

基于栅格 GIS 土壤侵蚀地形因子的提取算法

张照录¹, 崔继红²

(1. 山东理工大学资源与环境工程学院, 淄博 255049; 2. 华中农业大学经贸—土管学院, 武汉 430070)

摘 要: 论述了基于栅格 GIS 土壤侵蚀地形因子的计算方法和流程, 在 ARCGIS 栅格模块中利用 AML 开发了通用土壤流失方程地形因子的计算程序, 并给出了程序核心部分的编码。实际应用表明, 计算结果的精度依赖于数据源的精度。

关键词: 栅格 GIS; 土壤侵蚀; 通用土壤流失方程; 地形因子; AML

Algorithm of Topographic Factors for Soil Erosion Based on Grid GIS

ZHANG Zhaolu¹, CUI Jihong²

(1. Faculty of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049;

2. Faculty of Economics and Trade International—land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

【Abstract】 This article discusses the algorithm and the flowchart of topographic factors for soil erosion based on grid GIS. Under the environment of ARCGIS grid, the program of computing topographic factors for universal soil loss equation is developed with arc macro language (AML). At the same time, the core codes of the program are supplied. The real application indicates that the precision of the results depends on the precision of data sources.

【Key words】 Grid GIS; Soil erosion; Universal soil loss equation (USLE); Topographic factors; AML

在土壤侵蚀研究领域中, 众多的土壤侵蚀模型, 如 USLE、RUSLE、ANSWERS、AGNPS、WEPP 等, 都需要地形因子作为重要的基础数据。地形因子主要是指坡度因子(S)和坡长因子(L), 由坡度(β)和坡长(l)来计算。传统的坡度和坡长要靠野外实地测量来获取, 这在研究区域较大时, 往往是不现实的。地理信息系统软件的发展, 为空间问题的研究提供了强大的支撑平台。在 ESRI 公司 ARCGIS 地理信息系统软件的栅格模块(GRID)中, 利用其开发语言 AML 进行二次开发, 理论上可以实现基于栅格数据运算的任一尺度的坡度和坡长的自动提取, 从而实现坡度因子和坡长因子的自动生成。本文以 USLE 模型中坡度因子和坡长因子的求取过程为例, 详细介绍整个算法的过程及其实现。

1 算法描述

1.1 问题的由来

土壤侵蚀是发生在地球表面的一种自然现象, 不同地点的土壤侵蚀等级是不同的。土壤侵蚀的强弱程度受多种因子的共同影响, 其中地形因子就是其中之一。坡度越大, 坡长越长, 土壤侵蚀的强度就越大, 这种影响能力通过坡度因子和坡长因子来量化。一个地区的坡度和坡长是连续变化的, 为了问题的简化, 通常把整个研究区域划分为一系列大小相等的栅格, 认为每个栅格单元的坡度和坡长是相同的, 这样一来, 区域坡度因子和坡长因子的计算转化为求取每个栅格单元的坡度因子和坡长因子。

1.2 基本概念

基于栅格的坡度计算方法有很多, 其结果也有较大差异^[1], 本文采用最大坡降坡度法^[3]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

$$s = a \tan \left[\frac{\max(z_9 - z_i)}{L} \right]$$

s 为坡度, z_i 为栅格单元的高度值, L 为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 为栅格单元的分辨率), $i=1, 2, 3, \dots, 8$ 。

6	7	8
5	9	1
4	3	2

图 1 坡度计算窗口及栅格单元编码

USLE 中坡长的定义为: 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) 坡面漫流汇聚成汇水区的地区^[4]。因此, 计算坡长首先找出坡面漫流的起点, 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, 该单元的坡长值等于 0。随着坡长的增加, 侵蚀是不断增加的, 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。

1.3 算法的流程

算法的基础数据为数字高程数据 (Digital Elevation

作者简介: 张照录 (1976—), 男, 博士生、讲师, 主研方向: 地理信息系统开发与应用; 崔继红, 硕士生

收稿日期: 2005-03-08 **E-mail:** zzl28@yeah.net

Model, DEM) 和水系数据。获取 DEM 的方法有多种, 最经济、最常用的当属数字化地形图, 由等高线数据转换而来。DEM 数据要进行预处理, 即填平处理, 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 0, 并不改变该地点的实际地形意义)。完成预处理之后, 计算最大坡降方向和最大坡降坡度, 然后计算每个栅格单元的非累积坡长, 找出地形高点。水系数据的作用是确定汇水区, 即坡长的终点。水系数据经矢——栅转换后, 与地形高点栅格数据进行关系运算, 得到地形高点和汇水区的叠加数据, 即确定了坡长起点和终点的栅格数据。截止角度的确定一般由对研究区比较熟悉的专家确定, 默认情况下为 0.5。具有了以上多种数据之后, 就可以计算累积坡长, 并最终生成 USLE 模型中要求的坡度因子和坡长因子 (图 2)。

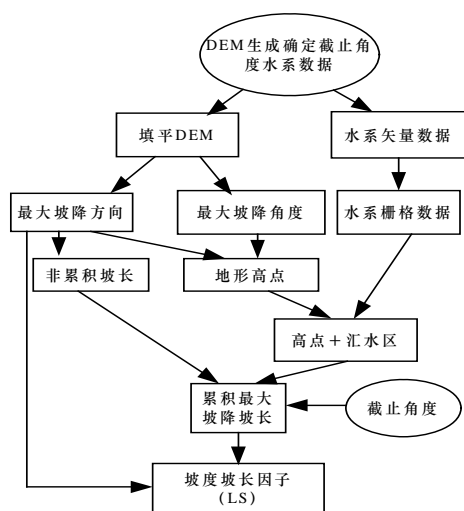


图 2 基于栅格 GIS 土壤侵蚀地形因子的算法流程

2 算法的实现及实例

DEM 数据的填平处理由 GRID 模块 FILL 命令完成, 最大坡降方向由函数 FLOWDIRECTION 确定。需要说明的是, 由 FLOWDIRECTION 计算的水流方向和最大坡降方向是相同的。最大坡降坡度的计算按前述公式进行, 程序较为简单。非累积坡长的计算也比较简单, 如果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。

2.1 地形高点及汇水区栅格数据的生成

地形高点定义为没有其它栅格单元的坡面漫流流入或者没有其它单元的坡面漫流流入, 但其高程值相等的栅格单元。地形高点的确定是逐个栅格单元进行的, 计算窗口采用 3×3 大小 (图 1)。用 FOCALFLOW 函数确定每个栅格单元可能的坡面漫流流入方向, 如果邻域栅格单元的高度值大于中心栅格单元的高度值, 则该方向为可能的坡面漫流流入方向之一, 其标志值为 2^{n-1} (n 为邻域栅格单元编号), 否则为 0。邻域栅格单元全部标志值之和赋给中心栅格单元作为中心栅格单元的可能的坡面漫流流入标志。如果任意一个方位有坡面漫流流入的可能且该方位邻域栅格单元的最大坡降方向指向该单元, 则该栅格单元不是地形高点, 其值设为空值。如果坡度为 0, 无侵蚀发生, 其累积坡长为 0。如果是地形高点, 认为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, 故累积坡长为该栅格单元非累积坡长的一半。 sl_inflow 为坡面漫流流入方向栅格数据, sl_flow_buf

为带一个栅格宽度缓冲区的最大坡降方向栅格数据, sl_ncsl 为非累积坡长栅格数据, sl_hipts_nodata 为地形高点栅格数据, sl_slope 为最大坡降坡度栅格数据。

```

if (%sl_slope% eq 0)
%sl_hipts_nodata% = 0.0
else if ((%sl_inflow% && 64) and (sl_flow_buf(0, -1) eq 4))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 128) and (sl_flow_buf(1, -1) eq 8))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 1) and (sl_flow_buf(1, 0) eq 16))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 2) and (sl_flow_buf(1, 1) eq 32))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 4) and (sl_flow_buf(0, 1) eq 64))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 8) and (sl_flow_buf(-1, 1) eq 128))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 16) and (sl_flow_buf(-1, 0) eq 1))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else if ((%sl_inflow% && 32) and (sl_flow_buf(-1, -1) eq 2))
%sl_hipts_nodata% = setnull(1 eq 1)
else
%sl_hipts_nodata% = 0.5 * %sl_ncsl%
endif
  
```

水系数据与地形高点数据进行关系运算的规则为: 如果水系栅格数据为空值, 该栅格单元值为地形高点栅格数据的相应栅格单元值, 如果非空, 则为 0, 其表达式为

```
%sl_cum_l% = con (isnull(waterarea), %sl_hipts_nodata%, 0)
```

得到的栅格数据 sl_cum_l 确定了坡长起点和作为坡长终点之一的汇水区。

2.2 累积坡长的计算

累积最大坡降坡长所需要的基础数据已全部具备, 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:

- (1) 在不同方向坡面漫流汇聚地区, 以最长的累积坡长为主导;
- (2) 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 0, 累积坡长从此处重新起算。

以 sl_cum_l 为基础, 从 8 个不同方向分别沿最大坡降方向累加坡长, 每次累加结束后, 选择最大值作为栅格单元的累积坡长值, 直到栅格数据中没有空值, 即每个栅格单元都有累积坡长为止。以下为该程序的核心代码。

```

/* 测试该单元是否可能有上游单元作为水流来源, 如果没有,
那么该单元将被赋 0 值, 如果有可能, 进行下一步测试
if(not(%sl_inflow% &&%possible_cell_direction%))
%from_cell_grid% = 0
/* 测试上游栅格单元的最大坡降方向是否指向该栅格单元, 如果
是, 进行下一步测试, 如果不是, 赋 0 值
else if (sl_flow_buf (%column%, %row%) < > % from_cell_
direction%)
%from_cell_grid% = 0
/* 测试本栅格单元是否有值, 如果已经有值, 用原值, 否则进
行下一步测试
else if (not (isnull (sl_out_old)))
%from_cell_grid% = sl_out_old
/* 测试上游栅格单元是否为空值, 如果为空, 赋空值, 如果非
空, 进行下一步测试
else if (isnull(sl_out_old(%column%, %row%)))
  
```

```

%from_cell_grid% = setnull(1 eq 1)
/* 测试是否满足截止角度要求, 如果是, 赋 0 值, 如果不是,
上游栅格单元的累积坡长加该单元的非累积坡长作为该单元的累积
坡长
else if (%sl_slope% >= (%sl_slope%(column%, row%) *
%cutoff_value%))
    %from_cell_grid% = sl_out_old(column%, row%) +
%sl_ncsl%
else
    %from_cell_grid% = 0
endif

```

2.3 坡长因子和坡度因子的生成

有了最大坡降坡度和累积坡长, 就可以计算坡长因子和坡度因子了, 其计算公式为

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

其中, LS 为地形因子, l 为坡长 (英尺), β 为坡度 (弧度), m 是一个随坡度变化的变量。当 $\beta < 0.57^\circ$ 时, $m = 0.2$; $0.57^\circ \leq \beta < 1.72^\circ$, $m = 0.3$; $1.72^\circ \leq \beta < 2.86^\circ$, $m = 0.4$; $2.86^\circ \leq \beta$, $m = 0.5$ 。

2.4 应用实例

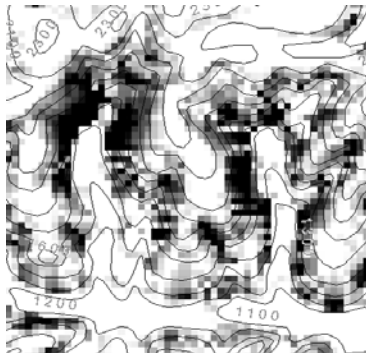


图 3 LS 因子栅格数据与等高线矢量数据叠加图

在湖北三峡香溪河某个支流流域, 用 1: 250 000 的等高线图数字化后生成 DEM 数据, 采用本文所介绍的方法计算 USLE 模型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 26, 其中小于 USLE 模型中规定的 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得较好。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。

3 方法评价

基于栅格 GIS 的地形因子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地描述了自然界的实际情况, 并且通过截止角度的引入和集水区的叠加, 标明了无侵蚀区域。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。如果 DEM 数据足够精细, 并且集水区准确标定, 计算的结果与实际值会更加符合。

参考文献

- 1 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) [M]. Washington D C: USDA-ARS, Agriculture Handbook, No.703,1998.
- 2 Dunn M, Hickey R. The Effect of Slope Algorithms on Slope Estimates Within a GIS[J]. Cartography, 1998, 27(1): 9-15.
- 3 Hickey R, Smith A, Jankowski P. Slope Length Calculations from a DEM Within ARC/INFO GRID[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1994, 18(5):365-380.
- 4 Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning with the Universal Soil Loss Equation (USLE)[M]. Washington D C: USDA-ARS, Agriculture Handbook, No.537,1978.

参考文献

- 1 Object Management Group. Audio/Video Stream Specification, OMG Document: Formal/00-01-03[Z]. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/00-01-03.pdf>, 2000.
- 2 冯名正. 一个安全的 CORBA 音/视频流服务模型: SecStream[J]. 软件学报, 2004, 15(11): 1733-1740.
- 3 Kalogeraki V, Moser L, Melliar-Smith P. A CORBA Framework for Managing Real-time Distributed Multimedia Applications[C]. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000, 2: 908-918.
- 4 张 玥. CORBA 系统安全服务的研究与实现[D]. 南京: 东南大学, 2003.
- 5 Wu X, Moo P. Joint Image/video Compression and Encryption via High-order Conditional Entropy Coding of Wavelet Coefficient [C]. Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, 1999, 2: 908-912.
- 6 杨 鹏, 杜庆伟, 董永强. CORBA 音/视频流规范的研究与实现 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2003, 33 (4): 396-400.

(上接第 209 页)

4 结束语

CORBA A/V 流规范对传统的 CORBA 请求/应答模式做出了改进, 将多媒体流数据的传输和流的控制、管理操作分离, 不仅可以在异构分布环境下通信, 也能满足多媒体应用对实时性的苛刻要求, 从而极大推动了基于 CORBA 的分布式多媒体流应用的发展。对流服务的研究作出了两方面的贡献:(1)引入服务管理策略,通过增加服务仲裁者和本地 agent, 并且改进多媒体对象选择策略, 以全面监控、调度系统资源的使用, 增强了服务质量确保能力;(2)表述了流规范在安全性方面的不足, 通过扩展研究 CORBA 安全服务和结合压缩的媒体数据加密技术, 增强了流服务原型系统安全性并降低了加密计算复杂度。将上述改进后的流服务原型应用于网络化集成制造系统中, 能为用户提供安全的分布多媒体通信, 并保证实时多媒体应用严格的 QoS 要求, 具有良好的应用前景。