

测绘科技专著出版基金资助

空间信息可视化

王建华 著



测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

空间信息可视化

王建华 著

测绘出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

空间信息可视化/王建华著. —北京: 测绘出版社,
2002. 7

ISBN 7-5030-1127-0

I. 空... II. 王... III. 地理信息系统 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 044667 号

测绘出版社出版发行

100054 北京宣武区白纸坊西街 3 号

三河市艺苑印刷厂印刷·新华书店经销

2002 年 7 月第一版·2002 年 7 月第一次印刷

开本: 890×1240 1/16·印张: 8.5

字数: 238 千字·印数: 0001—2000

定价: 25.00 元

序

20 世纪后 30 年, 计算机与电子技术、空间科学技术、信息与通讯技术等高新技术的迅速发展, 促进了现代地图学、遥感 (RS)、全球定位系统 (GPS)、地理信息系统 (GIS) 的诞生和飞速发展。60 年代开始地图制图自动化的研究实验, 70 年代初步实现计算机制图与数字化测图, 90 年代则实现了全数字化计算机制图与自动制版, 多媒体电子地图集与互联网地图也迅速发展起来。

70 年代兴起的卫星遥感技术目前已发展到多层面 (空间实验站、多种系列卫星、航天飞机、飞机等)、多波段光谱、多频率雷达、高分辨率 (高空间分辨率与高光谱分辨率)、多时相、全天候。已建立数字图像处理系统与各种分析应用模型, 并在专题信息提取与自动分类制图、土地资源清查、洪涝灾害与森林火灾监测、热带气旋预报、水体污染监测及其他生态环境监测等方面得到广泛应用, 发挥了重要作用。

80 年代在计算机制图基础上发展起来的地理信息系统已广泛应用于空间信息的各个领域, 并已形成相当规模的地理信息系统产业。目前种类繁多、功能多样的地理信息系统软件已达百种之多。而且在空间数据结构与管理、用户使用界面、数据集成与更新、空间分析模型、人工智能与专家系统、WebGIS 等方面已积累较多的经验, 在资源清查与管理、城市规划与管理、环境监测与评价、灾害预警与损失评估等方面发挥着越来越大的作用。

全球定位系统的发展带来了空间定位技术的根本变革, 用全球定位系统测定三维坐标的方法使空间定位扩展到海洋和空间, 从静态到动态, 其精度达到米级和厘米级。由全球定位系统与电子地图相结合的电子导航地图已在飞机、舰船与汽车中广泛使用。

现代地图学、全球定位系统、遥感、地理信息系统不仅各自发挥了本身的特点, 而且相互结合, 促进了一门新兴的更高层次的学科——地球信息科学的诞生。地球信息科学将通过对地球系统内部多源信息的获取、传输、处理、感受、响应与反馈的信息机理与信息流过程的深入研究, 揭示地球系统各圈层复杂系统的相互作用与影响, 阐明人地系统、全球变化、区域可持续发展中的物质流、能量流与信息流的全过程及其时空分布与演变规律, 为宏观调控、规划设计与工程设计提供科学依据和全方位的信息服务。

1998 年 1 月美国副总统戈尔提出的“数字地球——对 21 世纪人类星球的理解”, 是继美国提出的信息高速公路之后, 又一项新的全球战略。这也表明数字地球将是 21 世纪全球信息发展的必然趋势。中国政府和科技界对信息技术和数字地球的发展也非常重视, 有关部门正研究和制订相应的发展战略与具体措施, 推动中国数字地球的发展。1999 年 11 月中国科学院联合有关部门发起召开了国际数字地球会议, 并通过了数字地球“北京宣言”。目前有不少省区和城市已制订并实施数字省区与数字城市的发展规划。

上述地图学、全球定位系统、遥感、地理信息系统, 以及在此基础上发展起来的地球信息科学与数字地球, 所涉及的信息都属于空间信息, 即具有空间相对位置的信息, 包括二维、三维、四维或更多维信息。而这些空间信息, 不论从信息流角度研究其形成过程与机理、时空分布与传递方式, 还是从信息的获取、分析、处理、传递、显示等技术方面进行分析与应用, 都需要借助于可视化的方法和技术。因此空间信息可视化是地图学、全球定位系统、遥感、地理信息系统, 乃至地球信息科学、数字地球必须研究解决的共同性重要课题。近十多年来, 国际上可视化问题的研究已成为热点问题之一, 国际地图学协会 (ICA) 前主席泰勒教授 (Taylor) 1991 年提出的地图信息认知与传输三角形模

式中，把地图可视化作为三角形的核心。国际地图学协会还专门成立了地图可视化委员会（后改为可视化与虚拟现实委员会）。国际上地理信息系统的专家学者对可视化的研究与探讨也十分活跃。

《空间信息可视化》一书的作者王建华博士及时抓住空间信息可视化这一前沿性课题，进行了较长时间的研究与探讨。他专业基础扎实，学科知识面较广，自行设计开发过若干地理信息系统，具有较丰富的实践经验，发表过较高水平的论文，经过博士论文和博士后的系统研究，又参考了国内外大量文献资料，《空间信息可视化》一书的撰写具有坚实的研究功底与资料基础。

《空间信息可视化》一书全面论述了空间信息可视化的原理和方法，提出了基于对象—关系的超媒体数据模型，有效地解决了空间信息可视化中多媒体数据规范化描述、代数运算、组织方法和存贮结构；设计了一种可视化空间信息查询语言 SIVQL，较好地解决了空间信息多方式、多媒质、动态化、直观化地表达、查询与操作，并系统地阐明了空间信息可视化的基本理论、技术方法、数据处理与实际应用。该书把地图学、全球定位系统、地理信息系统、地球信息科学、数字地球，以及计算机科学技术和多媒体技术有机地结合起来，既有理论、方法的研究探讨，又有应用实例的分析介绍。我相信该书的出版定会受到地图学、遥感应用、地理信息系统及计算机软件开发的技术人员与大专院校师生的欢迎，也必将促进空间信息可视化研究的深化与软件的进一步开发，以及应用水平的不断提高。

廖克

2001年4月

前 言

“字字看来俱是血，十年辛苦莫等闲”，从 1983 年初中毕业考入南京地质学校地图制图专业学习至今已十八有年，经历了许多艰辛与拼搏，跨越了高中和大学，读完了硕士、博士，并进入清华大学读博士后继续深造。回想多年来的学习和工作，虽然没有取得什么惊人的成就，却已在平凡的学习和工作岗位上尽了自己最大的努力，为地图学和 GIS 的发展及应用做了一些力所能及的事。现将自己多年来的心得作阶段性的总结，并奉献给各位专家和广大的同仁。由于作者才疏学浅，对其中一些不够成熟的观点和技术，殷切希望各位专家和同仁批评、斧正。

本书主要从以下几个方面对空间信息可视化进行了讨论和研究。

1. 首先阐述了与本论题相关的空间信息表示、地图信息传输、多媒体技术、科学计算可视化、认知科学等，分析它们与空间信息可视化的内在联系和意义，初步探讨了空间信息可视化的理论和技术基础。

2. 多媒体数据模型是实现空间信息可视化的重要前提和关键技术之一，本书对现有的非第一范式 (Non First Normal Form, 简记为 NF²) 方法和超文本模型进行若干扩展，构造并设计了 NF² 多媒体数据模型和超媒体数据模型，深入研究了这两种模型的若干关键技术，并给出其应用实例。

3. 在深入分析了面向对象多媒体数据模型、NF² 多媒体数据模型和超媒体数据模型的基础上，提出另一种新的多媒体数据组织和存贮模型，即基于对象—关系的超媒体数据模型，深入探讨了该模型的数学描述及其组织和存贮方式，并通过实验对该模型进行了初步验证。

4. 多媒体空间数据压缩是实现空间信息可视化的另一项重要内容，本书着重研究了静态图像和动态图像数据及视频图像数据压缩处理的方法、原理及其实现算法。

5. 空间信息的可视化查询是实现空间信息可视化的重要手段，但目前常用的 SQL 和 QBE 等查询语言不能很好地实用于空间信息的可视化查询。为此本书基于关系代数和关系演算的基本原理，设计了一种可视化的空间信息查询语言 (Visual Query Language on Spatial Information, 简记为 SIVQL)，深入研究了 SIVQL 的数学原理、表达及其应用等有关问题。

6. 多媒体和多媒体地图是实现空间信息可视化的表现方式，本书对空间信息可视化中的多媒体和多媒体地图及多媒体间协同关系的表达与描述进行了讨论。

7. 空间信息的可视化操作是可视化地理信息系统面向广大用户的主要特征，本书用数学方法研究了可视化图标、可视化操作的表达、描述及其设计与应用等相关问题。

8. 在原理、方法、技术和理论研究的基础上，本书还介绍了一个基于多媒体技术的可视化地理信息系统——海南综合地理信息系统。

9. 结合当前地球信息科学发展的新技术和趋势，阐述了空间信息可视化在国家空间数据基础设施和数字地球建设中的作用。

作为信息产业的重要组成部分，地球信息科学应该为全人类经济、社会的可持续发展做出重要的贡献。本书作为计算机科学、地图学和 GIS、信息科学等几门学科相融合而产生的新方向，虽然尚待进一步完善，但作者仍期待着它的出版，能为 GIS 的新发展，为虚拟现实和数字地球的研究提供一种思路。

“路漫漫兮吾修远兮，吾欲上下而求索”，信息革命的浪潮已席卷了全球，并为人类的发展带来了新的机遇。在这场信息技术革命的大潮中，我们每一个人的作用都是微不足道但又是必不可少的。作为一个年轻的科技工作者，我深知自己在科学事业的道路上仅仅只迈出了第一步，作者真诚地希望能够在前辈们的继续关怀下，与各位同仁精诚合作，为地球信息科学的发展作出不懈的努力。

在多年的学习、工作中，感谢祝国瑞教授、毋河海教授和廖克教授三位导师对我的悉心指导，欧亚科学院中国中心主席团主席廖克院士百忙之中还为本书写了代序，感谢清华大学土木工程系过静君教授、辛克贵教授等各位老师们对我的支持、指导与帮助，在本书的撰写中，作者学习参考了许多同仁的研究成果，在此一并致谢。

仅以此书献给我的妻子和女儿。

王建华

2001年5月于清华园

目 录

第 1 章 绪论	(1)
§ 1.1 空间信息表达与空间信息可视化	(1)
1.1.1 传统地图和现代电子地图的发展	(1)
1.1.2 空间信息表达与空间信息可视化	(1)
1.1.3 基于多媒体技术的空间信息可视化	(2)
§ 1.2 可视化技术的基本方法	(2)
1.2.1 点数据场的可视化	(2)
1.2.2 标量场数据的可视化	(3)
1.2.3 矢量场数据的可视化	(4)
1.2.4 张量场数据的可视化	(4)
1.2.5 其它可视化技术和方法	(4)
§ 1.3 空间信息可视化研究的主要内容	(5)
§ 1.4 本书的主要内容	(6)
第 2 章 空间信息可视化的相关理论与技术基础	(7)
§ 2.1 空间信息的类型、特点及其表示方法	(7)
2.1.1 空间信息的类型	(7)
2.1.2 空间信息的特点及表示方法	(7)
§ 2.2 多媒体技术及其应用	(9)
2.2.1 多媒体技术及其发展简况	(9)
2.2.2 多媒体系统的构成	(10)
2.2.3 多媒体技术的应用	(11)
§ 2.3 科学计算可视化与空间信息可视化	(12)
2.3.1 科学计算可视化及其在制图和地理信息系统中的应用	(12)
2.3.2 空间信息可视化的基本概念、特征、类型及表达工具	(13)
§ 2.4 多媒体技术与空间信息可视化	(16)
2.4.1 多媒体技术在空间信息可视化中的作用和意义	(16)
2.4.2 多媒体技术与地图信息表达	(17)
§ 2.5 空间信息可视化中人类空间认知模型的意义	(18)
2.5.1 认知科学及人类的空间认知模型	(18)
2.5.2 空间信息可视化的实质	(18)
§ 2.6 地图信息的传输模式	(19)
§ 2.7 本章小结	(20)
第 3 章 空间信息可视化中的多媒体数据模型	(21)
§ 3.1 多媒体数据模型及其功能	(21)
3.1.1 多媒体数据模型的基本概念	(21)
3.1.2 多媒体数据模型的表现特征	(22)
3.1.3 多媒体数据管理的主要特点	(22)
§ 3.2 面向对象的多媒体数据模型	(23)

3.2.1	面向对象的基本概念	(23)
3.2.2	面向对象多媒体数据模型的基本原理和方法	(23)
3.2.3	面向对象多媒体数据模型的特点	(24)
§ 3.3	非第一范式 (NF ²) 的扩展与 NF ² 多媒体数据模型	(24)
3.3.1	NF ² 方法的扩展与 NF ² 多媒体数据模型的原理和方法	(24)
3.3.2	NF ² 多媒体数据模型的管理结构	(25)
3.3.3	NF ² 多媒体数据模型的组织策略	(25)
3.3.4	NF ² 多媒体数据模型的存贮结构	(27)
3.3.5	NF ² 多媒体数据模型的嵌套关系代数	(27)
3.3.6	一个实例	(28)
3.3.7	NF ² 多媒体数据模型的特点	(29)
§ 3.4	超媒体数据模型	(29)
3.4.1	超文本和超媒体的基本原理	(29)
3.4.2	超媒体数据模型——超文本模型的扩展	(31)
3.4.3	超媒体数据模型的组织方法	(31)
3.4.4	超媒体数据模型的结构定义	(34)
3.4.5	超媒体数据模型的特点	(36)
§ 3.5	本章小结	(36)
第 4 章	基于对象—关系的超媒体数据模型	(38)
§ 4.1	引言	(38)
§ 4.2	对象—关系超媒体数据模型的原理和方法	(39)
§ 4.3	对象—关系超媒体数据模型的规范化描述	(40)
§ 4.4	对象—关系超媒体数据模型操作运算的代数表达	(42)
§ 4.5	对象—关系超媒体数据模型的组织与存贮	(44)
4.5.1	构造两种基本模型	(44)
4.5.2	存贮模型	(45)
4.5.3	存贮结构的表达与描述	(46)
§ 4.6	对象—关系超媒体数据模型的应用实例	(47)
4.6.1	海南多媒体旅游电子地图查询系统的结构设计	(47)
4.6.2	基于 O—RHDM 的存贮和查询实例	(48)
§ 4.7	对象—关系超媒体数据模型的特点	(49)
§ 4.8	本章小结	(50)
第 5 章	空间信息表达中多媒体数据的压缩处理	(52)
§ 5.1	空间数据压缩的本质和核心内容	(52)
5.1.1	空间数据压缩的必要性和可行性	(52)
5.1.2	空间数据冗余的类型	(52)
5.1.3	空间数据压缩的本质和核心内容	(53)
§ 5.2	空间数据压缩的基本方法	(54)
5.2.1	量化与向量量化编码	(54)
5.2.2	预测编码	(54)
5.2.3	变换编码	(54)
5.2.4	信息熵编码	(55)
§ 5.3	静态图像数据的压缩处理	(55)

5.3.1	算法的设计思想和总体结构	(55)
5.3.2	方法和原理	(56)
5.3.3	基本实施过程	(59)
5.3.4	简单实例	(59)
§ 5.4	视频图像数据的压缩处理	(60)
5.4.1	视频图像数据压缩的基本思想	(60)
5.4.2	视频图像数据的结构特征	(60)
5.4.3	视频图像数据压缩编码的原理和方法	(62)
§ 5.5	本章小结	(63)
第 6 章	空间信息的可视化查询语言 SIVQL	(65)
§ 6.1	数据库查询语言综述	(65)
§ 6.2	QBE 的扩展与 SIVQL 的描述性定义	(65)
6.2.1	QBE 评述	(65)
6.2.2	QBE 的改进与 SIVQL	(66)
6.2.3	SIVQL 的形式描述定义	(67)
§ 6.3	SIVQL 的数学基础	(68)
6.3.1	SIVQL 关系演算的受限定义	(68)
6.3.2	SIVQL 的基本关系运算	(68)
6.3.3	SIVQL 的扩充功能——QBE 与 SQL 的结合	(69)
§ 6.4	SIVQL 的查询操作及应用实例	(71)
6.4.1	SIVQL 的基本操作过程	(71)
6.4.2	查询操作及实例	(72)
§ 6.5	SIVQL 的特点	(72)
§ 6.6	本章小结	(74)
第 7 章	空间信息可视化媒体及其关系的描述与表达	(75)
§ 7.1	空间信息可视化媒体的描述与表达	(75)
7.1.1	文本媒体及其描述	(75)
7.1.2	图形媒体及其表达	(76)
7.1.3	静态图像媒体及其表达	(77)
7.1.4	视频图像媒体及其表达	(77)
7.1.5	数字音频媒体数据的处理及其表达与描述	(79)
§ 7.2	空间信息可视化的集成表现——多媒体地图	(81)
7.2.1	多媒体地图的基本概念	(81)
7.2.2	多媒体地图的基本特征	(82)
§ 7.3	可视化图标的数学表达及应用	(82)
7.3.1	可视化图标及其类型	(82)
7.3.2	图标系统的表达	(83)
7.3.3	图标的形式化描述	(84)
7.3.4	图标操作符的表达	(84)
7.3.5	可视化图标的设计及应用	(85)
§ 7.4	各种媒体协同关系的表达与描述	(86)
7.4.1	时间片及其相互关系描述	(86)
7.4.2	基于时间片的媒体协同关系描述方法——时间标记法	(86)

7.4.3	媒体协同关系的描述和基本运算	(87)
§ 7.5	本章小结	(88)
第 8 章	基于多媒体技术的可视化地理信息系统应用实例	
	——海南综合地理信息系统的设计与研制	(89)
§ 8.1	系统总体结构和功能	(89)
8.1.1	系统总体结构	(89)
8.1.2	系统功能设计	(89)
§ 8.2	系统运行环境	(90)
8.2.1	硬件	(90)
8.2.2	软件	(91)
§ 8.3	系统信息及其分类与编码设计	(92)
8.3.1	海南综合 GIS 的信息源	(92)
8.3.2	系统信息分类与编码设计	(92)
§ 8.4	系统数据库与数据模型设计	(96)
8.4.1	数据库的设计	(96)
8.4.2	数据模型的设计与组织方法	(96)
§ 8.5	系统设计与研建的总体技术策略	(100)
§ 8.6	系统多媒体数据的获取与处理	(100)
8.6.1	文本数据的获取及处理	(100)
8.6.2	图形数据的获取及处理	(101)
8.6.3	图像的扫描获取及其处理	(103)
8.6.4	视频图像的制作	(104)
8.6.5	声音文件的制作及处理	(105)
§ 8.7	系统特点	(105)
第 9 章	新技术条件下空间信息可视化的发展远景	(107)
§ 9.1	国家空间数据基础设施的建设	(107)
9.1.1	国家空间数据基础设施 (NSDI) 的有关概念	(107)
9.1.2	NSDI 的国内外发展状况	(108)
§ 9.2	国家空间数据基础设施的基本内容及构成	(110)
9.2.1	国家基础地理信息系统 (NFGIS) 的数据库构成	(110)
9.2.2	国家空间数据基础设施的数据交换网络	(111)
9.2.3	NSDI 的组成	(112)
§ 9.3	NSDI 中地球空间数据框架的实施技术	(113)
9.3.1	地球空间数据框架的基本内容	(113)
9.3.2	地球空间框架数据实施技术	(114)
9.3.3	地球空间数据框架的建立	(119)
§ 9.4	数字地球	(120)
9.4.1	数字地球的关键技术	(120)
9.4.2	数字地球建设的基本内容	(121)
9.4.3	数字地球的基本应用	(122)
参考文献	(124)

第 1 章 绪 论

在人类社会漫长的演变、进化过程中，语言和文字的产生是人类社会进步的两次质的飞跃。借助于语言和文字，人们才得以相互交流思想、传递信息，也才能够将自然环境中的万事万物描述、记录下来。地图的产生和发展，又使人类能够将地表的环境现象及其特征加以抽象、概括，形象地表示在石、竹、绢、纸等基质上，从而直观、方便地认识、研究环境现象，因而地图成为描述和记载自然环境现象及人类活动的另一种重要手段和工具。现代科学技术，特别是计算机科学和网络通信技术的发展，极大地改变了人类社会的生活和生产方式，同时也改变了人类存贮、表示和传输空间信息的途径和方式。多媒体技术的产生及可视化方法的应用，使得计算机能够把文字、图形、图像、动画、声音及视频等各种媒体信息集成到信息系统中，进行交互式、直观化的操作处理，从而实现了空间信息的可视化和虚拟现实。

§ 1.1 空间信息表达与空间信息可视化

1.1.1 传统地图和现代电子地图的发展

地图是人类文化的重要组成部分，它融科学、语言、艺术于一体，从古巴比伦陶片地图至今，地图已有 4 500 余年历史。作为描述、记录和研究自然环境与人类社会活动的一种信息载体，地图早已成为人类生产与生活中一种重要的信息传输方式和文化工具。

地图作为空间环境信息表达的载体，其传输媒介和表示形式随着人类科技的进步而变化。古代地图主要描绘在石碑、丝帛、陶片等基质上。随着纸张的发明和印刷技术的应用，地图才逐渐被绘制在纸平面上。然而纸质地图不仅制作工艺复杂，而且携带和传输不便。自 20 世纪 60 年代起，随着计算机技术在地图学领域的研究和应用，逐渐产生了计算机制图和电子地图。这样，地图不仅可以绘制在纸上，而且也可存贮在计算机里，并显示在计算机屏幕上；地图的表达形式除了符号、注记之外，还有数字的形式。这种具有交互性和动态性的电子地图使传统地图进入了数字制图的崭新时代，这是传统地图制作和表现的一次质的飞跃，它改变了传统地图表达和传输空间信息的方式，拓宽了地图的应用和研究领域。

电子地图是现代地图的一种重要形式，也是计算机制图和地理信息系统（GIS）的重要功能。与传统纸质地图相比，电子地图主要具有如下几个基本特征：

1. 能够实时、动态地表达空间环境现象信息，并具有滚动、闪烁及多窗口显示或放大等功能。
2. 数据存贮与图形显示相分离，因而信息存取、传输方便、灵活。
3. 能在屏幕上随时修改和编辑地图要素。
4. 以数字形式存贮数据，不仅能进行检索、查询，还能有效地进行基于数据的空间统计和相关分析。

1.1.2 空间信息表达与空间信息可视化

作为一种新型地图，电子地图对地图学的发展起了积极的推动作用，目前电子地图产品已进入实用阶段。尽管如此，电子地图和计算机制图系统仍然存在许多不足，至少从目前情况来看，在以下几个方面有待进一步研究和完善。

1. 目前的电子地图仅有文字、图形、图像, 没有声音, 这使电子地图显得很呆板、枯燥, 在很大程度上限制了电子地图的功能和应用。

2. 目前的计算机制图缺乏三维动画及视频图像技术, 空间信息的表示趋于平面化, 难以表示三维或多维信息, 缺乏立体感, 因而在很大程度上降低了电子地图传输空间信息的效率, 也限制了电子地图的进一步发展和推广应用。

3. 电子地图已有的各种媒体信息, 如文字、图形、图像等相互独立, 没有逻辑地连接成一个统一的整体, 这在很大程度上并没有充分发掘多种媒体信息的集成功能和潜在优势。而人类感知客观信息的最佳途径是多种媒体信息的综合, 这就为电子地图提出了新的、更高的要求。

4. 目前的计算机制图系统交互性不强, 制作和使用较复杂, 通常只有专业人员才能操作和使用。为了使其推广应用, 必须解决系统的操作和使用方式, 设计出可视化的操作方式和界面, 让普通用户通过选中某一图标或按钮就可得到自己想要的东西, 也就是让普通用户能主动地去控制和使用计算机信息系统。

上述前 3 个问题归结起来就是要求我们去探寻一种集文本、图形、图像、声音、动画和视频图像等多种媒体信息于一体的技术途径, 即通过计算机把多种媒体信息的获取、存贮、加工、表现等进行集成化的处理, 这就引出了多媒体技术的概念。第 4 个问题就是要求系统的设计与制作应当采用一种直观、可视的表现方式, 这就是可视化技术。多媒体技术与可视化方法的有机结合, 将把电子地图及地球空间信息科学推向一个新的历史时期, 如何有效地研究和探讨基于多媒体技术、可视化方法乃至虚拟现实技术的空间环境信息可视化的原理、方法、技术和应用及其对人类社会经济发展所产生的影响, 已成为当前地球空间信息科学研究的核心内容, 而且也是建设国家空间数据基础设施和数字地球的关键技术之一。

1.1.3 基于多媒体技术的空间信息可视化

可视化不仅仅是模拟计算, 也不仅仅是图形、图像的显示, 它在本质上是一种方法, 借助于该方法可以将大量无序的空间环境信息转换为人类易于操作和感知的形象化信息。在这个转换过程中, 可视化技术和工具起着决定性的作用。也就是说, 可视化的实施和实现需要借助于空间信息表示的各种媒介及其技术手段。实际上, 早期的可视化主要是基于计算机图形学原理, 用图形、文本来表达和传输空间信息, 这就是传统意义上的可视化。多媒体技术集文本、图形、图像、声音、动画、视频等各种媒体及各种媒体的组合于一体, 从而能够以视觉、听觉、触觉等媒体形式直观、形象、生动地表达空间环境信息。换言之, 只有借助于多媒体技术才能实现广义的空间信息可视化。多媒体技术与可视化、地图和 GIS 的相互融合, 对空间信息可视化将产生深远的影响。为此, 本书拟将多媒体技术、可视化、GIS 和地图学等几个领域和学科有机地结合起来, 提出基于多媒体技术的空间信息可视化的论点, 希望能够在空间信息可视化的原理、方法、技术、应用及与之相关的理论等方面做一些有益的工作。

§ 1.2 可视化技术的基本方法

根据描述和表达的空间客体对象的数据结构或数据模型的不同, 它们所要求的可视化技术和方法也各不相同。一般地讲, 可视化技术的基本方法包括点数据场的可视化、标量场数据的可视化、矢量场数据的可视化、张量场数据的可视化及其它相关的可视化技术。

1.2.1 点数据场的可视化

点数据场的可视化实际上是对所描述的客观对象相应定义域中的点或点集, 借助于某种模型将 N 维空间中的点集投影到二维平面上。

在实际应用中,较多的是有关一维、二维和三维空间点数据场的可视化处理。显然,一维点数据的处理是最简单的,通常可以直接在一维坐标轴上标注。二维点则可以采用某种数学模型,将二维点的两个值投影转绘到二维平面上,成为二维平面直角系中的一个点 (x, y) 或有序点集 $\{(x_i, y_i)\}$ 。对于三维点,也可采用某种投影方法将三维点的三个坐标值转换到三维图形空间的三个坐标轴上,用三维立体模型的方法显示其立体空间分布,即 $\{(x_i, y_i, z_i)\}$;或者将第三维深度信息用不同的灰度(或色彩)或光照度表示在二维平面上,生成假三维立体图。利用三维动画技术,还可以选择不同的视点,生成一序列的三维立体图,并通过旋转控制操作将系列三维立体图连成一个整体,实现空间对象不同角度的显示。

对于四维或更高维点数据场,通常可以采用 Andrews 提出的曲线分解模型进行可视化处理。该方法的基本原理是将 N ($N \geq 4$) 维空间的 N 个分量值 $(F_1, F_2, F_3, \dots, F_n)$ 用一个函数 $f(t)$ 表示:

$$f(t) = (F_1/\sqrt{2}) + F_2 \sin(t) + F_3 \cos(t) + F_4 \sin(2t) + F_5 \cos(2t)$$

将 $f(t)$ 函数在 $[-\pi, +\pi]$ 范围内的曲线绘制在二维平面上,也就是将 N 维点用一条形状相似的曲线来表示,通过比较一组曲线,来确定 N 维点数据集中所含的不同信息。

当然,也可以利用三维仿真技术,实现对第四维时间信息的表示。

在地球空间信息科学中,点数据场是一种比较常见而且非常重要的数据,除了各类控制点之外,还有各种实地观测数据和各种类型的采样数据,它们都是空间信息可视化处理的重要内容。

1.2.2 标量场数据的可视化

标量场数据的可视化是目前空间信息可视化中研究和应用最多的可视化方法。在本书后面有关章节中所给出的应用实例,尤其是图形、图像显示技术等,都是基于标量场数据的可视化方法来实现的。

显然,最简单的是一维标量场数据,它可用插值函数 $F(x)$ 来表示,其可视化的基本方法是:在二维平面坐标内,根据采样点的值来构造插值函数 $F(x)$,再根据 $F(x)$ 生成采样点之间的线段。为了实现较好的可视化效果,插值函数的选择非常重要。一般来说,插值函数的选择应该能保留原始数据集中的隐含属性,比如单调性、正态性等。在空间信息表达中常用的插值函数是三次样条插值函数,具体算法参见文献 [34]。如果采样数据本身的精度较低,则可根据最小二乘法原理和方法,构造插值函数^[32]。

空间数据处理中的二维标量场数据通常包括两大类,即平面格网点数据和不规则的散乱点数据。为了实现二维标量场数据的可视化,关键是拟构相应的插值函数。

对于平面格网点数据,可以采用双线性插值函数,其基本形式如下:

$$F(x, y) = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 xy$$

在具体实施过程中,为了得到较好的效果,可采用双三次插值函数,基本形式如下:

$$F(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j, 0 \leq x, y \leq 1$$

双三次插值函数的特点是一阶导数连续,二阶导数存在。在空间数据处理中,常用的双三次插值函数是 Bezier 函数,具体算法参见文献 [34]。

对于不规则的散乱点数据,可以先将其划分为若干三角形格网或六角形格网等,然后再对三角形格网或六角形格网上的点数据采用双线性插值或双三次插值函数进行处理。空间数据处理中的 DEM 数据是不规则散乱点数据场处理较典型的应用实例。

值得一提的是,二维标量场数据的等值线内插是空间数据处理中二维标量场数据可视化应用最广泛的技术,如地形等高线、地磁等磁力线或等降雨量线等。有关这方面的算法和实现技术在计算机图形学教材中都有介绍,这里不再赘述。

三维标量场数据的可视化则采用曲面构造法来实现,其基本原理是:将函数值 $F(x_i, y_i)$ 作为空间第三维数据,利用某种曲面模型对空间点集

$$\{(x_i, y_i, F(x_i, y_i))\}$$

拟构一张逼近曲面,将该空间曲面投影到平面上,并通过消隐、纹理或明暗处理及旋转变换等来实现第三维属性的显示,甚至可以采用动画技术实现第三维属性的连续显示。有关这方面的算法和实现技术可以参考计算机图形学的有关著作。

1.2.3 矢量场数据的可视化

矢量是一种既有大小又有方向的量纲,因此矢量场数据的可视化与标量常数据有所不同,它应该将矢量的大小和方向都能同时显示出来。在空间信息处理中,矢量场数据的可视化通常有两种基本技术,一种是将矢量按一定的方向进行分组,获得 N 个组的分量值,然后借助于标量常数据的可视化技术显示每一分量的分布。比如气象研究中的风向频率分布、地质构造中的节理分布等。另一种方法就是直接对矢量的大小和方向同时进行显示。

根据空间数据处理的特点和可视化的基本技术,矢量场数据的几何图形表示方法通常包括点场数据表示、线场数据表示和面场数据表示等三种。

点场数据的表示是最直接的方法,通常是对采样点上的每一点数据的大小和方向采用能表示大小和方向的图形方式给予表示,如箭头、有向线段等。

线场数据的表示是空间数据可视化中用得较多的一种方法,通常包括数据场线和质点轨迹线两种。数据场线是某一时刻 t 连接各点矢量的一条有向曲线,如大气环流线、电磁场中的磁力线等。质点轨迹线指某一质点经过该矢量场是一条轨迹,如计算流体动力学(CFD)中的质点运动轨迹等。计算流体动力学就是求流体偏微分方程,即 Navier-Stokes 方程的数值解,这些方程是航空学、汽车设计、气象预报和海洋学等应用研究的核心技术,也是流体力学的基础。

空间面场数据实际上是一条非场曲线经过矢量场的运动轨迹,面场比线场更容易表达矢量场内部的矢量分布。面场的拟构主要有两种方法,一种是采用线场连接生成面场,另一种是对矢量场进行拓扑结构的分解,通过拟构矢量场内部的几种拓扑结构分布模型来表达整个面场的总体分布。

1.2.4 张量场数据的可视化

张量场主要应用在 CFD 和有限元分析中。三维空间的一个二阶张量可以表示为一个 3×3 矩阵,因此,一个张量场是由二维或三维场中一系列类似的矩阵组成。

对于三维空间的二阶张量分布, Haber 提出了一个方法。该方法首先求出张量的特征值和特征向量,根据特征值的大小分出主特征方向、次特征方向和最小特征方向。带箭头的圆柱体表示主方向,用色彩表示该方向特征值的大小,用包围该圆柱体椭圆的两个轴分别表示次方向和最小方向上的分部,用类似的方法表示出次方向和最小方向上的特征值大小,具体算法请参阅文献 [70]。

1.2.5 其它可视化技术和方法

除上述几种主要的可视化技术和方法外,通常用到的还有图像处理技术、动画技术和交互技术。

图像处理主要用于高密度点的标量场数据分布,如 CT、地表形态数据场等,其相关技术包括图像增强、图像特征提取和图像分割等。

图像增强主要是为了加强和突出图像的特征而采取的一种图像处理技术。常用的方法有直接对像素进行的点操作、对像素周围区域进行的局部区域操作及伪彩色技术。点操作包括灰度变换法、直方图修正法和局部统计法。局部区域操作主要是图像的平滑和锐化,例如中值滤波、低通滤波和高通滤波等。伪彩色计算是将灰度映射到彩色空间上,以突出数据的分布特点。

特征抽取技术主要包括采用灰度振幅的空间特征抽取,采用梯度法的边界识别,采用边界跟踪的

边界抽取, 以及采用几何表示的形状识别等。分割技术主要包括阈值、种子填充、模板匹配及其它边界算子。

动画技术对于表示随时间变化的物理场非常有效, 其基本原理是通过一图像序列来显示连续的物理场变化, 常用的技术是关键帧方法。动画技术最理想的情况是希望在用户控制下, 实时地生成和显示动画序列。动画技术作为一种表达四维信息的技术, 不仅可以用来表达时间的变化, 也可以用于表示其它参数的变化。

交互技术在可视化中占据着非常重要的地位。许多数据的特点只有通过交互才能感知到。交互技术包括与数据的交互、与图形的交互和与可视化参数的交互。与数据的交互包括数据集的交互分割、断面的选取、数据范围的选择设置等技术。与图形数据的交互包括了传统图形学中的交互, 如平移、放大、旋转等交互操作和光源、视点、投影面、表面属性及明暗处理等技术。与可视化数据的交互包括与显示技术的交互, 如选择或组合合适的显示技术。与参数的交互, 如在质点跟踪时可与质点数、步长、质点分布方式等参数进行交互以及在显示标量分布时与调色板进行的交互。其它交互技术还有立体图绘制。立体图能真实地再现三维空间中的数据场分布, 它让观察者感知到三维空间的存在, 对于突出表达三维对象的分布特性有明显的效果。

§ 1.3 空间信息可视化研究的主要内容

空间信息可视化研究的主要内容和基本过程可归结为如下几个方面。

1. 数据预处理

空间信息可视化处理的数据对象归纳起来主要包括数值数据、几何数据和图像数据等。数值数据又称属性数据, 主要用于表示空间物体对象或现象的名称、类型、等级、性质、强度等质量或数量特征; 从表达形式看, 属性数据又可划分为标量、矢量和张量形式。几何数据又称空间位置数据, 主要用于表示空间物体对象或现象的绝对或相对位置关系, 其表现形式主要包括点、线、多边形和曲面等。几何数据是一类独立变量, 但在大多数情况下又与其表示对象的属性相联系, 这也是空间信息可视化的主要特点之一。图像数据通常以点阵(位图)数据的形式表示客观实体的分布形态, 如卫星遥感图像、航空摄影图像、医学图像、计算机生成的光栅图像等。

数据预处理就是对上述几种数据进行(但不限于)如下几个方面的处理, 以满足可视化图形、图像生成的需要, 即: (1) 数据格式及其标准化处理; (2) 数据变换处理, 如投影变换处理、几何变换处理、坐标变换处理及线性变换处理等; (3) 数据压缩处理; (4) 图像分割与边沿检测; (5) 图像增强; (6) 图像提取; (7) 图像滤波处理; (8) 图像平滑处理等。

2. 数据构模

数据构模主要是针对不同的数据处理对象、不同用户的需求或系统设计目的, 选择或设计不同的数学模型或算法对预处理的结果进行可视化预处理, 如生成二维、三维或四维时空数据以及表面重构或面向物体的重构, 其技术核心主要是前面所讲的几种可视化基本方法。

3. 计算机图形生成

即利用计算机图形学技术将各种数据生成直观、易读的计算机图形, 也包括图像的明暗、阴影和纹理映射处理等。有关计算机图形生成的具体内容请读者参阅文献 [34]、[32] 等。

4. 图形输出

即将可视化处理生成的数据按用户要求显示在计算机屏幕上, 形成二维、三维、四维的直观化图形、图像; 或者将生成的可视化图形直接打印出来; 也可以转换为其它相关系统可读的可视化数据文件。

§ 1.4 本书的主要内容

空间信息可视化涉及到许多领域和研究内容,限于篇幅,本书仅讨论以下几个方面的问题。

1. 首先阐述与本论题相关的空间信息表示、地图信息传输、多媒体技术、科学计算可视化、认知科学等,分析它们与空间信息可视化的内在联系和意义,据此,初步探讨空间信息可视化的相关理论和技术基础。

2. 多媒体数据模型是实现空间信息可视化的重要前提和关键技术,本书将对现有的非第一范式(NF²)方法和超文本模型进行若干扩展,构造并设计了NF²多媒体数据模型和超媒体数据模型,介绍了实现这两种模型的具体实现技术,并给出其应用实例。

3. 在深入分析面向对象多媒体数据模型、NF²多媒体数据模型和超媒体数据模型的基础上,提出另一种新的多媒体数据组织和存贮模型,即基于对象—关系的超媒体数据模型,深入探讨该模型的数学描述及其组织和存贮方式,并通过实验对该模型进行验证。

4. 空间信息的可视化查询是实现空间信息可视化的重要手段,但目前常用的SQL和QBE等查询语言不能直接用于空间信息的可视化查询。为此本书基于关系代数和关系演算的基本原理,设计了一种可视化的空间信息查询语言SIVQL(Visual Query Language on Spatial Information),并深入研究了SIVQL的数学表达及其应用等有关问题。

5. 多媒体和多媒体地图是实现空间信息可视化的基本表现方式,本书对空间信息可视化中的多媒体地图和多种媒体间协同关系的表达与描述以及可视化图标的数学描述、设计及其应用等若干问题进行了讨论和研究。

6. 在原理、方法、技术和理论研究的基础上,本书还介绍了一个基于多媒体技术的可视化地理信息系统——海南综合地理信息系统。最后对新技术条件下空间信息可视化的发展远景也进行了综述。