调国外一流学者的敬业精神值得我们永远学习。1996年9月由石教英、蔡文立等编著的《科学计算可视化算法与系统》一书由科学出版社出版。这应是我国学者编著的第一本可视化教材,曾在国内高校应用多年,遗憾的是至今没有更新再版。计算机类教科书哪有十几年不更新的,早该淘汰了。

我除了欣赏《数据可视化》一书内容翔实、架构严谨、图表精美外,我更欣赏和看重的是本书前言里列出的执笔者,也就是作者名单。这张名单清晰地表明各个章节的作者姓名。我欣赏的就是这种既强调知识产权保护,又明确文责自负的做法。我一直认为我国知识产权保护不力是制约我国科技创新的罪魁祸首!我欣赏陈为教授严谨的知识产权保护意识和实践。保护知识产权从我们每个科技工作者做起当然是应该的,但我更希望我国各级

科技主管重视知识产权保护对我国科技创新的影响问题，也希望各级行政执法主管严格执法，严格保护知识产权。更希望中央媒体能像报道全国道德模范一样报道一批因知识产权而致富的分子实例。我想一旦知识产权可以致富意识深入人心，榜样的力量就将是无穷的。

最后请容许我再向青年学者说几句心里话。你们从事的可视化研究领域属应用基础研究范畴，具有很强的应用性，因此希望你们重视应用研究，做有用的研究，多与产业界联系；不要随波逐流跟着考核指挥棒走，一味追逐论文数、奖项数和科研经费数；学术评价标准是影响力，而不是这个数那个数，分学术影响力和产业影响力两类：学术影响力看的是发表的学术论文级别，真正有影响力的论文只有顶级论文，能产出顶级论文的只有少数人，且只能在其创造力旺盛的有限岁月才有可能发表顶级学术论文；产业影响力是看你的成果在产业界的应用效果，所有有真才实学的人都能有所贡献，且可能是终生都会有所贡献。你可能会说没有论文，拿不到博士学位，升不了职称，没有科研经费无法带研究生，等等。是的，这里就有个度以及你的看法问题，这就是先贤王阳明先生说的“良知”（我们对事物的最初反应，也是我们本性的表现）；王阳明还提出“致良知”说，就是指我们应该遵从自己的良知而行，即将良知付诸实践。因此，这是一个复杂而又现实的问题，我前面说了“不要随波逐流”，现在又说要“致良知”，即要按自己想清楚的去做，一句话就是：要独立思考，不要随大流。

东拉西扯地写了一大堆，请陈教授谅解，也请诸位读者谅解。

石教英

浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室

2013年9月11日

前言

数据的采集、提取和理解是人类感知和认识世界的基本途径之一，数据可视化作为人类洞察数据的内涵、理解数据蕴藏的规律提供了重要的手段。

随着数据时代的来临，大数据的分析、挖掘与可视化已经成为信息技术发展的迫切需求。面对当前科学可视化、信息可视化、可视分析研究和应用的新形势，需要发展新的复杂数据的处理、分析与可视化方法，并围绕实际科学和社会问题的求解设计高效的人机交互界面。目前，国内急需面向信息时代中各类数据特性和应用领域介绍数据可视化基本理论与方法的工具书。

本书从研究者的视角，介绍了数据可视化的定义、方法、功效和实用软件，可作为初学者入门的向导，是有关科研和教育人员从事可视化研究和开发的一本实用的参考书。全书共有 16 章，分为 4 篇：基础篇、时空数据篇、非时空数据篇和用户篇。

基础篇（第 1~4 章）阐述数据可视化的基础理论和概念，从人的感知和认知出发，介绍数据模型和可视化基础。第 1 章阐述可视化的定义、作用和发展历史，给出数据可视化的现代意义和分类。第 2 章详细介绍视觉感知和认知的基本原理、颜色模型和可视化编码原则。第 3 章介绍数据模型、数据定义、数据组织与管理、数据分析与挖掘等基本概念。第 4 章阐述数据可视化基础，包括可视化流程、图形符号、视觉变量和评估方法等内容。根据数据的时空特性，数据可分为时空数据和非时空数据。

时空数据篇（第 5~8 章）介绍含有空间坐标或时间信息的数据的可视化方法，此类数据通过测量仪器在真实物理空间中采集或由科学计算模拟生成。空间数据可分为标量、向量和张量三大类。第 5 章介绍空间标量场数据可视化，主要涵盖一维、二维和三维空间的标量场数据。第 6 章介绍含有地理信息的空间数据的可视化技术。第 7 章介绍大尺度或随时间变化的空间标量场数据的可视化解决方案和挑战，空间向量场和张量场数据的可视化方法，多变量空间数据场的可视化。第 8 章关注带有时间信息的数据可视化，包括时间属性可视化、多变量时变型数据可视化和流数据可视化。

非时空数据篇（第 9~12 章）描述非结构和非几何的抽象数据的可视化，这类数据既存在于真实物理空间，也存在于社会空间和网络信息空间。第 9~12 章分别介绍层次结构数据可视化、文本数据可视化、跨媒体数据可视化和复杂高维多元数据可视化。特别地，非时空数据具有高维、大尺度、异构、复杂等特点。第 12 章介绍最新的有关复杂高维多

元数据可视化的方法，处理对象包括多变量非结构化数据、大规模数据、异构数据和不确定性数据等。

用户篇（第 13~16 章）介绍实际应用中各类数据可视化需采用的共性、技术和工具以及具体的应用系统。第 13 章介绍可视化中的交互方法，包括交互准则、交互分类和相关技术。第 14 章介绍可视化评测，阐述可视化评测的因素、方法、流程和具体实例。第 15 章介绍面向科学计算、生命医学、网络安全、商业智能和金融等领域的可视化技术。第 16 章介绍可视化系统，包括应用系统、数据资源、开发工具和全球重要的可视化研究小组等信息。

本书由浙江大学计算机辅助设计与图形学（CAD&CG）国家重点实验室部分师生和美国 eBay 公司的沈则潜博士共同编著。美国内布拉斯卡 - 林肯大学的俞宏峰（Hongfeng Yu）博士全程参与了本书结构的讨论和若干章节的编写，并完成了前 4 章的审校，为本书做出了极大的贡献。为清晰起见，我们将各章的作者列表如下（粗体字所示作者为相关章节的主要编写者）：

章节号	章节名称	作者	辅助
第 1 章	数据可视化简介	陈为	
第 2 章	视觉感知与认知	陈伟锋（浙江财经大学）	
第 3 章	数据	马昱欣、陈为	
第 4 章	数据可视化基础	俞宏峰（美国内布拉斯卡 - 林肯大学）、陈为（4.3 节）、陈伟锋（4.4 节，浙江财经大学）	丁治宇
第 5 章	空间标量场可视化	陶煜波、陈为、李昕（5.3.5 节，中国石油大学（华东）计通学院）	朱斯衍
第 6 章	地理信息可视化	沈则潜	
第 7 章	大规模多变量空间数据场可视化	陶煜波、彭艺、陈莉（7.1 节、7.2 节，清华大学）、解聪（7.3 节）、丁子昂（7.4 节，美国普度大学）、丁治宇（7.5 节）	陈为、张嘉伟
第 8 章	时变数据可视化	夏菁、陈为、郭方舟	
第 9 章	层次和网络数据可视化	沈则潜、夏菁	陈为
第 10 章	文本和文档可视化	王桂珍	陈为
第 11 章	跨媒体数据可视化	解聪、徐星、彭帝超（11.4.2 节、11.4.3 节）、陈广宇	陈为
第 12 章	复杂高维多元数据的可视化	沈则潜、陈为（12.3 节）、陈海东（12.4 节）	陈海东
第 13 章	可视化中的交互	吴斐然、沈则潜	刘颖
第 14 章	可视化评测	沈则潜、刘颖（英特尔北京研究院）	
第 15 章	面向领域的的数据可视化	陈为、彭帝超（15.4 节）、俞宏峰（15.1 节，美国内布拉斯卡 - 林肯大学）、刘真（15.5 节、15.6 节，杭州电子科技大学）	
第 16 章	可视化研究与开发资源	李昕（中国石油大学（华东）计通学院）、严丙辉	陈为

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室的彭群生教授一直鼓励、关心和支持本书的写作。浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室可视分析小组的全体同学参与了书稿的准备、讨论和校对,包括:陈广宇、檀江华、汪飞、朱标、刘昊南、张嘉伟、张建霞、邹瑶瑶等。英特尔北京研究院的刘颖博士、清华大学的陈莉博士、合肥工业大学的罗月童博士、中科院深圳先进技术研究院的汪云海博士等帮助审校了部分章节,在此一并致谢。

本书编写始于 2010 年 12 月,初稿完成于 2012 年 10 月。基于国内各高校开展可视化教学的强烈需求,在本书初稿完成后,本书部分作者和其他作者着手编撰一本面向本科生的可视化教材,其中部分内容取材自本书的相关章节,该书已于 2013 年 6 月出版(《数据可视化的基础原理与方法》,陈为、张嵩、鲁爱东编著,鞠丽娜编辑,科学出版社,ISBN 978-7-03-037488-2),欢迎有兴趣的读者参阅。

由于时间紧迫,编者水平有限,错误、疏漏之处难免,敬请谅解。本书的附属材料和修订信息将在 <http://www.vizinsight.com/datavisbook> 上予以实时更新。若有任何建议,欢迎致信作者。

本书作者

于 2013 年 6 月

目录

基础篇

第 1 章 数据可视化简介	2
1.1 可视化释义	2
1.2 可视化简史	8
1.3 数据可视化详解	23
1.3.1 数据科学的发展	23
1.3.2 数据可视化的意义	25
1.3.3 数据可视化分类	29
1.3.4 数据可视化与其他学科领域的关系	38
1.4 数据可视化研究挑战	43
参考文献	44
第 2 章 视觉感知与认知	47
2.1 视觉感知和认知	47
2.1.1 视觉感知和认知的定义	48
2.1.2 视觉感知处理过程	48
2.1.3 格式塔理论	49
2.2 颜色	54
2.2.1 颜色刺激理论	54
2.2.2 色彩空间	58
2.3 视觉编码原则	62
2.3.1 相对性和绝对性	63
2.3.2 标记和视觉通道	64
2.3.3 视觉通道的概念	66
2.3.4 视觉通道的特性	72
参考文献	81

第3章 数据	84
3.1 数据释义.....	84
3.1.1 数据基础.....	84
3.1.2 数据科学及过程.....	87
3.2 数据获取和预处理.....	91
3.2.1 数据获取.....	91
3.2.2 数据预处理.....	92
3.3 数据组织与管理.....	93
3.3.1 数据清洗与精简.....	95
3.3.2 数据整合与集成.....	97
3.3.3 数据库.....	99
3.3.4 数据仓库.....	102
3.4 数据分析与挖掘.....	103
3.4.1 探索式数据分析.....	105
3.4.2 联机分析处理.....	105
3.4.3 数据挖掘.....	108
3.5 数据工作流.....	113
3.6 数据科学的挑战.....	116
参考文献.....	117
第4章 数据可视化基础	120
4.1 数据可视化基本框架.....	120
4.1.1 数据可视化流程.....	120
4.1.2 数据可视化设计.....	124
4.2 可视化中的数据.....	127
4.2.1 数据认知.....	127
4.2.2 数据类型.....	127
4.3 可视化的基本图表.....	129
4.3.1 原始数据绘图.....	129
4.3.2 简单统计值标绘.....	134
4.3.3 多视图协调关联.....	135
4.4 可视化设计原则.....	137
4.4.1 数据到可视化的直观映射.....	137
4.4.2 视图选择与交互设计.....	139

4.4.3 信息密度——数据的筛选.....	140
4.4.4 美学因素.....	141
4.4.5 动画与过渡.....	143
4.4.6 可视化隐喻.....	147
4.4.7 颜色与透明度.....	148
4.5 可视化理论发展.....	148
4.5.1 图形符号学.....	149
4.5.2 关系数据的图形表示.....	150
4.5.3 图形语法.....	151
4.5.4 基于数据类型的研究.....	152
4.5.5 基于数据状态模型的研究.....	153
4.5.6 多维关系数据库可视化分析系统.....	154
参考文献.....	155

时空数据篇

第5章 空间标量场可视化.....158

5.1 一维标量场可视化.....	158
5.2 二维标量场可视化.....	160
5.2.1 颜色映射.....	161
5.2.2 等值线提取.....	162
5.2.3 高度图.....	162
5.3 三维标量场数据可视化.....	163
5.3.1 空间数据表达.....	165
5.3.2 空间数据特征计算.....	169
5.3.3 间接体绘制.....	173
5.3.4 规则三维标量场的直接体可视化.....	178
5.3.5 不规则体数据的体可视化.....	201
参考文献.....	212

第6章 地理信息可视化220

6.1 地图投影.....	221
6.1.1 墨卡托投影.....	221
6.1.2 亚尔勃斯投影.....	223
6.1.3 方位角投影.....	224
6.2 点数据的可视化.....	225

6.3 线数据的可视化.....	230
6.4 区域数据的可视化.....	235
6.4.1 Choropleth 地图.....	235
6.4.2 Cartogram.....	237
6.4.3 规则形状地图.....	238
6.4.4 多元关系地图.....	239
6.5 地理信息可视化的应用.....	241
6.5.1 地球与生存环境.....	241
6.5.2 城市与日常生活.....	243
6.5.3 地理时空数据.....	246
6.5.4 复杂地理数据的可视分析.....	247
6.6 地理信息可视化的其他挑战.....	249
6.6.1 地图标注.....	249
6.6.2 地图综合.....	249
6.6.3 在线地图.....	249
参考文献.....	250

第7章 大规模多变量空间数据场可视化253

7.1 大规模空间标量场数据的实时体可视化.....	254
7.1.1 大规模空间标量场数据的单机绘制.....	254
7.1.2 大规模空间标量场数据的并行绘制.....	254
7.1.3 时变空间标量场数据加速绘制方法.....	255
7.2 时变异构空间数据场的特征追踪与可视化.....	256
7.2.1 时变空间标量场数据的特征提取.....	257
7.2.2 异构数据的特征融合.....	257
7.2.3 时变空间标量场数据的特征追踪.....	258
7.3 空间向量场数据可视化.....	260
7.3.1 图标法.....	261
7.3.2 几何法.....	263
7.3.3 纹理法.....	268
7.3.4 拓扑法.....	271
7.4 空间张量场数据可视化.....	273
7.4.1 张量场的数学描述.....	274
7.4.2 基于几何的方法.....	277
7.4.3 基于纹理的方法.....	280

7.4.4 基于拓扑的方法.....	283
7.4.5 高阶张量场可视化.....	285
7.5 多变量空间数据场可视化.....	287
7.5.1 多变量空间数据场的数据分析与表达.....	288
7.5.2 多变量空间数据场的可视化与交互.....	289
参考文献.....	292

第 8 章 时变数据可视化.....302

8.1 时间属性的可视化.....	304
8.1.1 线性和周期时间可视化.....	304
8.1.2 日历时间可视化.....	307
8.1.3 分支和多角度时间可视化.....	309
8.1.4 时间属性的动态可视化.....	313
8.2 多变量时变型数据可视化.....	314
8.2.1 基于线表示的可视化.....	314
8.2.2 基于图结构的可视化.....	317
8.2.3 时间序列数据的可视化交互.....	318
8.3 流数据可视化.....	319
8.3.1 流数据可视化模型.....	320
8.3.2 流数据处理技术.....	321
8.3.3 流数据可视化案例.....	324
8.3.4 并行流计算框架.....	329
参考文献.....	331

非时空数据篇

第 9 章 层次和网络数据可视化.....336

9.1 层次数据.....	336
9.1.1 层次数据的可视化.....	339
9.1.2 节点 - 链接法.....	340
9.1.3 空间填充法.....	346
9.1.4 其他方法.....	351
9.2 网络数据.....	353
9.2.1 网络和图.....	353
9.2.2 网络数据可视化.....	354

9.2.3	网络数据的地图隐喻可视化.....	365
9.2.4	超图及其可视化.....	368
9.2.5	动态网络数据可视化.....	371
9.2.6	图可视化的视觉效果.....	372
9.2.7	图可视化中的交互.....	378
9.2.8	网络数据可视化的挑战.....	380
	参考文献.....	381
第 10 章	文本和文档可视化.....	387
10.1	文本可视化释义.....	387
10.1.1	文本信息的层级.....	387
10.1.2	文本可视化的研究内容.....	388
10.1.3	文本可视化流程.....	388
10.2	文本信息分析基础.....	390
10.2.1	分词技术和词干提取.....	390
10.2.2	向量空间模型.....	390
10.2.3	主题抽取.....	392
10.3	文本内容可视化.....	393
10.3.1	基于关键词的文本内容可视化.....	393
10.3.2	时序性的文本内容可视化.....	397
10.3.3	文本特征的分布模式可视化.....	400
10.3.4	情感分析可视化.....	403
10.3.5	文档信息检索可视化.....	405
10.3.6	软件可视化.....	406
10.4	文本关系可视化.....	408
10.4.1	基于图的文本关系可视化.....	408
10.4.2	文档集合关系可视化.....	409
10.5	文本多层面信息的可视表达.....	413
10.6	总结.....	415
	参考文献.....	415
第 11 章	跨媒体数据可视化.....	418
11.1	图像.....	418
11.1.1	图像网格.....	418