DOI:10.19789/j.1004-9398.2016.05.015

基于不同算法的DEM地面曲率提取的比较分析

李倩楠
(首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048)

摘 要

介绍了四种不同的地面曲率以及不同DEM地面曲率提取的步骤.用四次表面模型法和汤国安的SOS/SOA方法对南阳市DEM图进行地面曲率的提取.通过对比和分析二种方法的异同,得出了两种方法的适用情况.

关键词: DEM,曲率,地面曲率.
中图分类号: P282.1

0 前 言

近几年来,随着"数字地球"、"数字城市"等概念和技术应用领域的兴起,数字高程模型(Digital Elevation Model,缩写DEM)受到了广泛的关注.有效提取地形信息,特别是提取常规方法很难提取的地形要素,一直是地学工作者致力研究的目标.近年来,数字高程模型在数据生产和分析方法方面取得了巨大进步,但是从DEM提取地形信息,特别是提取地面曲率几乎与DEM在各领域的广泛应用严重脱节[1].由于不同类型DEM在提取的精度上存在明显差异,加上地形、计算方法等的影响,使得DEM提取地面信息时具有不确定性,直接提取信息往往很难达到预期的目的.利用DEM制作地面曲率图效率高,但其精度不确定性较大.

本文选取南阳市区为实验样区,在DEM基础上用不同方法对实验样区进行地面曲率提取,并对提取结果进行比较与统计分析.

1 DEM简介

数字高程模型是一定范围内规则格网点的平面坐标(X,Y)及其高程(Z)的数据集,它主要是描述区域地貌形态的空间分布,是通过等高线或相似立体模型进行数据采集(包括采样和量测),然后进行数据内插而形成的.DEM通常的数据组织方式有规则格网、不规则三角网和等高线等,规则格网DEM数据结构简单,易于计算,应用范围广,现今所述DEM通常均指规则格网DEM[2].数字高程模型是地理信息系统中进行地形分析的核心数据系统,在测绘、资源与环境、灾害防治、国防等与地形分析有关的科学研究和国民经济各领域发挥着巨大的作用.

1.1 DEM数据获取

近年来,随着高新技术的运用,DEM数据的采集方式不断更新,目前为止主要有以下方式:(1)通过用GPS、全站仪、野外测量等从地面直接测量;这种方式适用于小范围区域.(2)根据航空或航天影像,通过摄影测量途径采集,如数字摄影测量、解析测图等等;该方法精度高,效率高,数据更新速度快,适用于各类项目.(3)现有地图数字化,利用数字化仪对已有地图上的信息(如等高线)进行数字化的方法,目前常用的数字化仪有手扶跟踪数字化仪和扫描数字化仪,然后通过内插生成DEM的方法.DEM内插方法很多,主要有整体内插、分块内插和逐点内插三种.该种方法仅对高程变化不大的地区适用.

2 曲率计算方法

地面曲率是对地形表面一点扭曲变化程度定量化的度量因子,地面曲率在垂直和水平两个方向上的分量分别称为平面曲率和剖面曲率.曲率与两个因素有关:首先是曲线的切线转过的角度$\triangle\alpha$,曲线

收稿日期:2014-10-17

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的弯曲程度与 $\triangle\alpha$ 成正比; 其次是曲线的长度,对于相同的切线转角 $\triangle\alpha$,曲线的长度与曲线的弯曲程度成反比. 因此,以单位弧长上曲线切线转角的大小来衡量曲线的弯曲程度,即曲率[3]. 曲线的曲率是曲线切线倾角关于弧长变化率的绝对值; 曲面的曲率则是过该点的某一平面与曲面的交线的曲率.

地形曲率在不同的层面上反映着结构特征和地貌形态. 为了实际应用的需要,人们定义了多种曲率. 本文选择其中的 3 种曲率作为分析研究对象. 与坡度等基本地形参数一样,各种类型的地形曲率在数学定义上都有确定的表达式[4].

2.1　剖面曲率(K_v)

剖面曲率(K_v)是对地面坡度沿最大坡降方向地面高程变化率的度量. 剖面曲率是地面坡度的变化率,或称为高程变化的二次导数,可以反映局部地形结构,在确定坡形以及提取沟沿线、沟底线等地形转折线以及地表过程模拟、水土保持等领域都有重要的应用价值[5].

数学表达式为:

$$K_v = -(rp^2 + 2spq + tq^2)/(p^2 + q^2)(p^2 + q^2 + 1)^{3/2} \quad (1)$$

$p = \frac{\partial z}{\partial x}$ 是 x 方向高程变化率; $q = \frac{\partial z}{\partial y}$,是 y 方向高程变化率; $s = \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y}$,是 x 方向高程变化率在 y 方向的变化率; $t = \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}$,是 y 方向高程变化率的变化率; $r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$,是 x 方向高程变化的变化率.

2.2　正切曲率(K_h)

正切曲率指在地形表面上,具体到任何一点 P,切地形表面所得的曲线在该点的曲率值. 正切曲率描述的是地表曲面沿水平方向的弯曲变化情况,也就是该点所在的微小范围内坡向变化程度度量. 简言之即地面任一点位地表坡向的变化率,地面正切曲率的大小决定坡面水平方向的坡形变化. 可通过地面坡向变化的二阶导数公式推算其具体计算方法. 地表曲面沿水平方向弯曲变化情况,也就是该点所在的平面等高线的弯曲程度. 从另一个角度讲,地形表面上一点的正切曲率也是对该点微小范围内坡向变化程度的度量.

正切曲率和剖面曲率都为负值时是凹形坡,都为正值时为凸形坡,坡型可以利用地表的曲率进行描述和量化,直线形和凸形斜坡在曲率上的体现是曲率 $\geqslant 0$,凹型坡和阶梯型坡的曲率 < 0.

数学表达式为:

$$K_h = -(rq^2 - 2spq + tp^2)/(p^2 + q^2)(p^2 + q^2 + 1)^{1/2} \quad (2)$$

2.3　水平曲率(K_c)

水平曲率是等高线方向的变化率,反映了坡向的变化. 在计算水平曲率值时,通常采用样条函数进行等高线内插,待全区域所有等高线处理完毕,找出区域内的山顶点和谷底点并以这些点为起始点,根据一定的条件和搜索策略将已确定的地形特征线上点的备选点确定为各自所在的山脊线和山谷线. 水平曲率在确定地形特征线时,将地形特征线上点的判定与该点所属的地形特征线的确定分开来考虑,这将给后续地形特征线的跟踪带来很多麻烦. 另外,在地形破碎地区或等高线不光滑的区域,地形特征的跟踪将十分困难.

数学表达式为:

$$K_c = -(rp^2 - 2spq + tq^2)/(p^2 + q^2)^{3/2} \quad (3)$$

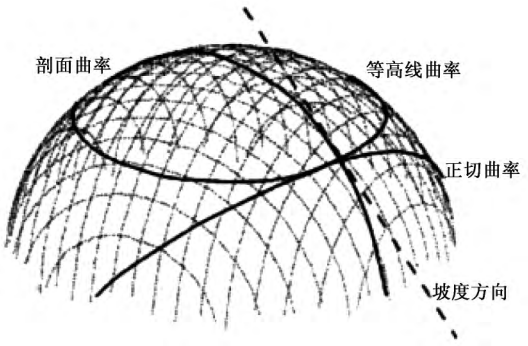


图 1　剖面曲率、正切曲率和水平曲率[6]

2.4　综合曲率

正切曲率、剖面曲率与水平曲率的和,显示地面曲率的综合指数. 地面的综合曲率指数决定地面的复杂及地面切割的破碎程度. 目前尚无统一的计算公式,可采用 $K = (K_h + K_v) \times \tan(\text{slope})$ 计算地面综合曲率.

3　曲率提取的方法

曲率因子提取算法的基本原理为: 在 DEM 数据的基础上,根据其离散的高程数值,把地表模拟成一个连续的曲面,从微分几何的思想出发,模拟曲面上每一点所处的垂直于和平行于水平面的曲线,利用曲线曲率的求算方法的推导得出各个曲率因子的计算公式.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.1 四次表面模型法

在 ArcGIS 中,spatial analysis——surface——curvature,直接提取曲率.

表1 3×3 窗口

U1	U2	U3
U4	U5	U6
U7	U8	U9

Zeverbergen 和 Thorne(1987) 提出了一种计算算法,四次曲面函数式见公式(4).3 × 3 窗口中共 9 个参数(如表 1,U1 ~ U9 分别代表各个栅格的高程值),此时未知数可通过已知点确定,方程有唯一解. 系数 a、b、c、i 在计算曲率时未用到,可以忽略,系数 d ~ h 由公式(5) ~ (12) 计算,中心格网的剖面曲率和正切曲率的函数式见公式(10)、(11).

$$U = ax^2y^2 + bx^2 + cxy^2 + dx^2 + ey^2 + fxy + gx + hy + i \quad (4)$$

$$d = [(U4 + U6)/2 - U5]/L^2 \quad (5)$$

$$e = [(U2 + U8)/2 - U5]/L^2 \quad (6)$$

$$f = (-U1 + U3 + U7 - U9)/4L^2 \quad (7)$$

$$g = (-U4 + U6)/2L \quad (8)$$

$$h = (U2 - U8)/2L \quad (9)$$

剖面曲率:

$$K_v = -2(dg^2 + eh^2 + fgh)/(g^2 + h^2) \quad (10)$$

正切曲率:

$$K_h = 2(dh^2 + eg^2 - fgh)/(g^2 + h^2) \quad (11)$$

把曲率乘以 -100,确保值在 [-1,1] 区间内,以确保曲率为正的地方是凸起的,曲率为负的地方是凹陷的. ArcGIS 还将修正后的正切曲率与剖面曲率之差定义为表面曲率,见公式(12),负曲率意味着凹面,正曲率意味着凸面[7].

$$\text{表面曲率} = -200 \times (d + e) \quad (12)$$

3.2 汤国安提出的 SOS/SOA 算法

在 GIS 软件中,地面剖面曲率的数字矩阵可以直接通过对 DEM 数据求取地面坡度的坡度(Slope of Slope,SOS) 而获得;地面水平曲率可通过求取地面坡向的坡度(Slope of Aspect,SOA) 而获得. 求取坡向的坡度时,为消除北坡的误差,需要正、负地形分别求 SOA1、SOA2,然后利用公式求取 SOA.

$$SOA = [(SOA1 + SOA2) - |SOA1 - SOA2|]/2 \quad (13)$$

所获得的水平曲率和剖面曲率值在 0° ~ 90° 之间波动,反映了等高线和坡度的变化率[7].

4 研究区地面曲率的提取

研究区为南阳市某一部分区域,下图是研究区的 DEM 图像:

4.1 四次表面模型法处理

在 ArcGIS 中,spatial analysis——surface analysis——curvature,直接提取剖面曲率.

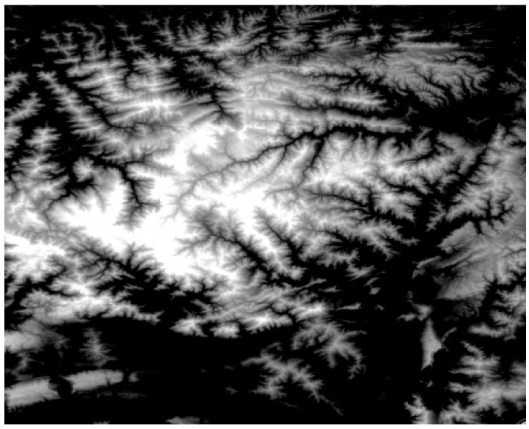


图2 南阳市部分区域 DEM 图像



图3 四次表面模型法提取的剖面曲率图

4.2 汤国安提出的 SOS 算法提取剖面曲率

剖面曲率指地面任一点位地表坡度的变化率,或为高程变化的二次倒数. 地面的剖面曲率是影响垂直方向坡形变化的主要因子,剖面曲率直接影响土壤的净侵蚀或净积累量. 可通过地面高程变化的二阶导数公式推算其计算方法. 也可以通过计算 slope of slope 获得剖面曲率的绝对值.

步骤:在 ArcGIS 中,spatial analysis——surface analysis——slope——slope,提取剖面曲率.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

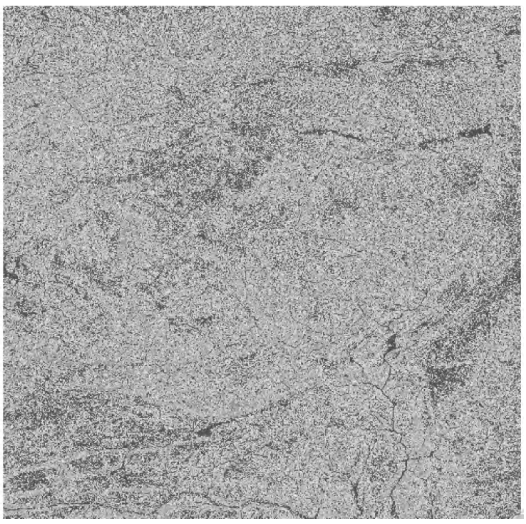


图 4　汤国安 SOS 算法提取的剖面曲率图

5　结　语

1) 四次曲面虽然能够较为准确的刻画复杂的局部地形曲面特征,但对 DEM 误差比较敏感,并不适合作为 DEM 地形参数提取的曲面模型,而汤国安的 SOS 算法对 DEM 数据误差有一定的平滑作用,比较适合地形参数的提取和分析.

2) 四次表面模型法提取的剖面曲率和汤国安提出的 SOS 方法提取的剖面曲率的指标区域特征都是微观因子.(依据反映地表信息的空间结构层面,则可将地形因子划分为微观因子、宏观因子和其它相关信息因子等三大类.)

3) 四次曲面方法直接简单,而汤国安的 SOS 方法需求两次坡度,有点复杂,同时精度相对于四次曲面法较低,形成误差累积.

参　考　文　献

[1] 姜栋,赵文吉,朱红春,等. 不同空间尺度 DEM 下地形坡度信息提取对比研究[EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线(2006-12-05)[2014-09-09]. http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/2016-12-81.

[2] 王叶飞. DEM 地形曲率的误差分析[D]. 长沙: 长沙理工大学,2005.

[3] 庞进生,段学新,范建华. 高等数学[M]. 北京: 经济日报出版社,2006: 97 - 100.

[4] 李建成,胡建国. 联合多种卫星测高数据分析全球和中国海海平面变化[J]. 武汉测绘科技大学学报,2000,25(4): 343 - 347.

[5] 陈楠. 剖面曲率精度变化与 DEM 分辨率关系[J]. 中国矿业大学学报,2013,42(1): 147 - 151.

[6] Schmidt J, Evans I S, Brinkmann J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2003, 17(8): 797 - 814.

[7] 范红艳,戚鹏程,黄天勇. 关于 GIS 中三种地面曲率的探讨[J]. 南阳师范学院学报,2011,10(6): 66 - 69.

Based on the Difference of the Digital Elevation Model(DEM) Algorithm Analysis and Comparison of the Ground Curvature Extraction

Li Qiannan

(College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract

This article introduced four different types of surface curvature and the steps of different DEM ground curvature to extract. With the four times surface model method and Guo-an tang SOS/SOA approach, the ground curvature was extracted by using the Nanyang DEM figure. By comparing and analyzing the similarities and differences between two kinds of methods, the applicable conditions of the two methods were obtained.

Key words: DEM, curvature, surface curvature.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net