

文章编号: 1000-0585(2000)01-0015-07

地图可视化研究

秦建新, 张青年, 王全科, 吴健生

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

摘要: 建立在计算机技术基础上的地图可视化是现代地图学的核心内容之一。文章从分析地图可视化的含义出发, 提出了地图可视化研究的一个基本框架, 同时简要分析了地图可视化的特点。认为地图可视化的主要研究领域有: 可视化变量研究、可视化分类研究、时空数据结构研究、视觉感受与视觉效果研究、虚拟现实研究、空间认知与信息传输研究等 6 个方面。最后, 就北京地区地形三维可视化实践作了简单介绍。

关键词: 地图学; 科学可视化; 地图可视化

中图分类号: P28 **文献标识码:** A

近年来, 可视化 (或称科学可视化) 正受到越来越多的重视。这是由于视觉思维在科学研究和日常生活中所发挥的作用日益明显。研究表明, 在人所获取的各种信息中, 通过视觉而得到的占 60% 以上^[1]。因此, 国际地图学会 (ICA) 于 1995 年成立了一个可视化委员会 (Commission on Visualization), 并在 1996 年 6 月与计算机图形学会 ACM SIGGRAPH (the Association for Computing Machinery's Special Interest group on Graphics) 合作, 开始一个名为 "Carto-Project" 的研究项目, 其目的是探索计算机图形学的技术与方法如何更有效地应用在地图学与空间数据分析方面, 以促进科学计算可视化与地图可视化的连接与交流^[2]。1999 年 8 月, 在加拿大渥太华召开的国际地图学 (ICA) 会议上, 对地图可视化的热烈讨论成为这次会议的一个重要特点, 在所提交的论文中, 有近 20% 的论文与地图可视化有关。地图可视化 (以下简称可视化) 已经成为现代地图学的一个核心内容之一。

1 可视化的概念

美国自然科学基金会于 1986 年召开了一个专家特别会议, 会议召集一批著名的科学家、软件工程师、艺术家、硬件制造商来共同讨论计算机可视化的技术发展与研究战略, 专家们一致认为应该把发展可视化工具包括图形、图像处理技术的硬软件和可视化界面工具放在首要位置。在与会专家提交的报告中, 将可视化定义为 "可视化是一种计算方法, 它将符号转化成几何图形, 便于研究人员观察其模拟和计算……, 可视化包括了图像理解与图像综合, 这就是说, 可视化是一个工具, 用来解译输入到计算机中的图像数据和从复杂的多维数据中生成图像, 它主要研究人和计算机怎样协调一致地感受、使用和传输视觉信

收稿日期: 1999-01-15; 修订日期: 1999-10-27

作者简介: 秦建新 (1969-), 男, 湖南永州人。1997 年获北京大学理学硕士学位, 现为中国科学院地理研究所博士研究生。主要从事计算机制图与地图可视化、GIS 及区域可持续发展研究。

息”^[3]。这一定义主要是从计算机科学的视角拟定的,侧重于复杂数据的图形处理与表示的计算机方面,同时将人和计算机对视觉信息的感知行为作为研究的内容。

地图学家主要从认知的角度去认识可视化,如 MacEachren (1990) 等将地图可视化理解为:“首要的也是最重要的是一种认知行为,它是人类在发展意念表示上的能力,这种意念表示有助于辨别模式,创造和发展新次序”^[4]。而 Scott (1987) 则将可视化描述成“一种对意念图像的创建与操作”^[3]。

而按 Philbrick (1953) 的看法,地图可视化把地图当作地理研究或空间分析的工具。Dibiasse持类似的观点,他在 1990年提出了一个在科学研究尤其是地理科学背景下地理可视化的研究框架。他把基于地图的科学可视化定义为科学研究的工具,强调地图在科学研究序列中的作用。这一序列是由探究(exploration)、确认(confirmation)、综合(synthesis)到表示的曲线(图 1)。地图在探究一端的作用是促进人的视觉思考,在表示一端的作用是把研究结果面向公众的视觉传输^[5]。这一框架强调在探究一端地图促进地学视觉思考的作用,从而重建了地理学与地图学的联系。由此可知,可视化相对于地图学而言,并不是什么新东西,只不过是有一种新方法来看待地图学的应用(研究工具),维持地图学重心在视觉传输(过去的 20~30年中重要领域)与视觉思考(地图学在本世纪上半叶的重要领域)之间的平衡^[6,7]。

泰勒强调可视化是技术而不是应用,他以认知(分析和应用)、传输(新的显示技术)、形式化(新的计算机技术)为边组成一个三角形,可视化占据三角形的中心,即认知、传输与形式化的交汇处。他称可视化是“计算机图形学的一个领域”,研究视觉表示的“分析”和“传输”两个问题^[8]。

总之,对于地图学来说,可视化技术已远远超出了传统符号化及视觉变量表示的水平,而进入了一个新阶段^[9]。地图可视化是一门以计算机科学、地图学、认知科学、信息传输学与地理信息系统为基础,为直观、形象地表现、解释、传输空间信息并揭示其规律,关于信息表达、传输的理论、方法与技术的学科。其重点是通过计算机技术、数字技术、多媒体技术,将那些通常难以设想和接近的环境与事物,以动态直观的方式表现出来,从而揭示自然和社会的发展规律,达到认识世界和改造世界的目的。

2 地图可视化的特点

在传统上,纸一直是地图信息的主要载体。纸质地图集数据存储与数据显示于一身,限制了对许多事物和现象的直观表示。地图可视化建立在现代数字技术基础上,实现了数据存储与数据表示的分离。与纸质地图表示相比,地图可视化有以下一些特点:直观性、交

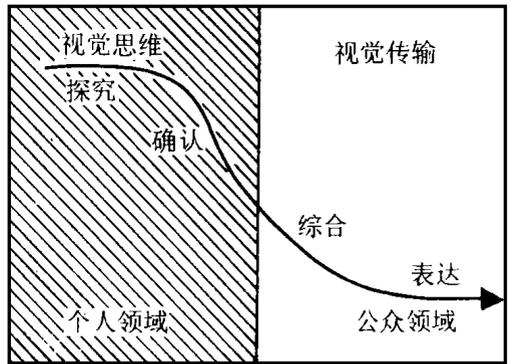


图 1 Dibiase 关于把可视化作为科学研究工具的描述 (第比斯, 1990)

Fig. 1 Dibiase's depiction of visualization as a tool of scientific research (Dibiase, 1990)

互性、动态性、多维性与集成性。

2.1 直观性

现代地图可视化的最重要表现就是其具有直观、形象的特征。它是通过生动、直观、形象的图形、图象、影像、声音等,把各种信息展示给读者。

2.2 交互探究性

在宏大的数据中,交互探究有利于视觉思维。在探究分析的过程中,数据可以灵活地被检索,地图与其它图形可以交互地被改变。通过这种不断变化着的交互探究,潜在的模式和数据异常被发现,正象物理学家 Wolff (1988) 注意到的那样“可视化不应视为科学分析过程的终结,而是探究过程本身”^[10]。

2.3 动态性

纸质地图只是空间信息在运动过程中时间轴上的一个快照,是连续变化着的实在的瞬间记录。而从本质上来讲,空间信息是动态的,是具有时间维的。由于时间维的引入,同时计算机技术的发展,使空间信息的动态表示成为可能。空间信息表达的动态性体现在如下几个方面:一是信息检索的动态性。即用户利用空间信息可视化技术,可以灵活、方便、实时地从空间数据库中查询所需的信息。二是信息表示的动态性。即用户可以根据自己的意愿,用直观化的图形、图像等媒介将所需要的信息实时地表示出来,而且可以动态地修改、编辑加工等。此外,还可借助于动画技术表示某一时段内某种现象的移动与变迁过程,以及借助于视频图像真实地反映某一环境现象的实地状况。

2.4 集成性

多媒体技术与可视化的结合,彻底改变了传统地图信息只能借助于文本、图形和表格来表示和传输空间信息的方式。它集文本、图形、图象、声音、动画、视频等多媒体技术于一体,从而以多形式、多视角、多层次综合表现空间环境信息,极大地丰富了地图可视化的内容,促进了计算机制图可视化发展。

2.5 多维性

这里指的是信息载体的多维性。人类对客观环境信息的获取主要来自于视觉、听觉、触觉、嗅觉和味觉等五种感觉,因此,必须借助于多种媒体形式才能完整、合理地表达和传输空间信息。多媒体技术的发展,使我们不再局限于用表格、图形和文本,而拓展到图像、声音、动画、视频图像、三维仿真乃至虚拟现实,来表达纷繁复杂的客观世界。

3 地图可视化的研究框架

地图可视化虽然是近 10 年才发展起来的,但它的研究进展很快,已取得一些研究成果。总体来说,我们认为,可视化变量研究、可视化分类研究、时空数据结构与模型研究、空间认知与信息传输研究、视觉感受与视觉效果研究、虚拟现实研究等,是地图可视化研究的主要研究领域(图 2)。

3.1 可视化变量研究

传统上有 7 种可视化变量:位置、形状、方向、色彩、纹理、灰度等级与尺寸。但为了表示不确定性与时间维信息,一些学者(如 MacEachren, 1994)将可视化变量延伸到 10 种,如把色彩分成色相(hue)、亮度(lightness)和饱和度(saturation)。这些变量的不同

组合还可以构成其它的表现形式，同时可视化变量在表示空间信息的属性方面是不一样的^[11] (表 1)。可视化变量选取是否妥当将直接影响到地学信息表示的质量，因此十分重要。

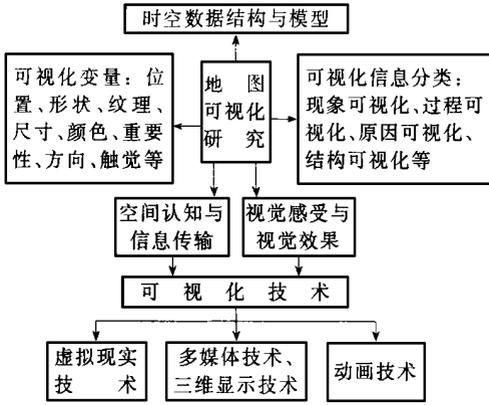


图2 地图可视化研究框架

Fig. 2 The framework on cartographic visualization

表 1 可视化变量的感知性

Tab 1 Perception properties of the visual variables

	联系性	选择性	次序性	数量性
位 置	+	-	-	-
形 状	+	-	-	-
方 向	+	0	-	-
颜 色	+	++	-	-
纹 理	0	+	0	-
灰度等级	-	+	++	-
尺 寸	-	+	+	+

++ 很好; + 好; 0中等; - 差

从形式看，这些都是视觉变量，它们在地学信息表现上有很强的能力。但是，这是不完全的，近来许多学者把包括嗅觉、触觉和听觉在内的各种感觉变量都作为可视化变量的范畴。这大大拓宽了可视化变量的研究领域，同时也极大地丰富了对各种信息的表达。因为一部分有视觉障碍的人，可以通过触觉、听觉、嗅觉等其它方式获取对客观世界的认识。即使对一个正常人来说，这也可以丰富与加深他们的认识与感知。

3.2 可视化分类

从技术复杂性的角度，可视化可分为二类。一类是基本可视化，如图象、等值线、矢量场（流）以及二维地图、影像及其组合；另一类是高级可视化，Brown (1995) 介绍了几种与地学有关的高级可视化方案：动画、虚拟现实、多维可视化、几何模型模拟与立体涂刷（Volume Rendering）等。立体涂刷是一个把多维数据集投影到二维图象平面的一个过程，以获得对立体数据内部结构的理解。

为完成既定的传输目标，可视化的设计者必须确定需要显示哪些信息，以及采取何种方式。促使这一过程实施的可视化分类如下：(1) 现象可视化。以点、局部或全球变量形式记录的自然或人为现象的描述。(2) 超现象可视化。显示某些特征现象的信息集的内容覆盖范围、质量和精度等。(3) 现象变化可视化。描述某一特定时间内现象变化或现象的变化率或其属性之一。(4) 现象间联系的可视化。感兴趣现象之间特有的、基于空间关系（如相关）的显示。(5) 原因可视化。涉及现象的已知的推断的因果关系的描述。(6) 准原因可视化。推断的原因的可信度等的显示。(7) 信息系统结构的可视化。信息系统分析和显示功能的显示。(8) 分析过程可视化。对用以产生特定可视化分析过程的图形的描述。(9) 动机可视化。用于抓住并吸引观众注意力的图形显示。

3.3 时空数据结构、数据模型研究

时空数据结构和数据模型是现代地图学与 GIS 的核心问题之一。地学三维数据模型、多媒体数据模型、超媒体数据模型以及面向对象的数据模型是地图可视化的非常有用的数据模型。

3.4 空间认知与信息传输研究

人类对空间客体或现象的认识是一个非常复杂的过程,为了深刻揭示空间现象或对象的本质与规律,以便于人类更好地认识世界、改造世界,空间信息的传输必须借助于某种规则。直观的视觉化形式或符号,这些符号既易于人脑记忆、辨别、分析,又能被计算机所识别、存储、转换、输出。这样,一方面奠定了认知科学的理论基础——符号加工系统,另一方面建立起了认知科学与空间信息表达的某种必然联系。因为空间信息表达和传输的主体形式之一就是符号。

人类除了对客观环境进行感知、识别、分析、思考等认知行为外,还必须对其进行直观、形象地表达,这就把认知科学与空间信息可视化有机地联系起来。在本世纪90年代初,高俊教授就已将认知科学引入了地图学,提出了心象地图、认知地图等概念^[12]。

3.5 视觉感受与视觉效果研究

据有关研究,人的大脑有一半以上的神经元与视觉相关;而人从外界所获得的信息中,60%以上是通过眼睛得到的。在通过地图可视化系统进行地图认知的过程中,用户主要是通过感受和动机来接受和思考空间信息。但是,所获得的这些信息以怎样的方式进入人的大脑,以及人脑对它们作出怎样的反映,其机制如何,尚待进一步研究。地图的视觉感受过程分为察觉、辨别、识别和解释4个阶段^①。

3.6 虚拟现实研究

虚拟现实(Virtual reality,简称VR技术)也称虚拟环境或人工现实,是一种由计算机生成的高级人机交互系统,即构成一个以视觉感受为主,包括听觉、触觉、嗅觉的可感知环境,演练者通过专门的设备如头盔、数据手套、立体声耳机等,可在这个环境中实现观察、触摸、操作、检测等实验,有身临其境之感,所以又称灵境技术。

虚拟现实在医学、军事、汽车飞行器驾驶训练、娱乐、教育等多个领域和行业得到了广泛的应用。虚拟现实在地图学中的应用尚处于发展之中,但是,在地图学中应用虚拟现实将改变地图的传输方法和功能,改变人类认识世界的方法。这是一种高级可视化,正受到越来越多的重视,将引起地图学的一场变革。

4 实践研究

北京地区西部和中北部为山区,中南部为平原,北部山区有密云、官厅两个大型水库,北京城区位于中部平原。北京地区河流交错,地势起伏相对比较大,高程差最大可达1900m左右,比较适合三维地形可视化。因此,参照《北京电子地图》中三维部分的开发研究,我们构造了一个三维地图设计与可视化系统。

4.1 地图设计和可视化系统框架

从地图学的角度出发,该系统不仅能够对地形进行三维透视,还允许用户对三维地形进行交互操作,专题要素叠加,动画录制和播放,图像叠加以及实时动态浏览等(图3)。

4.2 系统功能与特点

该系统总体上由两大模块组成:系统的前处理模块,系统的用户功能模块

① 杨春成,数字地图可视化研究,中国人民解放军测绘学院硕士论文,1996。

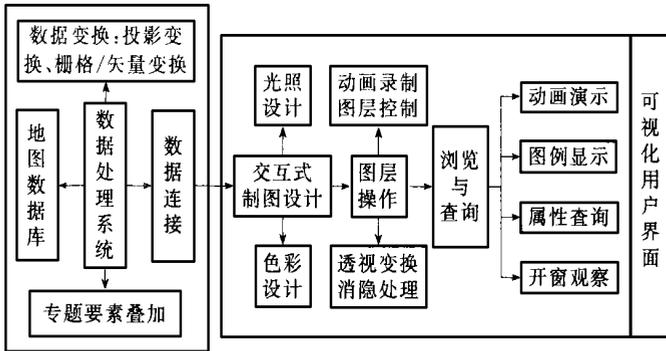


图3 地图可视化系统设计框图

Fig. 3 The framework of cartographic visualization design system

前处理模块应用于数据准备和处理阶段,其中主要完成:(1)系统与大型GIS系统(如MGE、ARC/INFO等)的数据交换,系统除定义了自己的文件格式外,还可输出用以Internet浏览的VRML文件;(2)数据交换,主要指地图投影变换、矢量与栅格数据间的变换等;(3)空间操作,主要包括栅格数据的空间叠加操作以及矢量数据向DEM投影等;(4)动画录制,主要指设定观察线路和观察参数的飞行动画录制。系统在这一部分的开发策略上采用了独立开发与现有GIS和CAD功能相结合的方法,以便利用现有的GIS或制图系统的优秀功能。

系统的用户功能模块为用户提供了一个交互式的可视化界面,用户可以根据需要进行地图设计和浏览,主要完成:交互制图设计,如色彩、光照设计等;地图显示操作,如透视变换、图层控制、遥感图像叠加等;地图浏览和查询等功能,如实行飞行浏览、属性查询等。

系统采用Visual C++ 5.0和OpenGL进行开发,可运行于Windows 95、98以及NT平台。OpenGL是一种三维图形开发的行业标准,可以跨平台移植,并提供了丰富的三维图形操作函数库,可以使用户避免从底层进行光照模型等复杂计算,很大程度上提高了三维图形开发的效率。系统集成了矢量和栅格地图数据、影像数据等,所有的计算和光照显示由OpenGL完成。

4.3 系统在北京地区的应用

为了更好地让用户了解北京地区的地形水系状况,系统采用从总体到局部的可视化策略,除保留全地区外,将地形按行政区与地形特点剪裁为怀柔、延庆、昌平、密云、门头沟和房山6个区,用户可以根据需要来选择具体区域浏览。北京地区的数字地形模型(DEM)主要采用50m×50m和100m×100m两种分辨率,以适应不同的显示需要。其中的三维矢量要素采用的是1:2500比例尺的矢量地图与DEM匹配并投影形成的。北京地区的面状要素如密云、北京城区等,系统首先将矢量多边形栅格化,然后将其与DEM叠加操作以获取其高程和颜色等属性值。平原区高程变化平缓,高程分色间隔值应低于10m才能显示出其平原地带的地势变化。

除上述实时三维观察外,系统还提供了两个预先录制好的三维飞行动画。一段是以北京地区中心为目标,环绕整个地区边界飞行观察;另一段是以飞行方向为视线方向,在北京地区内部作往返飞行观察,用户可在应用界面中播放这段动画,可以更细致地了解北京地区的地形状况。

参考文献:

- [1] 江斌, 胡毓钜. 地图视觉化——现代地图学的核心 [J]. 地图, 1995(2).
- [2] Mac Eachren, Alan M. ICA Commission on Visualization Annual Report [M], 1997.
- [3] McCormik A M, Defanti T A. Visualization in scientific computing [J]. *Computer Graphics*, 1987, **21**(6).
- [4] DiBiase D W. Scientific Visualization in the Earth sciences [J]. *Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University*, 1990, **19** 201~ 214, 265~ 266.
- [5] Philbrick A K. Toward a unity of cartographic forms and geographical content [J]. *Professional Geography*, 1953, **5**(5): 11~ 15.
- [6] Bos E S. Systematic symbol Design in Cartographic Education [J]. *ITC Journal*, 1984, **1** 20~ 28.
- [7] Alan M MacEachren. Visualization in Modern Cartography: Setting the agenda [M]. *Visualization in Modern cartography*. Pergamon Press, 1994. 1~ 11.
- [8] Taylor D R F. Geographic information system the microcomputer and modern cartography [A]. In: Taylor D R F. *Geographic Information System: the Microcomputer and Modern Cartography* [C]. Pergamon Press, Oxford, 1991. 1~ 20.
- [9] 中国测绘学会地图学与 GIS 专业委员会. 地图学与地理信息系统的现状与趋势 [J]. *测绘通报*, 1997(6).
- [10] Wolff R S. Visualization in the Eye of the Scientist [M]. *Computer in Physics*, May/June, 1988.
- [11] Bertin J. *Semiology of Graphics* [M]. The University of Wisconsin Press, 1983.
- [12] 中国测绘学会地图学与 GIS 专业委员会. 地图学与地理信息系统的进展 (1996~ 1997年) [J]. *测绘通报*, 1998 (11).

On cartographic visualization

QIN Jian-xin, ZHANG Qing-nian, WANG Quan-ke, WU Jian-sheng
(The Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Cartographic visualization is one of the focuses of cartography, and is now attracting more and more attention. The paper gives the definition of cartographic visualization in the beginning, and then presents some characteristics of cartographic visualization. The diagram of cartographic visualization research is put forward in the most important part of this paper, which includes six parts. There are research on cartographic visualization variables, research on classification of cartographic visualization, research on spatial-temporal data structure and models, research on the impact of visualization and perception of visualization, research on virtual reality, research on spatial cognition and the communication of spatial information. In the end, a case study on Beijing 3D terrain is introduced.

Key words cartography; visualization in computing science; cartographic visualization