

# 数字三维地形技术

张柯

(湖南省基础地理信息中心, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 数字摄影测量学与现代信息科学的结合产生了数字三维地形技术, 使人们能够借助计算机技术在三度空间完成对地形形态数字化的真实描述。获取数字三维地形成果主要涉及数据来源、采集模式和生产流程3个方面。可视化与虚拟现实技术使数字三维地形成果具有真实的效果和强烈的临场感。查询、分析、仿真等功能的实现使数字三维地形技术有广泛的应用价值。

**关键词:** 数字三维地形; DEM; 可视化

**中图分类号:** P231.5

**文献标识码:** A

## 1 发展概况

地形图是借用二维介质表示和描述地形三维形态的基本方式。随着测量学、天文学、地理学、制图学和现代数学的发展, 地形图表述地球空间环境的手段和方式也日渐完美和丰富, 其科学性、严密性和可量测性使其成为科学研究、生产活动及人们日常生活的重要工具, 然而他的抽象性和不直观性也造成了种种不便。人们不断寻求更适合生理视觉习惯的地形描述方法。制图学史上曾先后出现过写景法、晕渲法和分层设色法等多种描述三维地形的的方法, 其表达介质仍为二维形式, 最终都因不严密性和不可量测性而无法得到推广。我国古代军事家在东汉时期就曾利用堆米法来描述战场地形, 这种方法发展至今就是人们常见的沙盘和所谓实景模型, 它虽然直观但制作成本高、费时费力, 只能一次性使用和制作、不可量测且无法做有效的定量分析。20世纪中叶以来, 数字摄影测量学和地理信息学、现代数学等相关学科的发展与计算机技术的结合, 产生了数字三维地形技术, 其衍生的4D产品, 即DLG(数字线划图)、DEM(数字高程模型)、DOM(数字正射影像图)和DRG(数字栅格图)已逐步推广运用到国民经济建设当中。

## 2 技术环境和模式

随着大量图形显示引擎的涌现, 使数字摄影测量能通过计算机分析和处理数字影像及其相关数据, 获取被摄物体的三维空间信息数字产品。获取数字三维地形成果主要涉及数据来源、采集模式和生产流程3个方面:

### 2.1 数据源

数字三维地形的数据源分为矢量型数据和栅格型数据。

矢量数据一般分为点、线、面3类, 都包含有点数、属性和坐标串。其主要指等高线矢量、地形特征点线矢量、地物要素矢量以及用线框或离散点阵表示的DEM。

栅格型数据主要指纹理图像数据和用纹理方式表示的DEM。常见的纹理图像有航空遥感图像、扫描后获得的地形图图像和其他诸如植被之类的纹理图像。

矢量型数据与栅格型数据中最重要的是DEM。因为数字三维地形要达到直观性和可量测性的统一主要依赖于DEM的质量和精度。

矢量型DEM的数据组织形式分为Grid(规则格网)和Tin(不规则三角网)两种。Grid型DEM是一种XY平面等间距排列地面点XYZ三维坐标的数据形式,其优点是组织结构简单,算法处理速度快,适用于表现起伏变化平滑的地形;缺点是遇到平缓地形时会产生大量冗余数据,表现起伏变化剧烈的地形时要靠缩小格网间隔才能达到精度,但因此会成倍地增加数据量。Tin型DEM地面点XYZ三维坐标的排列完全等同于原始采样的离散点,它不但含有地面点XYZ三维坐标,而且含有三角网构网的拓扑信息,能够保持原始采样数据的精度,描述地形细致而合理,适用于表现起伏变化剧烈的地形,特别是城市三维景观的表现。Tin型DEM的数据结构较为复杂,在一定程度上影响了算法的处理速度。

## 2.2 数据的采集模式

数字三维地形数据采集的最终目的是为了获取DEM,其主要模式有3种:

(1) 野外实地测量。利用野外测量仪器,实地选择地形特征点、线作为采样点,测量其大地三维坐标,将数据记录并存储在计算机中,通过专业软件生成DEM。该方法适用于要求精度高、范围小的DEM数据,但劳动强度大、效率低,不宜规模化生产。

(2) 地图扫描矢量化。将地形图扫描成数字图像,经变换纠正后利用专业软件自动或半自动化将其转换为矢量数据,赋予其属性编码,最终获取DEM。该方法能够充分利用原有的地形图成果,因而生产成本经济低廉、采集速度快,易于批量作业。该方法的缺点是精度不易控制而且现势性不强,不适应质量、精度要求高的DEM。

(3) 航空摄影测量。是高技术环境的产物,代表了数字三维地形技术的主流,能大规模和大范围获取数字三维地形数据。它是利用航空、航天技术获取的航空遥感像片在解析测图仪或全数字摄影测量系统上根据摄影测量原理进行匹配、采样,自动或半自动直接获取高精度的DEM。

## 2.3 生产流程

产生数字三维地形需经过数据采集和DEM获取两个过程。要完整地实现数字三维地形还需经DEM构模和纹理贴图两个环节。

DEM构模和纹理贴图是使数字三维地形具有"直观性"的重要步骤。构模实际上就是采用某种算法使DEM格网具有封闭"面"的特征,纹理贴图则是将这些封闭面实现像素填充和RGB图像映射,达到不同程度的仿真效果。数字三维地形的生产流程如图1所示。

# 3 可视化技术与数字三维地形

完整的数字三维地形成果必须达到直观性和可量测性的统一。目前市场上提供的一般数字三维地形产品尚未做到这两者的统一。如:正射影像地图(DOM)很直观但做不到三维可量测;纯DEM产品则是作为数据存储于计算机中,仅供计算时调用。数字三维地形实现直观性和可量测性的统一必须与计算机可视化技术相结合。性能越来越高的计算机软硬件已经完全能使数字三维地形达到三维可视的目的。

## 3.1 数字三维地形可视化的基本过程

(1) DEM构模。将DEM子格网构分为面要素,以便作填充或图像映射。

(2) 透视投影变换。根据视点、视角、视场和三维图形大小等参数建立DEM结点与三维

图像点间的透视关系。

(3) 建立光照模型。由透视投影关系逐点计算每一像素的颜色和灰度,使模型能逼真地反映地表明暗和颜色的变化。

(4) 消隐和裁剪。利用消隐算法处理三维图形被遮挡处,将落入屏幕之外的图形裁切掉。

基于DEM的光照模型要求具有较好的立体视觉效果,同时计算数据量要小,以保证较快的绘制刷新速度。光影追踪法能够模拟全局光照效果,且能自动消隐,但它对每一根投影光线与景物对象之间都要进行求交计算,因此明显地限制了计算速度。随着算法研究的深入和计算机速度的成倍提高,光影追踪法已经普遍运用到基于DEM的光照模型绘制,其基本原理是:①以模型点所在格网的4个角点拟合的平面方程代替 $Z=Z_0$ 水平面方程进行求交计算,以保证迭代的进度和结果的精度;②根据屏幕像素点连续的特点,充分利用地形点的连续性,动态确定初始值 $Z_0$ ;③计算模型点与所在格网角点构成的4个三角型面素的灰度值,以距离作权倒数,取加权平均后的灰度值作为相应像点的光亮度。因为是以过所在格网结点的倾斜平面取代水平面与投影光线求交,求解的结果很稳定。

### 3.2 基于纹理映射和航空遥感影像的数字三维地形可视化

运用模拟仿真算法产生的地表纹理,其真实性有一定的局限性。引入纹理映射算法可使数字三维地形可视化产生真实性更好、信息更加丰富、现势性更强的效果。

纹理映射的基本方法是寻找目标区的纹理图像,根据图形与图像间的映射关系,将其“贴”到三维地形表面。实际运用中的差别主要在于采用何种纹理图像源。获取纹理图像的途径通常有以下几种:

- (1) 以目标区的地形图或其他专题图的扫描影像作为纹理图像;
- (2) 将目标区的矢量数据与地貌纹理复合生成纹理图像;
- (3) 从各类专业摄影图库中取材、编辑生成纹理图像;
- (4) 实地摄影获取目标区的纹理图像;
- (5) 从航天、航空遥感影像中获取目标区的纹理图像。

### 3.3 虚拟现实与数字三维地形动态可视化

随着计算机图形处理性能的不断提高,数字三维地形可视化技术正向动态实时显示、交互式控制和强烈临场感的方向发展。众多图形显示引擎(如OpenGL)的涌现得以实现利用虚拟现实技术交互式地控制三维地形的动态显示,真实复杂的三维地形使人如同身临其境。虚拟现实技术与数字三维地形技术的结合能够利用地理空间数据建立一个逼真、实时、可交互

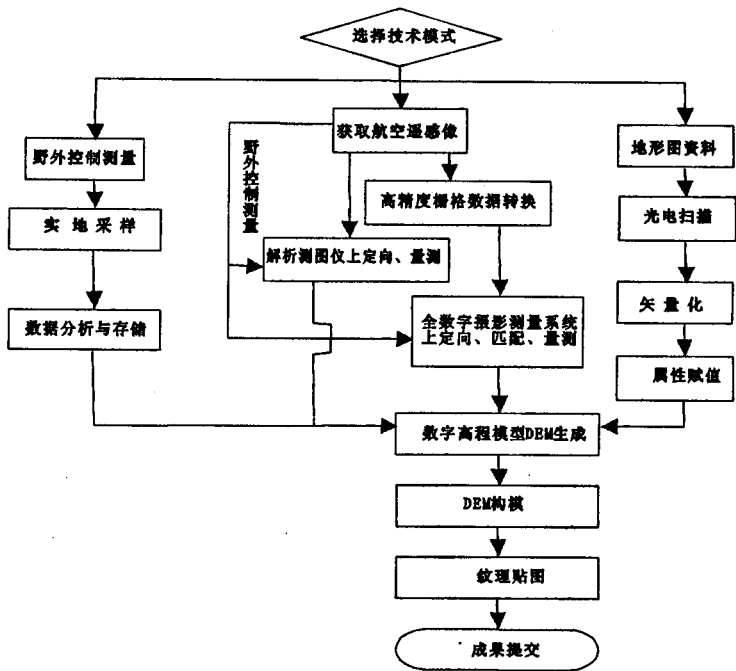


图1 数字三维地形的生产流程

Fig.1 The production procedure of the three-dimensional digital topography

的地形环境并完成一系列的具体应用工作。

## 4 数字三维地形的应用

数字三维地形产品的可量测性使其具有一般地形图产品所不具备的应用价值。其可量测性可通过两个技术途径来实现: 一是建立数据库或数据文件, 实现对目标的空间查询; 二是由透视投影变换关系进行求交计算, 解算出目标点的空间坐标。

基于上述实现可量测性的技术基础, 使数字三维地形产品具有以下基本定量分析功能:

(1) 点的空间三维坐标查询; (2) 点间的空间、平面、沿地表面距离查询; (3) 地表面积和其平面投影面积。

通过对数字三维地形产品作进一步的开发利用, 我们可以进行许多地形因子的分析计算。如: 断面图绘制; 开挖与回填分析计算; 坡度、坡向分析计算; 净空和通道分析; 通视分析; 缓冲区分析; 淹没分析; 基本建设规划分析等等。具体可运用于国民经济各部门诸如环境仿真、市政规划、物业管理、条件选址、灾害分析等领域。

## 5 结 语

数字三维地形技术在国民经济各领域有着广泛的应用价值和广阔的应用前景。特别是将三维可视化技术与虚拟现实技术有机地结合起来, 可以完全再现管理环境的真实情况。采用矢量数据和栅格数据混合管理的数据结构并定义各类三维实体的属性就能提供完善的空间分析功能。它的量化环境将给规划、设计、管理决策部门带来极大的方便。产品所具有的动态浏览、定量分析等功能使人们能足不出户地观察和预见结果与事件, 其附加值得到很大的提升, 可为科学管理、决策提供强有力的保证。

### 参 考 文 献

- [1] 王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京: 测绘出版社, 1979.
- [2] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996.
- [3] 李德仁. 大有希望的数字摄影测量技术[J]. 测绘通报, 1992, (1) (总第178期).
- [4] 李锦涛, 等. 虚拟环境技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [5] 徐青. 地形三维可视化技术[M]. 北京: 测绘出版社, 2000.

## THE TECHNOLOGY OF THREE-DIMENSIONAL DIGITAL TOPOGRAPHY

ZHANG Ke

(Hunan Provincial Geomatics Center, Changsha Hunan 410004, China)

**Abstract:** The technology of 3D digital topography, being developed with combination of digital photogrammetry and modern information science, helps people to describe truly in digital the topography in the 3D space with the aid of the computer technology. To gain the 3D digital topographic results mainly involves three aspects such as the data source, the processing mode and the production procedure. Visualization and the technology of virtue reality make the digital 3D topography results have effects as if it was physical and strong on-the spot sense. With the realization of functions such as retrieval, analysis and simulation, the digital 3D topography technology has extensive prospects of application.

**Key words:** 3D digital topography; DEM; Visualization