

三维动态交互式可视化模型

——地理信息系统中的三维表示与分析

朱 庆

(武汉测绘科技大学 GIS 研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要 针对当前计算机图形技术的发展和 GIS 多专业应用需求的特点, 本文以吉奥之星(GeoStar)地理信息系统平台为例, 研究了在当前二维系统中如何考虑三维或者 2.5 维表面表示与分析的问题。提出了集成数字高程模型(DEM)、数字正射影像、常规的矢量数据和各种属性信息在一起, 建立一体化的三维数据输入、操作与可视化机制, 并在此基础上提出了二维与三维混合表示的空间查询与分析模型。该模型扩展了可视化概念, 将可视化技术贯穿于整个 GIS 运行过程。

关键词 动态; 交互式; 可视化; 三维表示与分析; GIS

分类号 P208

地理信息系统正被越来越多的专业广泛采用, 但也面临着一个 GIS 难以使用的问题, 因此, GIS 只有提供一个多媒体形式的综合的解决方案, 才能满足具有各种专业技术背景的终端用户的需求。在这样一个数字环境里, 如果空间查询与分析等广泛用来提供辅助决策用的进一步信息, 以一种动态的交互式的三维的影像形式表现出来, 而不仅是用传统的基于特征的数据集的形式甚至诸如地图这样的二维的静态的非交互式的显示, 那么即使像汽车驾驶员、旅游者、警察等这样的用户, GIS 也是十分有效且富有吸引力的工具。现在的 GIS 已经能够利用普通的桌面型甚至膝上型微型计算机和标准的软件系统来完成各种逼真的图形显示与处理, 且能集成和操纵实时三维图形、声音与视频数据等多媒体信息, 从而可望借助于仿真的视、声和力学感应等, 为 GIS 的终端用户创造一个能实时漫游的虚拟现实环境^[1]。

1 三维动态交互式可视化模型

基于 DEM 的三维可视化有助于用户对空间数据相互关系的直观理解, 但笔者认为只把三维可视化模型作为信息表示的一种输出媒体是远远不够的。对于各种各样的 GIS 用户来说, 往往需要直接将其作为可交互查询的媒体, 即 GIS 中的三维模型不仅能可视化, 还能交互操作。基于这样的三维模型, 便能提供一个动态的环境, 用以在相应空间氛围里逼真创建和显示复杂物体, 并为进

一步的空间决策服务(见图 1), 诸如环境仿真、设施管理、洪水淹没与火灾蔓延等复杂的模型分析和辅助决策更需三维可交互动态模型的支持。

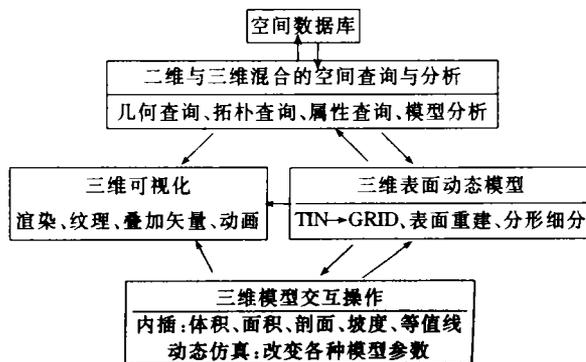


图1 三维动态交互式可视化模型

Fig. 1 3D Dynamic Interactive Visualization Model

1.1 基本的数据流

1.1.1 空间数据库及空间查询和分析

传统的二维系统往往只注意单一的数据流向, 即从数据库检索所需的信息, 而本文则强调对数据库的更新问题。当然, 这里的数据库可能是服务器上的源数据, 也可能只是客户端的临时数据, 其差别在于用户具有不同的操作权限。比如, 对于直接来源于摄影测量和地面测量的数据, 每一个对象往往都具有完整的三维坐标; 而从既有地图数字化获取的数据, 则只有等高线和少量地形点高程信息。在进行三维查询和分析的过程中, 有必要通过 DEM 内插及时补充第三维的信息。

1.1.2 空间查询和分析及三维表面动态建模和交互操作

为了更加直观地理解空间查询和分析的结

果,提高空间分析的水平,有必要恢复三维空间关系,并进行透视显示,而三维表示的前提则是建立三维表面模型。由于需求不同,提出的问题千差万别,因此,基于来自查询或分析的不同数据,快速建立各种相应的表面模型十分关键,特别是基于三维模型。在透视空间里还应该能实现常规二维空间的基本操作,如几何量测和拓扑关系查询等。并且,操作的结果还可以进一步重新建模。

1.2 多媒体数据集成的空间数据库系统

传统二维的 GIS 由于数据模型的局限,第三维信息如高程往往作为属性信息看待,从而制约了其灵活应用,并导致三维表示与三维分析功能及其它 GIS 基本功能之间的单向数据传输(如 Arc/Info)。因此,现有的大多数商业 GIS 软件,只能把三维表示作为有关空间查询与分析结果的辅助说明,这种三维表示是静态、不可交互的。由于不同的终端用户希望能直接在直观逼真的透视环境里进行各种空间查询与分析决策,而不只是面对单调难懂的平面图形或数表,这首先就对传统二维 GIS 的空间数据模型、数据结构和数据管理提出了严峻的挑战。在三维 GIS 还有许多问题没有解决的时候,GeoStar 将所有的矢量对象均设计为三维空间目标,即其空间位置信息包括 X 、 Y 、 Z 3 个坐标分量,直接将常规的二维平面坐标数据模型推广到三维空间,并引入数字高程模型 DEM 和正射影像数据,其它复杂的声、视、图多媒体数据和三维空间拓扑关系描述则通过简单的数据库关联方法暂时加以解决。这种数据模型为后续的三维操作提供了基本保证。

1.3 二维与三维混合的空间查询分析

二维操作的优点是可以无级放大、选择唯一和定位准确等,而三维操作的特点则是空间分布关系直观明了。所以,不同的应用目的往往需要这两种方式的交替运作,而不是单一的某一种。三维查询与分析最一般的要求是要将指定的矢量目标或结果叠加在三维模型上进行显示,或者直接从三维模型上选择目标进行查询与分析。为此,GeoStar 将常规二维空间的操作算子如几何量测和拓扑关系查询等扩展到 2.5 维空间(表面积、剖面、周长、距离、体积、坡度、坡向、可视域、相邻、包含、相交、相离等),使得在透视空间也能实现各种空间查询与分析。对于 2.5 维的几何量测算子的实现,关键是对三维坐标的检索与内插。而要将二维拓扑关系的查询算子推广到 2.5 维,包括两个基本步骤:首先从透视屏幕空间变换到三维真实空间,再使用常规二维空间的空间索引和数据检索策

略。

1.4 三维表面动态建模技术

复杂特征目标的三维表示需要有效的表面建模技术,为此在 GeoStar 中混合使用基于不规则三角形网(TIN)和方格网的表面描述方法。采用 TIN 结构,可以灵活、逼真、快速地建立具有任意边界形状的目标模型,这对于空间查询和分析结果的三维表示极为重要。关于 TIN 的快速建模与更新将在另文详述。GeoStar 同时提供了基于“移动曲面法”的快速随机-栅格转换功能,可以利用随机分布的等高线和地形点等数据内插方格网 DEM,为后续空间操作提供基本的第三维数据。

1.5 数据内插引擎

数据内插是三维可视化模型的核心,也是实现模型交互操作的前提。该模型有两种不同的内插机制,即在同一个物理空间(如屏幕空间、透视空间或者实际三维空间)里的内插和在不同物理空间之间的内插(从世界坐标到透视坐标或者从透视坐标到屏幕坐标等)。首先要实现对所有要素的三维表示,必须要有第三维的信息,而一般的矢量数据即使是原有数字化数据往往也只有平面坐标。再有,许多常规分析查询结果如缓冲区边界和叠置产生的区域边界等也不会有第三维的信息。所有这些第三维信息都必须依靠系统动态地根据 DEM 内插计算产生。另外,在三维透视空间进行各种空间查询和分析操作也都离不开数据内插。比如,要在透视表面模型上选择某一特定的目标,可以用鼠标点取该目标的任意位置。但是,由于在透视空间的屏幕坐标和实际的三维空间坐标之间不存在一对一的关系,因此,必须要有可靠的内插机制。为了完成某一种操作,常常要进行多次从屏幕坐标到地面坐标和从地面坐标到屏幕坐标的内插计算。为此,GeoStar 三维可视化模型提供了所谓“基于三角形单元的扫描线增量法”内插引擎。

如图 2 所示,令 A 、 B 、 C 各点的空间坐标为 (x, y, z) , $(i=A, C)$, 这里的 z 参量泛指位置 (x, y) 处的属性值,它可能是高程,也可能是灰度等。如果已知 3 个顶点的属性值,要内插该三角形内任意位置 p 处的属性值,那么先用顶点的坐标值线性内插当前扫描线 $(y=y_k)$ 与三角形的边之交点 $(L$ 和 $R)$ 处的值:

$$z_L = z_A + (y_k - y_A)/(y_C - y_A) \times (z_C - z_A)$$

$$z_R = z_A + (y_k - y_A)/(y_B - y_A) \times (z_B - z_A)$$

位于 L 和 R 之间的点 p 的灰度不是用常规的线性内插方法进行计算,而是用增量法沿扫描线从左到右逐一进行计算。任一点 p 的属性值为其前

一位置处的值加上该扫描线上的增量:

$$z_p = z_{p-1} + \Delta z, (p = 1, x_2 - x_1)$$

其中, $z_0 = z_L, \Delta z = (z_R - z_L) / (x_R - x_L)$ 。

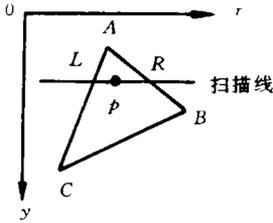


图2 扫描变换

Fig. 2 Scanning Conversion

由于扫描线增量法充分利用了沿扫描线的连贯性质(scan-line coherence),避免了对整个三角形面的逐点判断和反复求交运算,大大减少了计算工作量。这一内插机制主要用于不同空间坐标系之间的数据转换,如从世界坐标到屏幕坐标,反之亦然。

特别地,如果在透视空间集成显示影像数据,还可以人机交互式地从该模型上采集三维空间信息,即直接从模型得到特定目标的属性和三维空间坐标,从而为系统提供一种简便的一体化的数据采集与更新手段。基于这一思路,GeoStar 正被用于建立我国省级1:10 000基础地理信息系统框架的示范研究^[2]。

1.6 金字塔层次结构与三维可视化策略

图形显示效果与计算效率往往相互矛盾。由于计算机图形显示分辨率和人眼感官的局限,显示图形的信息容量总是有限的,也就是说,当计算的复杂程度增加到一定量的时候,计算机显示图形的变化将趋于零。因此,对于利用有限的个人计算机资源来完成复杂的三维逼真可视化任务,有必要在这之间求得一种平衡或者说折中。

当前二维 GIS 的重点还只是对大量矢量与属性数据的管理与操作。数字地面模型的加盟,一方面可以补充三维表面分析的功能,同时还在于增加对 GIS 各种空间查询与分析的三维表示,以便不同用户更好地理解各种空间分布关系。对于一个较大型的数据库,要实现整体与局部灵活交替的漫游操作,如果不考虑层次结构,其交互效率是无法想象的。与表达二维矢量数据的层次关系相比,建立合适的具有不同细节的 DEM 层次体系则要困难得多。为此,与矢量数据的层次结构相对应,在 GeoStar 中设计了多尺度 DEM 的金字塔层次结构。对于不同层次的矢量数据,通过对象标识码 OID 即可识别,不用重复存储;相反,不同层次的 DEM 则分别属于不同的数据库,其中,最

底层的 DEM 为基本数据库,属于 GIS 的原始数据,允许具有多重分辨率、多数据源特性;而其余各层次的 DEM 则均从基本数据派生而成,通过数据融合,同一尺度的数据层具有一致的空间分辨率。为了提高对不同层次数据进行查询、显示与分析应用的效率,用金字塔结构组织多尺度数据,并利用分块阵列组织同一层次的数据,而在不同层之间建立相互引用机制。层→块→行列的层次结构组成了 DEM 数据的空间索引,它允许对数据的快速存取而不管其多大,且具有无缝性。这样,当需要观察整体概貌时,可以快速调取最上层最低分辨率的数据,而无须从庞大的底层数据库在线抽取数据。如果要了解局部的细节,则根据区域大小可以漫游不同层次不同分辨率的数据。

2 GeoStar 中的三维表示与分析

上述思想在吉奥之星(GeoStar)的两个版本(Windows 和 Windows NT)中均有体现。特别在 Windows 16位版本中,笔者从最底层进行光照模型计算、矩阵变换等一系列三维坐标变换和三维图形明暗绘制的处理,实现了动态交互式模型的基本框架。在这个版本中,由于所采用的软硬件平台和数据组织的局限,三维可视化模型与矢量数据和属性数据的处理相互独立,不论是数据库还是交互操作都没有集成在一起^[3]。

而基于 Windows NT 的新版吉奥之星,基于客户/服务器体系结构,采用集成的数据库(包括矢量数据、属性数据、DEM、数字影像以及各种语音和视频图像等),并且,所有三维操作均在 OpenGL 环境下实现,从而避免了从底层进行光照模型计算、矩阵变换等一系列三维坐标变换和三维图形明暗绘制的处理,在很大程度上提高了图形处理的效率,并能使用标准的图形加速卡,使得借助于普通微机实现三维地形动态生成与准实时动态漫游成为可能。因此,系统的设计开发主要致力于各种复杂的数字建模、交互操作、动态变化以及模型仿真等。该系统可望用于有关的实际工程,诸如环境影响分析、土木工程规划与设计、洪涝灾害和森林火灾应急响应等。

3 应用范例

图3所示为吉奥之星可视化应用的一个标准界面。这里的三维可视化模型的显著特点是其可操作性,GIS 常规的空间查询与分析都可在这样

一个动态的真实感环境里完成。二维平面显示与三维透视显示之间可以自由切换,能满足不同的应用需求。图4所示为三维缓冲区分析结果。

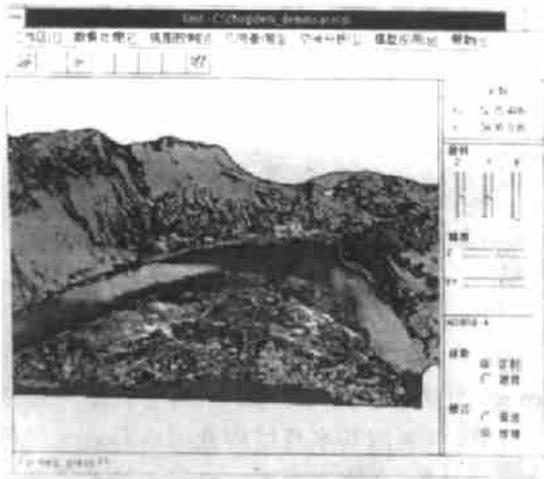


图3 吉奥之星三维可视化界面

Fig. 3 The Interface of 3D Visualization for GeoStar

4 结论

在当前真三维GIS尚未出现的时候,本文提出的动态交互式可视化模型,有助于二维GIS面对不同用户对三维可视化要求越来越高的挑战。



图4 三维缓冲区分析

Fig. 4 3D Buffering Analysis

同时,本文的模型扩展了传统二维GIS中可视化的概念,更加突出了其动态性和可交互性。特别是将常规二维空间操作算子扩展到2.5维,为研究真三维空间操作提供了有益的尝试。

参考文献

- 1 Shand P J, Ireland P J. The 1995 European GIS Yearbook. Blenheim, 1996.
- 2 龚健雅. 建立我国的基础地理信息框架. 中国测绘, 1997(4): 30~32
- 3 Zhu Qing, Li Deren, Gong Jianya. Fractal-Based Modelling and 3D Visualization for GIS's Spatial Query and Analysis. GIS AM/FM ASIA'97 & GeoInformatics'97, Mapping the Future of Asia Pacific. Taipei, 1997. 851~854

3D Dynamic Interactive Visualization Model

— Three Dimensional Representation and Analysis for GIS

Zhu Qing

(Research Center for GIS, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract The problem of how to deal with the three dimensional representation and analysis of terrain surface within the two dimensional GIS, such as GeoStar, is examined in this paper. It is stressed that the concept of visualization is expanded into the whole GIS system. It's much more than visualization, i. e. it enables the data-input more flexible, data interpolation more powerful, model viewing and manipulation capabilities more highly interactive. The author proposes integrating DEM and digital orthographic image with the basic data of 2D GIS to provide 3D realistic environment for geo-referenced multidiscipline applications.

Key words dynamic; interactive; visualization; 3D representation and analysis; GIS