

基于 DEM 通用土壤流失方程地形因子的算法设计与优化

张 照 录

(山东理工大学资源与环境工程学院, 山东 淄博 255049)

摘 要:论述了通用土壤流失方程在区域尺度应用时,基于数字高程模型计算其地形因子的算法及其流程,并在 Arc GIS 的 GRID 平台上开发实现。实践证明,采用最大坡降坡度法和累积坡长法求取坡度和坡长,进而计算通用土壤流失方程地形因子的算法合理可信。通过水系数据的叠加优化,一方面提高了程序的计算效率,同时也减少了不合理累积坡长值出现的机率。

关键词:数字高程模型;通用土壤流失方程;地形因子

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)03-0203-03

The Algorithm Design and Optimization for Topographic Factors of Universal Soil Loss Equation Based on DEM

ZHANG Zhao-lu

(Faculty of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

Abstract: The author discusses the algorithm and the flowchart of topographic factors based on digital elevation model (DEM) when universal soil loss equation is used on regional scale. The program is developed on GRID model of Arc GIS. By practice, it is recognized that the algorithm of topographic factors computing slope degrees and lengths through maximum downhill slope and cumulative slope length method is reasonable and reliable. Via the overlay optimization of water system data, the efficiency is improved, at the same time, the probability of unreasonable cumulative slope length value is decreased.

Key words: Digital Elevation Model; Universal Soil Loss Equation (USLE); topographic factors

1 通用土壤流失方程地形因子简介

以 1965 年美国农业部颁布的 282 号农业手册为标志^[1],通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)正式被提出。随后,通用土壤流失方程在实践应用中不断得到改进与发展,美国农业部先后颁布 537 号^[2]和 703 号^[3]农业手册分别介绍。通用土壤流失方程是基于标准小区(The Unit Plot)长期观测数据而总结出的计算坡面空间尺度多年平均年土壤侵蚀量的统计模型,其数学表达式为:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: A ——多年平均年土壤侵蚀量 [$t/(hm^2 \cdot a)$]; R ——降雨—径流侵蚀力因子 [$MJ \cdot mm/hm^2 \cdot h \cdot a$]; K ——土壤可蚀性因子 [$t \cdot hm^2 \cdot h/hm^2 \cdot MJ \cdot mm$]; L ——坡长因子, S ——坡度因子,通称为地形因子; C ——植被覆盖与管理因子; P ——水土保持措施因子。 L 、 S 、 C 、 P 四因子都是无量纲因子,分别定义为实际条件下的土壤侵蚀量与对应标准小区条件下土壤侵蚀量的比值^[4]。在标准小区条件下, $LS = C = P = 1$ 。

通用土壤流失方程问世以来,深刻影响了世界各地土壤侵蚀模型的研究思路和方法,同时,以地理信息技术和遥感技术为代表的现代空间信息技术的发展,也使得通用土壤流失方程的应用从坡面尺度扩展到流域^[5],甚至是区域尺度^[6,7]。当通用土壤流失方程应用到区域尺度土壤侵蚀研究

时,其实质是以地理信息技术为支撑,将整个区域划分成规则的栅格单元,每个栅格单元对应于通用土壤流失方程的标准小区,以单个栅格单元为研究对象分别计算其土壤侵蚀量,后经统计汇总得到区域土壤侵蚀数据。在这个过程中,要解决好空间位置各异的不同栅格单元的通用土壤流失方程各因子的取值问题,其中最大的挑战在于地形因子取值的确定。通用土壤流失方程地形因子的计算公式为:

$$LS = (l/72.6)^m \times (65.41 \sin \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (2)$$

式中: LS ——地形因子值, l ——坡长(m), θ ——坡度($^\circ$),是一个随坡度变化的变量。当 $\theta < 0.57$ 时, $m = 0.2$; $0.57^\circ < \theta < 1.72^\circ$, $m = 0.3$; $1.72^\circ < \theta < 2.86^\circ$, $m = 0.4$; $2.86^\circ < \theta < 3.75^\circ$, $m = 0.5$ 。坡长定义为从坡面漫流的起点到下列两类地点之间的水平距离:(1)由于坡度降低出现沉积的地区;(2)坡面漫流汇集形成水道的地区。坡度为实际地形的坡度值。坡面尺度上的土壤侵蚀研究,通用土壤流失方程地形因子的确定一般采用实测方法。区域尺度上的土壤侵蚀研究,通用土壤流失方程地形因子的确定一般采用数字高程模型(DEM)计算的方法。

2 基于 DEM 通用土壤流失方程地形因子的计算

当通用土壤流失方程被用来进行区域土壤侵蚀研究时,最先需要确定的是与标准小区对应的栅格单元的大小。考虑到其它因子,如植被覆盖与管理因子的获取一般需要遥感

* 收稿日期:2006-07-01

基金项目:山东理工大学博士基金项目(4041-405020)

作者简介:张照录(1976-),男,博士,讲师,主要从事于国土资源遥感调查与信息技术研究。

信息,故栅格单元一般取遥感影像的像元大小,如采用 TM 影像数据,栅格单元取 30 m ×30 m。

从公式(2)可以看出,计算通用土壤流失方程地形因子的关键是确定栅格单元的坡度和坡长。事实上,一个地区的坡度和坡长是连续变化的,为了问题的简化,假定单个栅格单元范围内的坡度和坡长是相同的。

2.1 栅格单元坡度的计算

基于 DEM 的坡度计算方法有很多,其结果也有较大差异^[8],选择的标准是尽可能精确地表达真实地貌形态。本文选用最大坡降坡度法^[9]计算最大坡降方向的坡度值。栅格单元的最大坡降方向定义为该栅格单元(标号为 9)和其邻域栅格单元(标号为 1~8)高度差值最大的方向,用 2^{n-1} 表示, n 为邻域栅格单元的标号(图 1)。如果有多个方向的差值相等且最大,则进一步扩大邻域范围,直到确定唯一的最大坡降方向。最大坡降坡度的计算公式为:

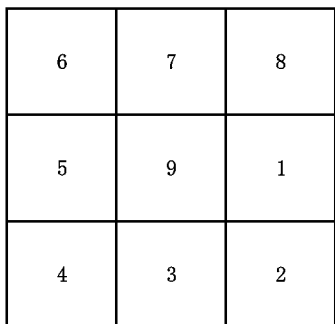


图 1 坡度计算窗口及栅格单元编码

$$s = \arctan \left[\frac{\max(z_9 - z_i)}{L} \right] \quad (3)$$

式中: s ——坡度; z_i ——栅格单元的高度值; L ——两个相邻栅格单元中心点之间的距离(当位于 1,3,5,7 位置时, $L=d$;当位于对角线位置 2,4,6,8 时, $L=\sqrt{2} \times d$, d ——栅格单元的分辨率), $i=1,2,3 \dots 8$ 。

2.2 栅格单元坡长的计算

根据通用土壤流失方程坡长的定义,计算坡长首先确定坡面漫流的起点,即地形高点,如山脊,和漫流汇聚的地区,如河道、湖泊等集水区。坡度降低出现沉积的地区是由截止角度来表征的,截止角度定义为沿最大坡降方向相邻像元的坡度变化率,其取值范围为 0~1。如果坡度降低的速率大于截止角度,沉积就会出现,该栅格单元的坡长值记为零。应该指出,自然界中真实的地形斜坡长度大于栅格单元长度的情况比较常见,位于地形斜坡不同部位的栅格单元,由于坡面漫流的汇聚作用,使得地形斜坡下部的栅格单元所承受的坡面漫流的侵蚀作用大于其上部的栅格单元,即随着坡长的增加,坡面漫流的侵蚀能力是不断增加的。因此,每个栅格单元的坡长值用累积坡长值来表征,累积坡长就是从地形高点开始,沿着最大坡降方向,不断累加形成的。

2.3 算法流程与优化处理

本文讨论的算法是基于 ArcGIS 的 GRID 模块进行设计的,基本的思路是充分利用 GRID 模块自带的函数,利用 AML 语言进行二次开发实现自定义的功能。

算法的基础数据为 DEM 数据,按照 GRID 模块函数的要求,DEM 数据要进行预处理,即填平(去洼)处理,其主要目的是为了防止坡度计算过程中出现负值(负值代表非侵蚀,填平后其值为零,并不改变该地点的实际地形意义)。完成数据预处理之后,计算最大坡降方向和最大坡降坡度。在计算栅格单元累积坡长之前,先计算每个栅格单元的非累积

坡长,计算算法是如果该栅格单元的最大坡降方向为对角线方向,则该栅格单元的非累积坡长为栅格单元长度的 1.4 倍,否则,为栅格单元的长度。确定坡长的起点,即地形高点,也是计算累积坡长之前必须进行的工作。地形高点定义为没有其它栅格单元的坡面漫流流入或者有其它单元的坡面漫流流入,但其高程值相等的栅格单元。认为作为地形高点的栅格单元,其坡面漫流的起点在栅格单元中心,只有一半距离的栅格单元区存在侵蚀,故其累积坡长为该栅格单元非累积坡长的一半。最后,累积最大坡降坡长的计算,只需要从地形高点开始,按照最大坡降方向进行累加计算即可。这里有两假定:第一,在不同方向坡面漫流汇聚地区,以最长的累积坡长为主导;第二,当相邻栅格单元沿最大坡降方向的坡度减少速率大于截止角度时,处于下方的栅格单元没有侵蚀,坡长应设为零,累积坡长从此处重新起算。

每个栅格单元的坡度和坡长值确定以后,采用公式(2)可以计算该栅格单元的地形因子值。

在实际的计算过程中,我们发现该算法虽能完成计算任务,但计算效率太低,在一般微机上很难完成区域范围地形因子的快速计算。同时,在坡度较小的地区,计算所得累积坡长值偏大。

根据坡长终止的条件,坡面漫流汇聚成水道的地区是坡长的终点。因此,引入水系数据,其作用是确定汇水区,在汇水区,发生的侵蚀属于水道或河流侵蚀,与通常意义上通用土壤流失方程所预测的面蚀和细沟侵蚀是完全不同的概念,因而认定汇水区内栅格单元的累积坡长值为零。水系矢量数据经过矢栅转换生成水系栅格数据,水系栅格数据与地形高点数据进行叠合,得到地形高点与汇水区栅格数据,即得到累积坡长起点和终点之一的栅格数据。其它待计算累积坡长的栅格单元被限定在坡长起点和终点之间,一方面提高了计算效率,另一方面也减少了不合理累积坡长值出现的机率(图 2)。

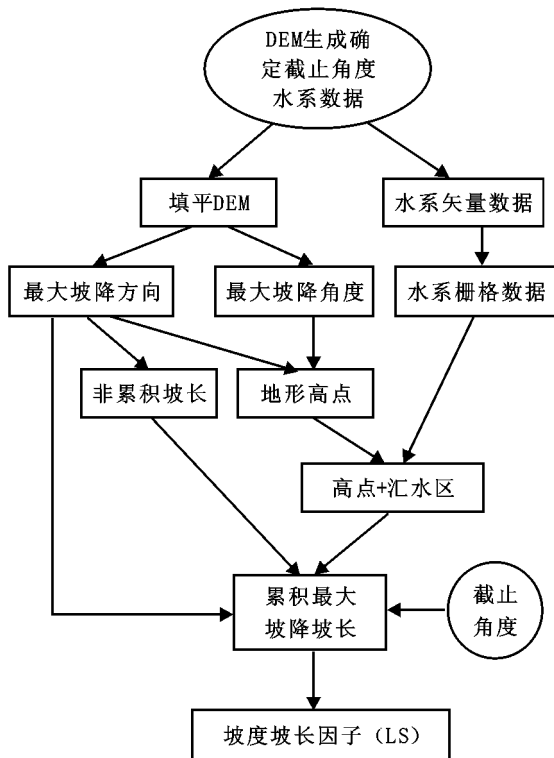


图 2 基于 DEM 通用土壤流失方程地形因子的算法流程

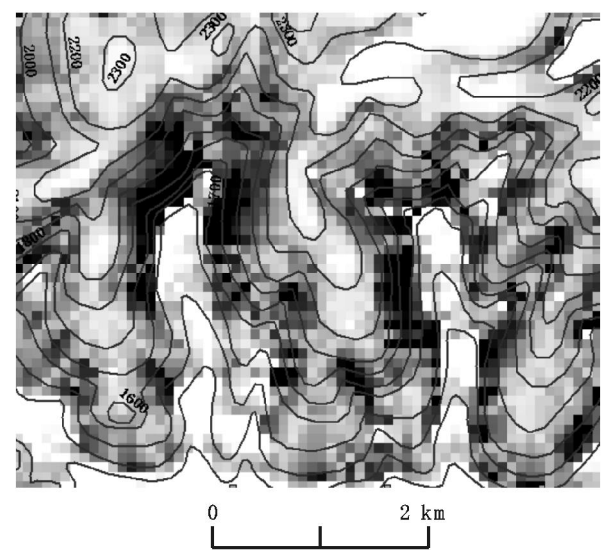


图 3 LS 因子栅格数据与等高线矢量数据叠加图

3 应用实例

在湖北三峡香溪河某个支流流域,用 1:25 万的等高线图数字化后生成 DEM 数据,取栅格单元大小为 30 m×30 m,采用本文所介绍的方法计算通用土壤流失方程中的土壤侵蚀地形因子值,得到最小值为 0,最大值为 190,平均值为

参考文献:

[1] Wischmeier W H, D D Smith. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation[Z]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb. No.282,1965.

[2] Wischmeier W H, D D Smith. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning with Universal Soil Loss Equation (USLE)[Z]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb. No.537,1978.

[3] Renard, K G, Foster, G R, Weesies, G A,et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [Z]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb. No.703,1996.

[4] 张照录,薛重生.通用土壤流失方程的研究进展及其改进方法[J].地学前缘,2004,11(4):608.

[5] 蔡崇法,丁树文,史志华,等.应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J].水土保持学报,2000,14(2):19-24.

[6] 肖寒,欧阳志云,王效科,等. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):75-80.

[7] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算[J].自然资源学报,1999,14(1):62-67.

[8] Dunn, M, R Hickey. The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS[J]. Cartography, 1998, 27(1):9-15.

[9] Hickey, R A Smith, P Jankowski. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1994, 18(5):365-380.

(上接第 202 页)

的多少,进一步影响后面影像的目视解译和专题信息提取。本文在实验区内,利用最佳波段组合指数法(OIF 法)与地物光谱信息相结合,最后确定 453 波段为最佳波段组合,在该

参考文献:

[1] 梅安新,彭望碌,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001.

[2] 赵英时,等.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.

[3] 戴昌达,姜小光,等.遥感图像应用处理与分析[M].北京:清华大学出版社,2004.

[4] 姜小光,王长耀等.成像光谱数据的光谱信息特点及最佳波段选择——以北京顺义区为例[J].干旱区地理,2001,23(03):214-220.

[5] 钱乐祥,等.遥感数字影像处理与地理特征提取[M].北京:科学出版社,2004.

[6] 刘建平,赵英时.高光谱遥感数据解译的最佳波段选择方法研究[J].中国科学院研究生院学报,1999,16(2):153-160.

26,其中小于通用土壤流失方程中规定的 LS 最大值 72 的地形因子值占总数的 95%。总体上看,结果是非常令人满意的,并且与实际情况吻合的较好。如图 3 所示,在山顶平台和水流汇集处,LS 值较低(白色区),相反,在等高线密集的陡坡之处(深色区),LS 较高。之所以出现较大的地形因子值,是因为所用的 DEM 数据精度低,不能详细表达地形的局部变化特征,加上水系数据也不够详细,致使累积坡长值过大,从而导致个别较高的地形因子值。

4 结论与认识

基于 DEM 通用土壤流失方程地形因子的计算方法可以充分利用 GIS 技术的空间分析功能,实现大范围区域地形因子的快速提取工作,最大坡降坡度的计算方法只考虑最大坡降方向的两个像元,保留了局部地形的变化特征,并且减少了计算量。累积坡长的定义较好的描述了自然界的实际情况,并且通过截止角度的引入和汇水区的叠加,标明了无侵蚀区域。同时,水系数据的引入大大提高了计算效率,使结果更加合理。DEM 数据精度是影响计算结果的重要因素,由于受计算机硬件设备的限制,通常 DEM 数据的精度不能太高,这就使得局部地形特征丢失,导致累积坡长的计算值偏高,从而影响最终的结果。需要指出的是,区域范围的大小与 DEM 数据精度之间的对应关系,即一定区域该用何种精度的 DEM 数据,仍需要进一步研究。

图像上,居民地信息为蓝色,能和背景地物较好的区分开,效果较好。实验表明,该方法操作简便,快捷,是进行假彩色合成的一种行之有效的办法。