

DEM 格网与畸变遥感影像的一体化显示研究

李晓燕,潘 懋*,张传明

(北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京 100871)

摘要:遥感影像可以极大地增强 DEM 的表达效果,然而由于各种因素的影响,通常需对其进行预处理,传统方法是通过同名控制点进行校正。该文提出一种新的自动匹配算法,即提取 DEM 和遥感影像对应的特征线,利用 Douglas-Peucker 算法提取对应的特征点,以 DEM 特征点为离散点进行 Delaunay 三角剖分,并基于 TIN 完成纹理映射。实验结果表明,该算法显示效果较好,可有效改善畸变图像引起的错误显示。

关键词:DEM;遥感影像;特征匹配

中图分类号:TP75 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-0504(2007)04-0041-03

0 引言

遥感影像是表达一个地区真实情况的重要数据来源,将数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)与遥感影像叠加显示可以增强 DEM 的真实感。然而,由于遥感平台的姿态变化、地球曲率、自转误差等因素影响,遥感影像的几何畸变不可避免^[1],部分地物在畸变影像中的位置与另一参照系(如 DEM)中的坐标不符。若简单地将畸变影像与 DEM 叠加,将导致显示效果失真,如本应出现在平原区的河流却出现在 DEM 的隆起处,直接影响叠加显示的效果。

传统的解决方法是对畸变影像进行校正处理。最常用的是基于控制点的匹配,即先在原始影像与参考(标准)图像上寻找若干同名控制点,而后以这些点为基准进行拟合,建立两者的对应关系,最终完成校正。实现校正必须保证有足够数量且高度匹配的控制点。然而,实际校正过程中,可能并不存在参考图像,在遥感影像与 DEM 上直接获取同名控制点同样面临挑战。

本文提出一种新的方法,即在遥感影像与 DEM 上分别自动搜索地貌特征线,进行等量、一一对应的特征点提取,然后基于三角网插值算法建立含约束条件的 DEM-遥感影像单元-像素的映射关系,借助纹理映射技术实现两者的一体化显示。

1 特征线提取

1.1 DEM 特征线提取

本文中 DEM 使用规则格网组织数据,具有丰富

的高程信息,因此选择山脊线、山谷线、河流等作为特征线,对其进行自动搜索。关于规则格网 DEM 的特征线提取,现有的算法主要有 Peucker 等的简单模板算法、Jenson 提出的算法以及 O'Callaghan 等的水流模拟算法^[2]。考虑到效率与准确性的平衡,本文采用 Jenson 提出的算法,其主要思路如下:

(1) 计算高程差:计算每个中心格网点与其周围 8 个相邻格网点的高程差。

(2) 判断山脊点(山谷点):如水平、垂直与四对角线中任一方向差值一致为正,即该方向上相邻两点的高程均比中心点高程值小,则中心格网点为山脊点,转入对下一格网点的判断;同理,如某一方向一致为负,则判定其为山谷点。

(3) 生成特征线:根据特征点生成特征线,对山脊线由低向高逐条追踪,认为每个山脊点只有一个上游点,如果某山脊点存在多个上游点,则取高程变化最大的点;对山谷线则由高向低追踪,其原理与山脊线类似。

1.2 遥感影像特征线提取

以遥感影像的山脊线为分界线,其两侧的植被覆盖状况不同;此外,不同坡向亮度也不同^[3]。而对于真彩色的影像,河流明显呈蓝色或近蓝色,其相应像素的 R、G、B 分量中蓝色分量的值较之其他像素有明显差异。以上特征是遥感影像地貌特征提取的基本依据。具体提取过程如下:

(1) 确定特征区:假设 DEM 与遥感影像完全匹配,根据 DEM 特征线属性判断其对应遥感影像的地物属性及对应像素的相对位置,如果某特征线高程较低,即断定其为河流或山谷。提取该特征线的坐

标信息及最小外包,在遥感影像上通过比例关系映射其对应区域。

(2) 转为灰度图:根据上述地物属性,取 R、G、B 中的主要组分,将特征区域彩色图像转化为灰度图,如果已判断其为河流,则将 R、G 取与 B 相同的值进行图像转换。

(3) 提取特征线:采用阈值法对图像进行自动分割,将区域图像划分为目标和背景两部分。扫描整个二值图像,如果 $f(x, y) = 255$, 则初步确定其为目标点,用如下模板对目标点进行重新运算,最终值为 0 的点的集合即为特征线。

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

2 特征点提取

上述得出的仅仅是在 DEM 格网和影像上的特征线,组成这些特征线的点可能数量很大,直接应用将导致如下问题:1) 计算量大;2) 平滑区段过多的特征点反而削弱了曲线特征;3) 无法确定特征点之间的对应关系。例如,图 1 中 DEM 组成一条河流的格网单元数目少于遥感影像中对应的关键像元,将导致无法确定 DEM 上特征点对应的影像像元。

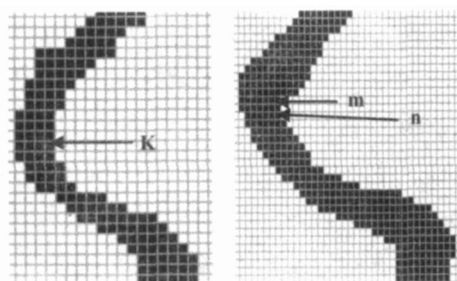


图 1 DEM 与遥感影像上特征点的不对应问题
Fig. 1 The unmatched problem between DEM and remote sensing image

可见,问题的关键在于能够在两个候选点集合中搜索出等量、一一对应且最具“特征性”的点。本文使用 Douglas - Peucker 算法^[4] (简称 D - P 算法)提取特征点(图 2),该算法能在一系列组成曲线的点中选出少量最能代表曲线外形的点,但仅适用于一组有先后关系的点所连成的不闭合曲线。本文对经典算法进行改进,设定点的“先后准则”。算法步骤如下:

(1) 计算距离:设 DEM 与栅格上组成同一特征线的格网单元集合分别为 $\{p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_{m-1}, p_m\}$ 、 $\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, \dots, q_{n-1}, q_n\}$ 。其中, p_0 、 p_m 与 q_0 、 q_n 分别是特征线在 DEM 和栅格上的首末点。计算点 $p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_{m-1}$ 到直线 p_0p_m 的距离 $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{m-1}$, 以及点 $q_1, q_2, q_3, q_4, \dots,$

q_{n-1} 到直线 q_0q_n 的距离 $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{n-1}$ 。

(2) 提取第三特征点:在两个集合中分别找出拥有最大距离的点 p_i 与 q_j , 作为第三对同名特征点(前两对为 p_0, q_0 与 p_m, q_n), 并分别将两个集合分为两部分,第三特征点附近的点可以与第三特征点的垂线进行比较来确定所属的集合。

(3) 重复提取:对拆分后的每部分重复前两步,每部分均找出对应的拥有最大距离的点作为新的特征点对,直到特征点足够多为止。为避免算法意外中止导致两者产生的特征点数不同,对于每对点集合,限定最大递归次数为 $\log_2 N (DEM/2)$ 。

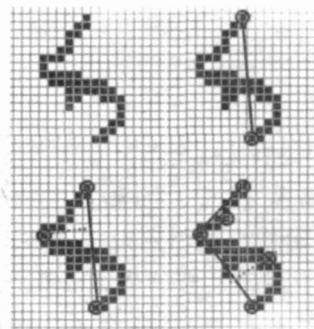


图 2 对栅格集合使用 D - P 算法提取特征点
Fig. 2 Getting characteristic points from grid set by D - P algorithm

3 基于 TIN 的纹理映射

当产生足够的特征点对后,那些已被选作特征点的 DEM 格网单元的纹理坐标为:

$$C_x = (R_x) / (W_r) \quad C_y = (R_y) / (H_r)$$

其中, R_x 和 R_y 为 DEM 上格网点对应影像上像元的坐标, W_r 和 H_r 分别为影像的长和宽。其余格网点的纹理坐标需通过计算得出。通常通过多项式拟合建立原 DEM 与遥感像元的对应关系,但多项式拟合的问题在于低次多项式将导致控制点的纹理坐标产生偏差,而高次多项式将产生振荡现象,使得拟合失真。

本文采用基于三角网插值的 DEM 纹理坐标计算方法。该方法已在遥感影像几何精校正中得到应用,其实现原理是利用控制点构建的不规则三角网 (TIN) 将影像分割为若干三角形,在每个三角形区域内利用仿射变换模型精确配准影像对。应用于此原理类似,可分为建立三角网和纹理坐标计算两步。

3.1 以 DEM 特征点构建 TIN

TIN 是一种常见的镶嵌结构,在所有三角网中, Delaunay 三角网形态最优,笔者主要介绍 Delaunay 三角网的特点、构建方法和应用。

根据具体实现方式, Delaunay 三角网的构建可分为分治法、增量法、三角网生长法^[5,6]等。其中分

治法的时间复杂度最低,但由于 DEM 上特征点不太多,故本文使用较为简单的增量法(又称逐点插入法)。增量法的核心思想是先在点集的一个包容多边形(凸壳或外接矩形等)上生成初始三角网,然后将每个散点插入其中并进行局部优化,构网后的 DEM 如图 3 所示。

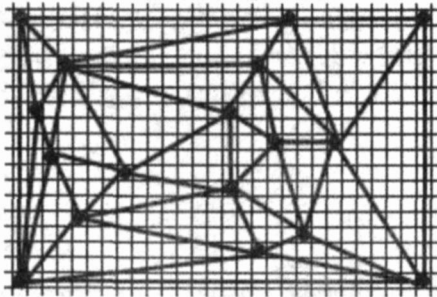


图3 由格网 DEM 构建 D - TIN
Fig. 3 Constructing D - TIN basing on grid DEM

3.2 DEM 格网纹理坐标计算

由于不共线的三对点决定唯一的仿射变换,因此若将三对点的坐标分别代入仿射变换公式:

$$\begin{cases} x = a + a_{11}x + a_{12}y \\ y = b + a_{21}x + a_{22}y \end{cases}$$

即可得到三角形内其他点的纹理坐标。考虑到 DEM 格网是离散的,只需计算三角形内所有的“整点”即可。

对于一个未知纹理坐标的 DEM 格网点,首先应找到其所属的三角形,但这样需遍历所有三角形。考虑到 DEM 格网内每个点只属于一个三角形,故可使用扫描线算法计算每个三角形内的 DEM 点。扫描所有三角形后,即完成所有 DEM 点的遍历。

4 实验结果

用本文方法进行畸变影像与 DEM 一体化精确显示实验,具有较好的显示效果,改善了畸变图像引起的错误显示。图 4 是实验前后一体化显示效果对比,

左图直接将畸变影像作为纹理源,并将影像的 4 个顶点与 DEM 的 4 个顶点简单配对后进行纹理映射,右图是使用本文方法进行更准确的特征点匹配与三角网插值的纹理坐标计算,显示效果比前者更为真实。

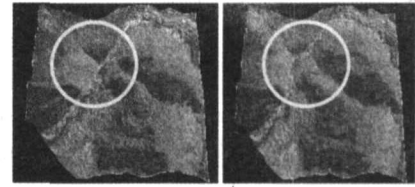


图4 实验结果对照
Fig. 4 The comparison between direct match and improved mapping

5 结语

DEM 格网与畸变遥感影像的一体化显示一直存在困难。本文对 DEM 进行特征线提取,对遥感影像进行一系列处理,以保证获得一致的特征线,再用 D - P 算法对两者进行最具有“特征性”的同名特征点提取。以 DEM 特征点为离散点构建 Delaunay 三角网,确保了其余格网点纹理坐标的精度,很大程度上消除了常规插值方法引起的误差,实现了二者之间自动、正确的一体化显示。

参考文献:

- [1] 彭望碌. 遥感概论[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] O'CALLAGHAN J F, MARK D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1984, 28(4): 323 - 344.
- [3] 丰茂森. 遥感图像数字处理[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [4] DOUGLAS D H, PEUCKER T K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a line or its caricature [J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10(2): 112 - 122.
- [5] 武晓波,王世新,肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究[J]. 测绘学报, 1999, 28(1): 28 - 35.
- [6] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2001.

Integrated Display of DEM and Distorted Remote Sensing Image

LI Xiao - yan, PAN Mao, ZHANG Chuan - ming

(The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE, College of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Remote sensing image can greatly enhance the expression effect of DEM data, but due to various factors, it usually needs to take pretreatment. The traditional approach for rectification is getting the same control points, but it does not work on DEM. This paper presents a new method to solve this problem in the following steps: firstly, getting control lines from DEM and remote sensing image respectively, and then getting characteristic points by Douglas - Peucker algorithm, finally constructing Delaunay triangulation and performing texture mapping based on TIN. The experiment results show that the new approach improves the aberration and has a better display effect.

Key words: DEM; remote sensing image; feature matching