

单一流向算法和多流向算法下的地形指数比较研究

——以山西吉县蔡家川小流域为例

刘利峰, 毕华兴

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要:在地理信息系统平台——美国 Micro Images 公司开发的 TNTmips6.9 上,以山西吉县蔡家川小流域 1/10 000 地形图为原始数据,经一系列处理得到该小流域的数字高程模型。使用自行开发的基于单一流向算法和多流向算法的地形指数计算程序,以生成的 DEM 为源数据,计算出蔡家川小流域的地形指数。通过对两种算法下地形指数的分析比较发现:多流向算法下得到的地形指数其最大值、中值、最小值均小于单一流向算法下的值,而且分布区间也偏小。

关键词:地形指数;单一流向算法;多流向算法;蔡家川小流域;DEM;TNTmips6.9

中图分类号:TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)06-0309-02

Research on Comparing the Topographic Index Based on the Single Flow Direction Arithmetic and Multiple Flow Direction Arithmetic ——Treating Caijiachuan Small Watershed in Ji County of Shanxi Province as Sample

LIU Lìfeng, BÌ Huāxīng

(Soil and Water Conservation College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The DEM of the Caijiachuan small watershed was obtained by treating the topographic map on the scale of one to thousand of the small watershed on the GIS platform TNTmips6.9. The topographic index of the small watershed was calculated using the programs which were developed independently on the base of the single flow direction arithmetic and the multiple flow direction arithmetic. It is found that the max and the median and the minimum of the topographic index on the base of the multiple flow direction arithmetic were less than that on the base of the single flow direction arithmetic and the distribution interval of the topographic index on the base of the multiple flow direction arithmetic was smaller than that on the base of the single flow direction arithmetic.

Key words: topographic index; the single flow direction arithmetic; the multiple flow direction arithmetic; the Caijiachuan small watershed; DEM; TNTmips6.9

1 前言

1974 年 Kirkby 和 Weyman 首次提出地形指数这一概念。1979 年 Beven 和 Kirkby 提出 TOPMODEL, 该模型借助地形指数来描述径流累积趋势和由于重力作用径流沿着坡面运动的趋势, 地形指数的计算是应用模型的第一步。就地形指数计算而言, 最基本的算法是单一流向算法和多流向算法, 不同的算法得到的地形指数不相同, 计算时选择何种算法是个重要问题。本研究的目的在于, 通过计算蔡家川小流域地形指数, 比较两种算法下地形指数的不同, 进而分析两种算法的特点, 为他人进行算法选择时提供参考。

地形指数又称为地貌指数, 定义为 $\ln(a/\tan\beta)$, 其中 a 为单宽集水面积, 定义为流过单位长度等高线的水流对应的来水面积, 计算公式为 A/L , A 为集水面积, 定义为流过某段等高线长度的水流对应的上游汇水面积, L 为入流方向上

的等高线长度之和, $\tan\beta$ 为地表单元的坡度正切函数值。地形指数反映了径流在流域中任一点的累积趋势(以 a 表示)以及重力使径流顺坡移动的趋势(以 $\tan\beta$ 表示)。

计算地形指数是以数字高程模型为源数据, 计算时的首要前提是确定水流在模拟的地表流动时的流向。单一流向假设假定水流从中心格子出发只向八个方向中坡度最陡的方向流动, 多流向假设假定水流从中心格子出发可向八个方向中任何一个方向流动, 只要该方向上格子高程值小于中心格子的高程值。

2 研究区概况

蔡家川小流域大部分位于山西吉县境内, 只有西北小部分位于山西大宁县。流域东西狭长, 南北剖面呈凹形, 地势西高东低, 海拔高度在 904 m 至 1 592 m 之间, 相对高差 688 m。流域内沟谷广泛发育, 沟壑纵横地形起伏剧烈, 主沟道

* 收稿日期: 2005-12-17

基金项目: 人事部留学回国人员科技活动择优资助项目“黄土区嵌套小流域降雨径流过程中地形特征指数的尺度辨析与转换”

作者简介: 刘利峰(1980-), 男, 北京林业大学水土保持与荒漠化防治专业硕士研究生; 毕华兴: 陕西米脂人, 北京林业大学水土保持学院副教授。

东西走向,为常流水河道,支沟从南北两侧汇入主沟,沟道总长度为 32 km,沟壑密度达 0.8 km/km²。

3 材料与方法

本研究主要使用如下软件:图像处理软件 Photoshop 6.0,地理信息系统软件 TNTmips6.9,集成开发环境 Visual Basic 6.0。图像处理软件 Photoshop6.0 主要用来删除数字化地形图的冗余信息。TNTmips6.9 由美国公司 Micro Images 开发,蔡家川小流域数字高程模型的生成和预处理是在该平台上完成的。作者使用集成开发环境 Visual Basic 6.0 自行开发基于单一流向和多流向假设的地形指数计算程序,用这两个程序完成小流域的地形指数计算。

3.1 小流域数字高程模型的生成

将山西吉县蔡家川小流域 1/10 000 地形图数字化,使用图像处理软件 Photoshop 6.0 处理数字化后的地形图(删除冗余信息),之后将其导入地理信息系统软件 TNTmips6.9,使用其模块 raster to vector 和 surface modeling,最终得到蔡家川小流域 DEM(水平精度 50 m),见图 1。

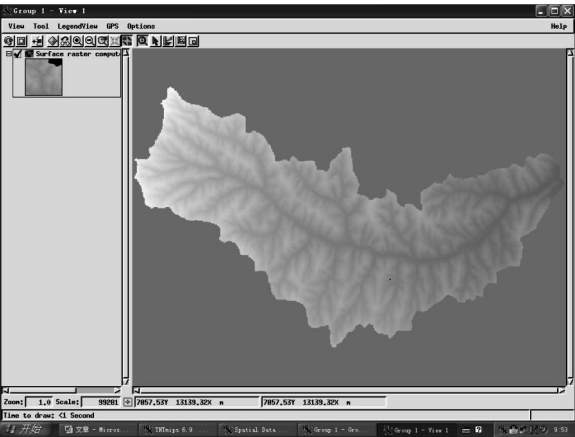


图 1 蔡家川小流域 DEM(50 m 水平精度)

地形指数的计算是基于 DEM 的,但这里所说的 DEM 并非原始 DEM 而是经过预处理的 DEM(即最大程度地消除了缺陷的 DEM)。笔者在 TNTmips6.9 环境中使用 raster 模块下的 watershed 子模块完成预处理,同时可得到副产品即上游汇水矩阵和流向矩阵(watershed 子模块的算法前提是单一流向)。

3.2 地形指数计算程序的开发

我们所开发的计算程序分别基于单一流向算法和多流向算法。首先对两种算法作简要介绍,假设要计算 DEM 中第*(i, j)*个格网单元的地形指数(图 2),则两种算法的处理分别是:

$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
$(i, j-1)$	(i, j)	$(i, j+1)$
$(i+1, j-1)$	$(i+1, j)$	$(i+1, j+1)$

图 2 第*(i, j)*个格网单元及其周围相邻的格网单元

3.2.1 单一流向算法

该算法以单一流向假设为前提,首先按照一定规则对流向编码(见图 3)。以方向 1 为例,坡度正切值计算公式是: $\tan\beta = (\text{elevation}(i, j) - \text{elevation}(i-1, j-1)) / \text{distance}$ 对于对角线方向 $\text{distance} = D \cdot \partial_e$,对于非对角线方向 $\text{distance} = D$,*D* 是格子的边长也就是 DEM 的水平精度。这样,只要逐一计算第*(i, j)*个格子周围 8 个方向上的坡度正切值,并

找出最大值便可确定该格子的流向,采用循环对 DEM 所有格子执行上述动作即可确定所有格子的流向,按事先的编码规则将代表流向的数字赋值给相应的格子,这样便可得到一个流向矩阵。

$(i-1, j-1)$ 1	$(i-1, j)$ 2	$(i-1, j+1)$ 3
$(i, j-1)$ 4	(i, j)	$(i, j+1)$ 5
$(i+1, j-1)$ 6	$(i+1, j)$ 7	$(i+1, j+1)$ 8

图 3 本文所使用的流向编码

流向矩阵得到后 DEM 的水流路径便可确定,根据水流路径进行追踪可确定每个格子的上游汇水面积(即有水流直接和间接流入该格子的所有上游格子的面积之和),由此可得到一个上游汇水面积矩阵。根据流向矩阵对第*(i, j)*个格子周围 8 个相邻格子逐一扫描其流向编码值,进而判断该格子的入流情况,将入流方向上的等高线长度累加便得到该格子的 *L* 值,在求 *L* 值时有这样的约定:对角线方向的等高线长度为 35.4% 的格子边长,而非对角线方向的等高线长度为 1/2 的格子边长。采用循环对 DEM 的所有格子执行上述动作便可确定所有格子的 *L* 值

至此,地形指数计算公式 $\ln(\alpha / \tan\beta) = \ln((A/L) / \tan\beta)$ 中 *A*、*L*、 $\tan\beta$ 均已得到($\tan\beta$ 即格子出流方向上的坡度正切值),只要代入公式格子的地形指数值便可得出。

3.2.2 多流向算法

多流向算法对地形指数计算公式中的 *A*、*L*、 $\tan\beta$ 的推求与单一流向算法有所不同,详细的推求过程在下面作介绍(仍以第*(i, j)*个格子为对象)。

(1) $\tan\beta$ 的推求。设 $\tan\beta(i)$ 是该格子周围第 *i* 个出流方向上的坡度正切值, $\text{downscl}(i)$ 是该方向上的等高线长度, $\Sigma \text{downscl}(i)$ 是所有出流方向上的等高线长度之和,则该格子的 $\tan\beta$ 值这样求算: $\tan\beta = \Sigma \tan\beta(i) \cdot (\text{downscl}(i) / \Sigma \text{downscl}(i))$ 。出流方向等高线长度累加之时仍遵循单一流向算法的约定。

(2) *L* 值的推求。设 $\text{upscl}(i)$ 是该格子周围第 *i* 个入流方向上的等高线长度,则 *L* 值这样求得: $L = \Sigma \text{upscl}(i)$ 。入流方向等高线长度累加时的约定同上述。

(3) *A* 的处理。设格子边长为 *D*,首先将所有格子的 *A* 均赋初值为 *D*·*D*,之后逐行逐列遍历所有格子执行上游汇水面积分配操作。现以遍历到第*(i, j)*个格子时为例子进行说明:设 *A*(*i, j*) 为该格子的上游汇水面积, ΔA_i 是该格子周围第 *i* 个出流方向上的格子所得到的 *A*(*i, j*) 的分配值, *A_i* 是该出流方向上的格子的原始上游汇水面积值,则有 $\Delta A_i = A(i, j) \cdot (\tan\beta(i) \cdot \text{downscl}(i) / \Sigma \tan\beta(i) \cdot \text{downscl}(i))$, ΔA_i 求出后用 *A_i* + ΔA_i 更新第 *i* 个出流方向上的格子的上游汇水面积值,按照上述分配方案遍历所有格子后,每个格子的 *A* 值便确定下来。

在集成开发环境 Visual Basic 6.0 中,参考上述两种算法,分别编写基于单一流向假设和多流向假设的程序(程序界面如图 4 和图 5)。如前所述,进行 DEM 预处理时可得到上游汇水矩阵和流向矩阵,而且 watershed 子模块的算法前提是单一流向,所以为了利用已有的产品,基于单一流向假设的程序除引入预处理后的高程矩阵外,还要引入上游汇水矩阵和流向矩阵,而基于多流向假设的程序只引入预处理后的高程矩阵。程序要引入相关矩阵,可程序无法直接读入

由表 2 可知,东西、南北方向采样插值与真实值的残差平方和都有随采样间距增加而增大的趋势;对于东西方向采样,17.1 m 的采样间隔相对于 11.4 m 的采样间隔插值与真实值的残差平方和又略微减小。东西方向比南北方向采样间隔大,当两方向采样间距增加时,东西方向的插值与真实值的残差平方和变化更大(东西方向采样间隔由 5.7 m 增大到 11.4 m 时,插值与真实值的残差平方和由 23.8 增大到 43;南北方向采样间隔由 3 m 增大到 6 m 时,插值与真实值的残差平方和由 23.8 增大到 31.9)。

2.4 土壤含水量适宜取样间距的确定

传统的土壤含水量取样方法是假定样本之间相互独立,按土壤质地将土壤在平面上划分为若干个较为均一的区域,在每个区域上采取样点。这种方法不考虑土壤含水量在不

同方向上的变异和同一方向上土壤含水量样本之间的相关性,因而不能确切表达土壤含水量的实际空间分布状况,采样也不具有代表性。地统计学中的半变异函数充分考虑了土壤含水量的随机性和结构性,因而更能真实地确定适宜的采样间距。在方向容差为 60° 的情况下,0° (东西) 方向的最大滞后距离为 6.7 m,5.7 m 的采样间隔在最大滞后距离之内,样点之间的土壤含水量存在相关性,因此插值与真实值的残差平方和最小;11.4 m 和 17.1 m 的采样间隔均在最大滞后距离之外,样点是独立的,相互之间不存在相关性,因此插值与真实值的残差平方和要大。90° (南北) 方向的最大滞后距离为 4.4 m,3 m 的采样间隔在最大滞后距离之内,因此 3 m 的采样间隔比在最大滞后距离之外的 6 m 的采样间隔

(下转第 318 页)

(上接第 310 页)

TNTmips6.9 默认格式的数据,但 VBA 中有能实现从记事本文件中读写数据的语句,故要将相关矩阵从 TNTmips6.9 导出到相应记事本文件,程序计算得到的地形指数也写入指定的记事本文件。



图 4 基于单一流向算法的程序界面



图 5 基于多流向算法的程序界面

4 结果分析与结论

使用 TNTmips 6.9 的 import/ export 模块,将相关矩阵导出参考文献:

[1] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉测绘科技大学出版社,2002.
[2] 邓慧平,李秀彬.地形指数的物理意义分析[J].地理科学进展,2002,21(2):103-110.
[3] 孔凡哲,芮孝芳.TOPMODEL 中地形指数计算方法的探讨[J].水科学进展,2003,14(1):41-45.
[4] 孔凡哲,芮孝芳.基于地形特征的流域水文相似性[J].地理研究,2003,23(6):709-715.

到相应的记事本文件,之后运行程序从相应记事本文件中读入数据并进行计算,计算完成后结果写入相应的记事本文件。

将计算结果从记事本文件导出到 Excel,在 Excel 中对两种算法下的结果进行统计,成果见表 1:

表 1 两组数据相关项目比较

类别	最大值	中值	最小值
单一流向算法	17.94787	6.214608	4.50986
多流向算法	10.47973	5.961601	3.911458

在 Excel 中对两种算法下的结果进行一系列处理,最终得到地形指数的累积频率分布(见图 6),图中纵坐标轴上的数值表示地形指数值落在某一区间的所有单元格的面积和与流域所有单元格面积和之比。

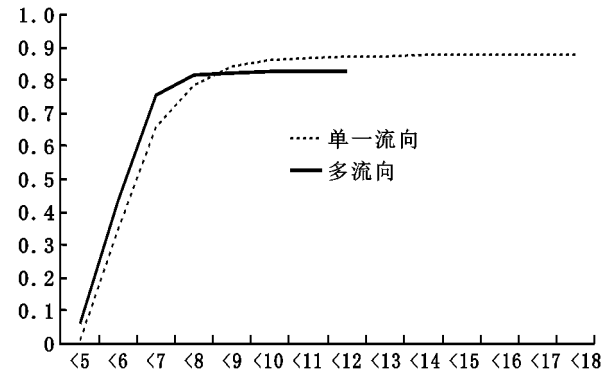


图 6 两种算法下的地形指数累积频率分布

最后,我们得出如下结论:

- (1) 从最大值、中值、最小值三项指标来看,单一流向算法的值均大于多流向算法的值。
- (2) 在区间(12,18)上,多流向算法下的地形指数在此区间无分布,而单一流向算法下的地形指数在此区间有分布
- (3) 由于可以利用地理信息系统软件进行 DEM 预处理时的副产品,故单一流向算法在编程时比较简单;而多流向算法涉及到上游汇水面积再分配的问题,所以编程上较难,但多流向假设比单一流向假设更接近现实中的水流流向。
- (4) 计算某研究区域的地形指数及其频率分布时,应从可操作性及是否更符合实际情况等方面综合考虑,从而决定选择何种算法。