

文章编号:1671-6833(2010)03-0042-04

基于 ArcGIS 和 VTK 的等高线地形图三维可视化研究

苏智剑, 王 瑞, 朱高杰

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 提出一种由等高线地形图生成三维地形图的方法. 首先对等高线地形图进行数字化处理, 获取离散点高程数据, 并采用克里金插值法获取数字高程模型; 然后以 Visual Studio 2008 为开发平台、VTK (Visualization Toolkit) 为工具生成三维地形; 最后用实例验证了所提方法的有效性.

关键词: 等高线地形图; 三维地形; 克里金插值; 数字高程模型; VTK

中图分类号: P208

文献标识码: A

0 引言

由于二维等高线地形图具有集中地表示地形的起伏形态、所包含的线划形式单一以及便于携带等特点, 长期以来, 在军事和工农业生产中应用十分普遍. 随着计算机软硬件技术和信息处理技术的飞速发展, 传统的纸质地图在存储、更新、信息传输等诸多方面表现出明显不足, 这样三维电子地图应运而生, 它具有可视化程度高、动态感强、存储和查询方便等优点. 将纸质等高线地形图进行数字化来获取三维地形图是一种简捷、有效且成本低廉的手段, 文献[1]将数学形态学方法运用于 CCD 扫描等高线图的自动矢量化及数字高程模型(DEM)的建立; 文献[2]提出了基于边值条件与知识辅助的等高线栅格矢量化自动途径; 文献[3]提出等高线扫描图像的高效自适应识别方法.

由于现用的等高线地形图基本上都是 1980 年代测绘出的产品, 日积月累引起地形变化会导致反映实地地形的失真. 这样采用等高线信息计算机自动矢量的方法就不能满足实际需要地形精度要求. 有鉴于此, 笔者采用地理信息系统软件 ArcGIS 9.3 对扫描后的等高线地图进行数字化, 并获取 DEM(数字高程模型)文件, 最后使用可视化类库 VTK 完成三维地形图的生成. 该方法在充分利用等高线高程信息的基础上结合实地地形测绘提高了地形图数字化的精度, 为生成良好的三维地形图打下基础.

1 基于 ArcGIS 获取 DEM 文件

1.1 地形图等高线信息的数字化

基于地理信息系统软件 ArcGIS(包含 ArcMap、ArcCatalog、ArcScene 等模块)来完成等高线的数字化, 数字化流程图如图 1 所示.

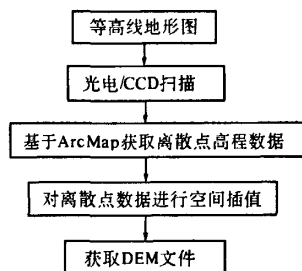


图1 等高线地形图数字化流程图

Fig.1 Digital flow of contour map

用 ArcMap 打开扫描后的地形图, 在地图配准和坐标系设置完成之后, 打开 ArcCatalog, 新建一个 shapefile 文件, 图层类型设置为点图层, 设置图层坐标系和地图坐标系保持一致. 将建好的该图层加载到 ArcMap 中, 对该点图层的属性进行设置并加载高程(z)字段, 数据类型设置为 double. 由于已知等高线上的高程, 所以在编辑点图层属性的过程中选用等高线上的点, 并设置其高程值. 为了更好的反映实际地形的变化以及减少数据冗余, 在等高线曲率较大的地方应多获取一些离散点, 在等高线曲率较小的地方应该适当少取

收稿日期:2009-12-30; 修订日期:2010-01-22

作者简介: 苏智剑(1963-), 男, 辽宁黑山人, 郑州大学教授, 博士, 主要研究方向为机械 CAD 和计算机图形图像处理, E-mail: szj@zzu.edu.cn.

一些离散点. 获取的离散点高程数据如图 2 所示.

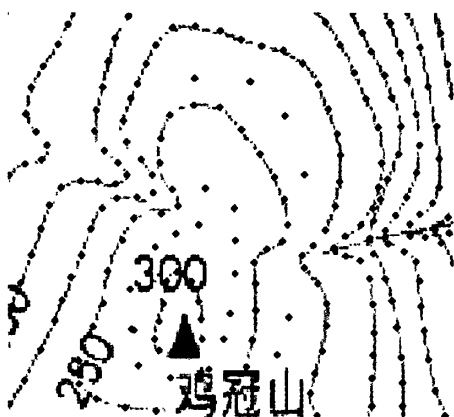


图2 离散点高程数据

Fig.2 Elevation data of discrete points

如果仅选取了等高线上的点,对于等高线以外广大区域的地形精度就很难得到保证.为了提高地形图数字化的精度,笔者对一些特殊的区域,如山顶、山脊、山谷、盆地等,进行实地测绘,测得其地理坐标和高程值,并在 ArcMap 中编辑输入.

1.2 DEM 空间插值

DEM 空间插值是根据已知数据点可以近似地代替一定区域内的表面空间形态的数学模型. ArcGIS 常用的插值方法有反距离加权 (IDW) 插值、自然临近插值、克里金 (Kriging) 插值、简单样条函数插值等方法. 空间插值没有绝对的最佳方法,在运用插值方法时,要得到理想的空间插值效果,必须针对不同的情况,对实测数据样本点进行反复试验比较,以选择最佳的方法,笔者选用克里金 (Kriging) 插值方法^[4].

克里金 (Kriging) 插值方法又分为普通克里金 (Kriging) 方法、泛克里金法 (Universal Kriging)、指示克里金法 (Indicate Kriging)、析取克里金法 (Disjunctive Kriging) 等. Kriging 插值方法着重于权重系数的确定,从而使内插函数处于最佳状态,即对给定点上的变量值提供最好的线性无偏估计.

对于普通克里金方法,其一般公式为 $z(x_0)$
 $= \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i)$, 其中, $i=1, 2, \dots, n$; $z(x_i)$ 为 n 个样本点得观测值; $z(x_0)$ 为待定值, λ_i 为权重,权重由克里金方程组

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i c(x_i, x_j) - \mu = c(x_i, x_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

决定. 其中, $c(x_i, x_j)$ 为测站样本点之间的协方差; $c(x_i, x_0)$ 为测站样本点与插值点之间的协方差; μ 为拉格朗日乘子. 插值数据的空间结构特性由半变异函数描述,其表达式为

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (2)$$

其中, $N(h)$ 为被测距离区段分割的试验数据对数目,根据试验变异函数的特性,选取适当的理论变异函数模型.

由于等高线地形图的信息量有限,我们不可能获取更多点得高程,所以采用插值方法来计算等高线以外点的高程就非常必要了,实验证明经高程点内插后的三维显示效果更加逼真.

1.3 DEM 文件的格式化

打开 ArcScene, 导入在 1.1 节中创建的 shapefile 文件,在 3D 分析模块中对离散点高程数据采用克里金插值获取 DEM 文件.

随着 DEM 应用领域的扩大、数据供应商的纷纷出现,不同共享系统、不同数据模型、不同数据结构、不同行业标准的 DEM 及其相关数据已成为急需解决的问题^[5]. 为此,各个国家、地区纷纷制定了相关领域的 DEM 数据共享原则和交换标准,如美国地质调查局 (USGS) 出品的 DEM 数据,中国国家交换格式 (NSDTF) 的 DEM 数据. USGS DEM 数据在国际国内都有着很广泛的用途,它的数据产品种类有 7.5 - 分 DEM (一般采用 30 m 网格间距)、30 - 分 DEM (2 s 间距)、1 - 度 DEM (2 s 间距). 为了后续显示方便,笔者把 ArcGIS 下的 DEM 文件转化为 USGS 格式的 DEM 文件^[6].

2 三维地形的显示

2.1 VTK 支持下三维地形可视化技术实现

VTK (Visualization Toolkit) 是一个用于可视化应用程序构造与运行的支撑环境,它在三维函数库 OpenGL 基础上,将一些常用算法和细节屏蔽起来,以类库的形式给开发工作以直接支持,提高了工作效率. 用面向对象技术的对象模型图表示 VTK 的框架结构,如图 3 所示.

VTK 采用流水线 (pipeline) 机制,几乎可以对任何类型的数据进行处理,我们可以根据需要建立自己的可视化流程. vtkObject 是 VTK 的基类,它为整个可视化流程提供基本方法; vtkSource 是 vtkObject 的派生类和 vtkFilter 的父类,它为整个可视化流程定义具体的行为和接口, vtkFilter 是 vtkSource 的派生类,它接收数据源中的数据,将

原始数据转换为可以直接用某种算法模块进行处理的数据;vtkMapper 是所有 Mappers 的基类,从 Filter 接受数据,为原始数据与图像数据之间定义了接口。然后用 vtkActor 类来表达绘制场景中的一个实体,将几何数据的属性告诉绘制对象,最后用 vtkRender 类显示结果^[7]。

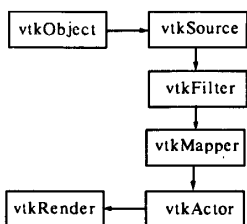


图 3 VTK 的框架结构

Fig. 3 The framework of VTK

VTK 用于地形可视化的算法有很多,每种算法有其各自的优势,主要用到直接组织法、等高线生成法、三角生成法、Delaunay 三角网生成法以及数字高程文件读取法等。

2.2 地形表面三维显示

笔者采用直接组织法来显示三维地形。VTK 提供的大量类库为我们的工作提供了很大方便,我们在编译程序的过程中代码大大缩减。在直接组织法中,首先使用 vtkDEMReader 类读取 USGS DEM 文件,再用 vtkImageResample 类对数据进行重新采样,以避免数据冗余,用 vtkTriangleFilter 类来构建三角网,将他们在 vtkPolyData 对象中组织起来。然后采用过滤器 vtkPolyDataNormals 来计算多边形网中每点的法向量,通过法向量设置光照效果,最后用 vtkRender 类将结果在窗口中显示出来。

2.3 三维地形形态特征分析

地形形态特征分析是地表形态和特征的定性表达,可在 DEM 上直接提取,特点是定义明确,但边界条件有一定的模糊性,难以用数学表达式表达。地形形态特征的提取主要包括地形点和地形线的提取,地形形态特征点包括山峰点、谷底点、鞍部点等;地形特征线包括山脊线,山谷线(积水线)等。下面介绍地形形态特征分析的基本原理^[8]。

设在坐标系 $O-xyH$ 中,如图 4 所示,地形曲面 $H=f(x,y)$ 为一光滑连续曲面。判定曲面上任意一点 $P(x_p, y_p, H_p)$ 是否为地形曲面上的山脊点或山谷点(山脊点为极大值,山谷点为极小值),应满足如下三个性质:①如果用过点 P 的水平面

切割地形曲面,相交线的投影曲线(即等高线)为 C_H ,由于投影不改变曲线性质,则点 P 必定位于 C_H 局部曲率变化最大的地方;②用过点 P 且平行于 yH 的面切割地表,空间曲线为 $f(x_p, y) = H$,并且在该点满足 $f_y(x_p, y_p) = 0$,同时 P 点为该曲线上的一个局部极值点;③用过点 P 且平行于 xH 的面切割地表,空间曲线为 $f(x, y_p) = H$,并且在该点满足 $f_x(x_p, y_p) = 0$,同时 P 点为该曲线上的一个局部极值点。

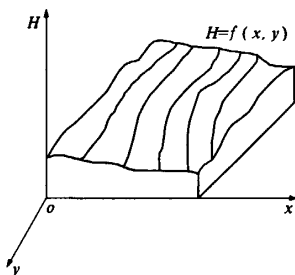


图 4 三维地形坐标系

Fig. 4 Reference frame of 3-D terrain

这样,地形特征点的识别就可以转化为地形曲面局部极值点的识别。当 $f(x,y)$ 用 DEM 来表示时,就是找出所有 DEM 上的地形极值点。如果切割面间距足够小,则相邻极值点之间相互连接则可形成地形特征线。

3 应用实例

根据笔者介绍方法,在 Windows XP 环境下,在 VS 2008 为开发平台下,以 VC++ 为开发语言,在 VTK 类库的支持下基于 USGS DEM 文件获取三维地形。由于等高线地形图为秘密级资料,故笔者所选用的地形图为虚拟地图,它并不代表某实地地形,所以不存在涉密问题。原等高线地形图如图 5 所示,生成的三维地形效果图如图 6 所示。对该三维地形进行形态特征分析,首先识别其主峰和次峰点及山谷线,经过计算,其主峰和次峰的投影点坐标与二维等高线地图的山峰坐标吻合,山谷线 1 和山谷线 2 的投影曲线也与地形图中积水线吻合,由此可见通过笔者方法所得到的三维地形效果图能准确反映等高线地形图所代表的实地地形特征,具有较高精度。

4 结论

笔者采用 ArcGIS 对等高线地形图进行数字化,结合实地地形测绘获得了精度较高的 DEM 数

据,并通过格式转换生成了 USGS 格式的 DEM 文件.然后在 VTK 类库的支持下,实现了三维地形的可视化.结果表明笔者提出的等高线地图的三维可视化方法是可行的,具有较高的精度,在军事及工农业生产中具有较广阔的应用前景.



图5 等高线地形图
Fig.5 Contour map

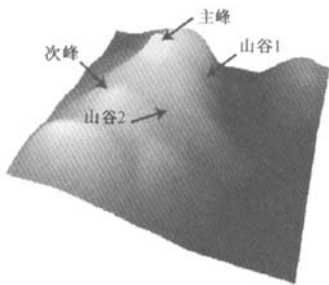


图6 三维地形效果图
Fig.6 Figure of 3-D terrain

参考文献:

- [1] 陈晓勇,李德仁. CCD 扫描等高线图的自动栅格 - 矢量化转换方法[J]. 测绘学报,1991,20(1):16-24.
- [2] 梅雪良,张祖勋,张剑清. 最大集团图搜索法用于关系结构约束的全局等高线断线链接[J]. 武汉测绘大学学报,1995,20(2):101-104.
- [3] 李岩影,过静君. 等高线扫描图象高效自适应识别方法[J]. 北京测绘,2000,2:9-13.
- [4] 朱求安,张万昌,余钧辉. 基于 GIS 的空间插值方法研究[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,2004,28(2):183-187.
- [5] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京:科学技术出版社,2005.
- [6] 谭闻捷,栾成军. 自定义的 DEM 格式与 USGS DEM 格式间的转换[J]. 计算机工程应用技术,2008,1(7):1352-1354.
- [7] 程思聪,杜清运,江文萍. 基于 VTK 的地形三维可视化研究[J]. 测绘信息与工程,2006,31(1):17-18.
- [8] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京:科学出版社,2006.

A Study on Visualization of Three-Dimensional Terrain from Contour Map Based on ArcGIS and VTK

SU Zhi-jian, WANG Rui, ZHU Gao-jie

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The paper presents a method of generating three-dimensional terrain by contour map. Firstly, elevation data of discrete points and digital elevation model are obtained through digital processing of contour map and Kriging interpolation method respectively. Secondly, the three-dimensional terrain is produced with the adoption of Visual Studio2008 as the development platform and VTK as a tool. Finally, an experiment is employed to prove the method discussed in this article is workable.

Key words: contour map; three-dimensional terrain; Kriging interpolation; digital elevation model; visualization tool kit