

# 基于局部地表形态的可变过水宽度多流向算法

程海洲 熊立华

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 流向是地形分析中的重要内容之一, 在分布式水文模型等研究中起着重要作用。文章提出基于局部地表形态的多流向算法, 即对每一个 DEM 栅格, 在以其为中心的 3 × 3 窗口中进行局部地形分析, 确定基于随坡度和过水宽度而变化的水流分配系数。该方法被应用在实际数字地形模型上, 并以汇水面积和比汇水面积为研究指标, 与目前流行的 D8、Dinf 等算法进行了相似性分析。结果表明, 该方法能够获得更为符合实际的水流汇集的空间分布。

关键词: 地表形态; 可变过水宽度; 多流向算法

中图分类号: P334+.92 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2011)02-0218-08

流域地形分析已经成为构建分布式水文模型过程中不可缺少的一部分<sup>[1~3]</sup>, 其主要作用就是将数字地形资料做进一步解释, 以得到与地形有关的地表水文学的一些关键因子, 如流向、流量和流域、土壤湿度、地形指数、河网等, 以及获取评估流域内土壤侵蚀、泥石流、滑坡等自然现象的重要参数<sup>[4~12]</sup>。Moore 明确指出了在地形分析过程中算法选择的重要性, 认为利用 GIS 等进行水文过程或现象的空间特性分析与所采用的方法高度相关, 方法上的差别在环境模型研究和数据库开发中是不应忽视的<sup>[13]</sup>。

由于地形表面特征的复杂性、DEM 获取和处理过程中存在各种误差以及研究方法和手段的不同, 各种各样的水流分配算法被不断提出<sup>[14~17]</sup>, 这些流向算法大致分为单流向算法(SFD)和多流向算法(MFD)两类。最早、最简单的水流分配算法是 D8 方法<sup>[14]</sup>, 该算法根据 DEM 栅格单元和 8 个与其相邻的单元格之间的最大坡度来确定水流方向; 各栅格单元间的流向具有确定性和不连续性, 且只有下游的唯一单元格接受上游的来水量, 这使得二维的流面过程转化为一维的流线过程。因此, 该方法被广泛应用于绘制水流流向图和计算流域水文特征<sup>[18]</sup>。但是 D8 算法确定的水流方向太粗, 往往造成偏向某一单元格的现象; 对 DEM 高程数据比较敏感, 较小的高程误差可能引起很大的水流

方向的变化, 导致虚假的汇流现象。这些都会影响数字高程模型在水文模拟的应用<sup>[11]</sup>。为解决单流向算法不适于模拟实际表面(尤其是坡面)的水流状况, 很多水文学家陆续提出了许多基于 DEM 的多流向算法, 可概括为如下的基本形式:

$$f_i = \frac{(\tan\beta_i)^p \cdot L_i}{\sum_{j=1}^8 (\tan\beta_j)^p \cdot L_j} \quad \beta > 0, i = 1, \dots, 8 \quad (1)$$

其中  $f_i$  是中心单元格水流对第  $i$  个邻域单元格的分配系数;  $\tan\beta_i$  是中心单元格对第  $i$  个邻域单元格的坡度;  $p$  是指数因子, 且  $p > 0$ , 以保证坡度越陡的方向得到越多的水流;  $L_i$  是第  $i$  个邻域方向的等高线宽度。若单元格的边长为  $\Delta L$ , 式(1)中的  $L_i$  通常定义为<sup>[12]</sup>:

$$L_i = \begin{cases} \frac{1}{2}\Delta L, & \text{第 } i \text{ 个邻域单元格高程低于中心} \\ & \text{单元格高程, 且位于水平或垂直方向;} \\ \frac{\sqrt{2}}{4}\Delta L, & \text{第 } i \text{ 个中心单元格高程低于中心} \\ & \text{单元格高程, 且位于对角线方向;} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 个中心单元格高程不低于} \\ & \text{中心单元格高程} \end{cases} \quad (2)$$

从式(1)、式(2)可以看出  $p$  的选取对水流分配系数有直接影响, 可以出现两种极端情况。当

收稿日期: 2010-01-15; 修订日期: 2010-02-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079098)、国家自然科学基金重点项目(40730632)资助。

作者简介: 程海洲(1983-), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 主要研究方向为流域水文模型。E-mail: 25247274@qq.com

$p = 1$  时,水流按每一流向的坡度和等高线宽度所占不同比例分配给下坡向单元格,与 Quinn 等<sup>[12]</sup>提出的多流向算法(以下简称为 MS 算法)相同;但  $p$  趋向于无穷大时,水流分配接近于 D8 算法,水流沿最大坡度方向流出。

在多流向算法中,确定合理的水流分配比例公式是提高多流向算法模拟效果的关键。然而,在实际应用中,仅仅采用常数[式(2)中的  $L_i$ ]来决定水流的分配是不充分的。因此,本文基于多流向算法的基本假设,考虑了局部地表形态的影响,提出了一种可变过水宽度的多流向算法,以下简称为 VFWM (variable flow width method) 算法。为了检验 VFWM 算法的应用效果,本文选择了累积上游汇水面积提取的河网、实际河网、汇水面积、比汇水面积等作为评价指标,在实际地形资料的基础上,分别与 D8、Dinf<sup>[16]</sup> 和 MS 算法计算的结果进行了对比分析。

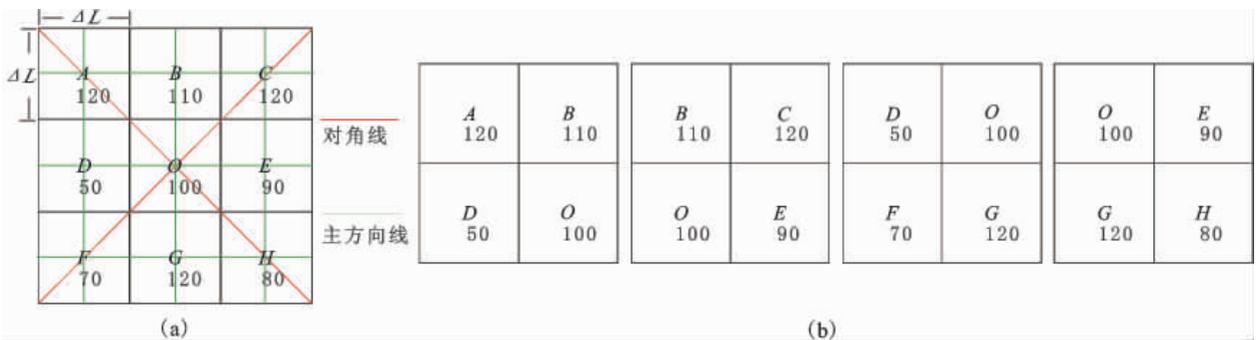


图1  $3 \times 3$  窗口及其确定的4个局部地表形态

Fig. 1 A  $3 \times 3$  cell window and four topography forms determined within  $3 \times 3$  cell window

## 2 过水宽度

### 2.1 阻流与出流分界点

每一个  $3 \times 3$  窗口中4个局部地表形态的存在,势必对中心单元格的出流状况产生影响。在图2a中,中心单元格的4条边  $ab$ 、 $bc$ 、 $cd$ 、 $da$ , 被主方向线和对角线分割为  $ae$ 、 $eb$ 、 $bf$ 、 $fc$ 、 $cg$ 、 $gd$ 、 $dh$ 、 $ha$  8个线段,每一线段部分处在相应的局部地表形态之中,必然对中心单元格的水流产生不同比例的阻挡和出流作用。每一线段的这种不同比例的阻挡和出流作用把该线段划分成两个部分,两个部分的交点即为分界点,如线段  $fc$  上存在分界点  $i$ 。

现以图2a中右下方的局部地形  $OEHG$  为分析对象来说明如何确定阻流与出流分界点。其中,中

## 1 局部地表形态

在 DEM 分析中,任意一个中心单元格与其邻近的8个单元格构成1个  $3 \times 3$  分析窗口,本文采用  $3 \times 3$  窗口定义1个地表形态,作为分析的基本地形单元。每一个  $3 \times 3$  窗口可划分为4个局部地表形态,每一个局部地表形态就是由以中心单元格为方形区域某一顶点的  $2 \times 2$  窗口确定。中心单元格的水流向邻近单元格的出流受其所处局部地表形态的控制。

如图1a所示,中心单元格  $O$  及其邻近的单元格  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$ 、 $G$ 、 $H$  单元格组成了一个  $3 \times 3$  窗口,其中,各单元格的边长为  $\Delta L$ ,各高程值如图注所示,中心单元格的主方向线为  $BOG$ 、 $DOE$ , 对角线为  $AOH$ 、 $COF$ 。如图1b所示,该  $3 \times 3$  窗口可进一步被划分为4个局部地表形态,分别为  $ODAB$ 、 $OBCE$ 、 $OGFD$ 、 $OEHG$ 。

心单元格  $O$  与邻近单元格  $E$ 、 $H$ 、 $G$  之间的坡度分别为  $\tan OE > 0$ 、 $\tan OH > 0$ 、 $\tan OG < 0$ 。因为  $\tan OE$ 、 $\tan OH$  均大于0,则中心单元格的水流经由  $fc$  的一部分  $if$  流向单元格  $E$ , 经由  $fc$  的另一部分流向  $ic$  单元格  $H$ ; 而由于  $\tan OG < 0$ 、 $\tan OH > 0$ , 则中心单元格的水流不能经过线段  $cg$  中的  $jc$  部分流向单元格  $G$ , 但能经过线段  $cg$  中  $jc$  部分流向单元格  $H$ 。

确定线段  $fc$  上分界点  $i$  的计算关系式如下:

$$if/ic = \tan OE / \tan OH \quad (3)$$

$$\Rightarrow if / (ic + if) = \tan OE / (\tan OH + \tan OE)$$

$$\Rightarrow if = fc [\tan OE / (\tan OH + \tan OE)]$$

$$\text{即, } if = (1/2) \Delta L [\tan OE / (\tan OE + \tan OH)] \quad (4)$$

同理,确定线段  $cg$  上分界点  $j$  的计算关系式如下:

$$jg/jc = |\tan OG| / \tan OH \quad (5)$$

$$\text{即, } jg = (1/2)\Delta L [ |\tan OG| / (|\tan OG| + \tan OH) ] \quad (6)$$

## 2.2 子分区

在任意一个  $3 \times 3$  分析窗口中,通过对中心单元格周围 8 个方向做一定的流向编码,用来确定中心单元格的出流方向(图 2b 中 1, …, 8)。由于中心单元格上各个不同分界点的存在,各分界点与中心单元格中心的连线及中心单元格的主方向线和对角线,把中心单元格的邻域分割成 16 个子分区(图 2b 中 [1], …, [16]),即每一个流向编码分别对应 2 个子分区。

## 2.3 阻流宽度和出流宽度

中心单元格边上 8 个线段部分的任一线段的阻挡和出流作用直接影响着水流向邻近单元格分配的状况,本文采用阻流宽度和出流宽度来衡量这些作用的大小,它们都与当前单元格的坡度方向垂

直。现以局部地形  $OEHG$ (图 2c)来说明阻流宽度和出流宽度的计算方法。以  $OEH$  为对象,由分界点  $i$  分别向主方向线和对角线引垂线  $if$ 、 $im$ ,因为  $\tan OE$ 、 $\tan OH$  均大于 0,则  $if$  为中心单元格水流流向单元格  $E$  的第 [10] 分区的出流宽度  $l^{[10]}$ 、 $im$  为中心单元格水流流向单元格  $H$  的第 [16] 分区的出流宽度  $l^{[16]}$ 。同理,以  $OGH$  为对象,由分界点  $j$  分别向主方向线和对角线引垂线  $jc$ 、 $jn$ ,因为  $\tan OG < 0$ 、 $\tan OH > 0$ ,则  $jc$  为中心单元格水流流向单元格  $G$  的第 [14] 分区的阻流宽度  $l^{[14]}$ 、 $jn$  为中心单元格水流流向单元格  $H$  的第 [15] 分区的出流宽度  $l^{[15]}$ 。上述两个对象具体的计算关系式如下:

$$l_{[10]} = if \quad (7)$$

$$l_{[16]} = im = (1/\sqrt{8})\Delta L [\tan OH / (\tan OE + \tan OH)] \quad (8)$$

$$l_{[14]} = jc \quad (9)$$

$$l_{[15]} = jn = (1/\sqrt{8})\Delta L [\tan OH / (|\tan OG| + \tan OH)] \quad (10)$$

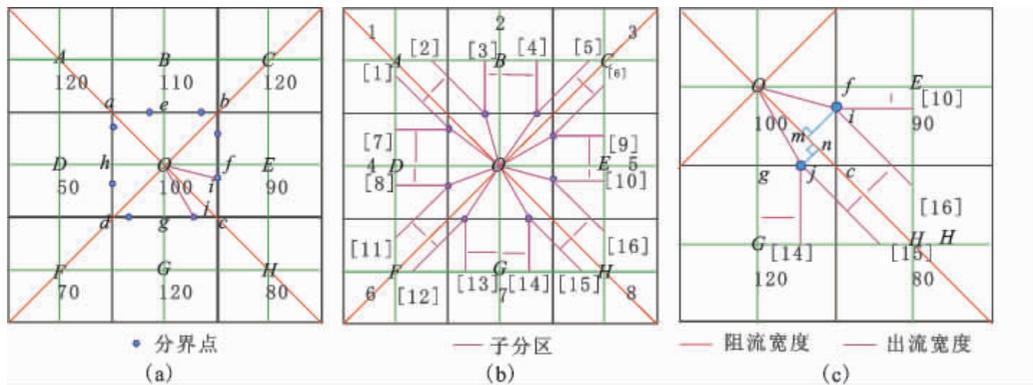


图 2 确定阻流与出流分界点(a)、子分区(b)、阻流宽度和出流宽度(c)

Fig. 2 Determination of dividing points and outflow section (a), delineation of sub-regions (b), widths of blocking section and outflow section (c)

## 2.4 平均坡度

在局部地形  $OEHG$  中(图 2c),分界点  $i$ 、 $j$  与中心单元格中心  $O$  的连线分别为  $O_i$ 、 $O_j$ ,它们的坡度分别为  $\tan O_i$ 、 $\tan O_j$ ,各子分区上的平均坡度分别为  $\tan \beta_{[10]}$ 、 $\tan \beta_{[16]}$ 、 $\tan \beta_{[15]}$ 、 $\tan \beta_{[14]}$ 。对于  $OEH$  对象来说,存在两个出流宽度  $if$  和  $im$ , $O_i$  坡度可取相邻主方向线坡度、对角线坡度和对应出流宽度的加权平均,计算关系式为:

$$\tan O_i = (if \cdot \tan OE + im \cdot \tan OH) / (if + im) \quad (11)$$

$$\tan \beta_{[10]} = (1/2) (\tan OE + im \cdot \tan O_i) \quad (12)$$

$$\tan \beta_{[16]} = (1/2) (\tan O_i + \tan OH) \quad (13)$$

同理,对于  $OGH$  对象而言,求得相应平均坡度的计算关系式为:

$$\tan O_j = 0 \quad (14)$$

$$\tan \beta_{[15]} = (1/2) \tan OH \quad (15)$$

$$\tan \beta_{[14]} = (1/2) \tan O_j < 0 \quad (16)$$

以此类推,可以得出其他子分区上的平均坡度。

## 2.5 平坦区情况

到目前为止,国内外学者已经提出了很多 DEM 洼地和平坦区预处理的方法<sup>[19]</sup>,本文采用了 W&L 综合处理算法<sup>[20]</sup>。对于平坦区,为简化计算,认为水流依旧按照已知流向出流。若整个  $3 \times 3$  窗口是一个平坦区域,如果中心单元格的水流沿

主方向出流(图 2b 中 2、4、5、7),则主方向上存在两个出流宽度,各等于 1/2 倍的单元格边长;如果中心单元格的水流沿对角线方向出流(图 2b 中 1、3、6、8),则对角线方向上存在两个出流宽度,均为 1/2 倍的单元格边长。

### 3 VFWM 算法及算法相似性分析

对于整个 3×3 窗口而言,中心单元格对邻近单元格的水流分配系数可以概括为如下形式:

$$f_i = \frac{\tan\beta_{[2i-1]} \cdot l_{[2i-1]} + \tan\beta_{[2i]} \cdot l_{[2i]}}{\sum_{[j]=1}^{16} \tan\beta_{[j]} \cdot l_{[j]}}, \quad \beta > 0, i = 1, \dots, 8 \quad (17)$$

其中  $f_i$  是中心单元格水流对第  $i$  个邻域单元格的水流分配系数; $\tan\beta_{[j]}$  是第  $[j]$  个子分区上的坡度比降; $l_{[j]}$  是第  $[j]$  个子分区上的过水宽度。各子分区上  $\tan\beta$  和  $l$  的值可以根据上述例子说明进行计算,对于阻流分区来说  $f_i = 0$ 。

为了定量分析不同流向算法之间的相似性,需要一套描述性指标,如汇水面积(Total Catchment Area, TCA)、比汇水面积(Specific Catchment Area, SCA)等<sup>[21~23]</sup>。本文以实际 DEM 数据为实验区样本,分别采用 D8、Dinf、MS 和 VFWM 算法计算实验区的 TCA 和 SCA,绘制每一种流向算法计算的 TCA 和 SCA 的累积频率分布图,同时为了避免 TCA 和 SCA 取值的尺度问题,在统计分析时对他们做了对数变换,这并不会影响他们频率分布的特征和相关性的大小。

## 4 应用结果分析与比较

### 4.1 现实地形应用分析

本文选取了美国地质调查局(USGS)在互联网上发布的美国国家高程数据库(NED)中的全美 1" (约 30 m) STRM-DEM 数据和美国国家水文数据库(NHDPLUS)中的河网数据(1:100 K)作为数据源,以德克萨斯州的 San Marcos 河流域(97.43°~98.72°W 29.49°~30.17°N)为研究区域,为了简化计算工作量,本文又选择了该流域的一个 98.69 km<sup>2</sup> 的子流域(98.07°~98.23°W 29.99°~30.11°N)为分析研究对象(图 3)。分别采用 D8 算法(由 ARC/INFO 计算完成)和 VFWM 算法,计算各单元格的累积上游汇水面积。假定河道提取阈值为 0.05 km<sup>2</sup>,从两种算法计算的累积汇水面积提取各

自的河网结构(图 4)。总的来看,VFWM 算法与 D8 算法提取的河网形态具有相近的特征,这主要是 VFWM 算法在平坦区沿用了填洼算法确定的流向计算水流分配,而这些平坦区大部分集中在河道地区。但是,D8 算法较 VFWM 算法提取的河网相比,出现了一些可能不存在的较小支流,即虚假河道,如图 4a 中的圈注位置所示;而 VFWM 算法提取的河网,减少了平行流现象,虚假河道分支较少,与实际状况更为符合。

### 4.2 流向算法相似性分析

1) TCA 和 SCA 累积频率分布图分析。图 5 给出了 4 种流向算法计算实际 DEM 的 TCA 和 SCA 对数形式的累积频率曲线分布图。在  $\ln(TCA) < 12.5$  时 4 条曲线间存在明显的差异,而其后这种差异性逐渐减小以至趋于一致,从中可以明显区分开 D8 单流向算法和 Dinf、MS、VFWM 多流向算法。D8 和 Dinf 算法计算的 TCA 和 SCA 值较小的栅格区都占了很大比例,远大于多流向算法的计算结果。而随着 TCA 值的逐渐增大,Dinf 算法计算的累积频率分布和 D8 算法计算结果趋于一致,呈现单流向算法的某些特点。MS 算法和 VFWM 算法计算的累积频率分布曲线保持近乎相同的走向,这说明这两种算法在各栅格流量分配比例的计算上,差异性已经很小;而 VFWM 算法计算的 TCA 和 SCA 最大值高于 MS 算法的计算结果。

2) 相关性分析。在相关性分析中,对于某一项评价指标,如 TCA,用两种算法 A 和 B 计算的结果分别是  $A(Y)$  [表示在  $A(Y) \sim B(X)$  散点分布图中 A 算法计算的结果作为因变量]和  $B(X)$  [表示在  $A(Y) \sim B(X)$  散点分布图中 B 算法计算的结果作为自变量],它们的相关系数为  $R^2$ 。从表 1 和表 2 可以看出,D8 算法和 Dinf 算法计算的 TCA 和 SCA 值较小部分呈现一定程度的离散分布,但随着 TCA 和 SCA 值的增大,两种算法结算的结果具有很高的线性相关关系。在 4 个流向算法中,唯有 VFWM、MS 算法结果的相关系数最高,这是中心单元格向周围高程较低的单元格分配水量的多流向算法思想的反映,而具体的多流向算法设计上的不同所引起的算法结果上差异已经不是明显。且相比 MS 算法的结果,VFWM 算法的结果减少 TCA 和 SCA 值较小的区域,增大 TCA 和 SCA 值较大的区域,这与前面分析一致。

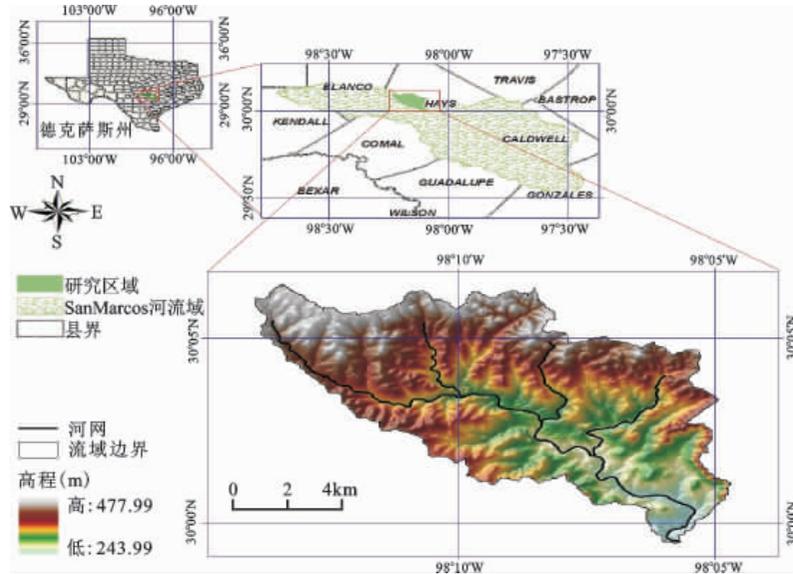
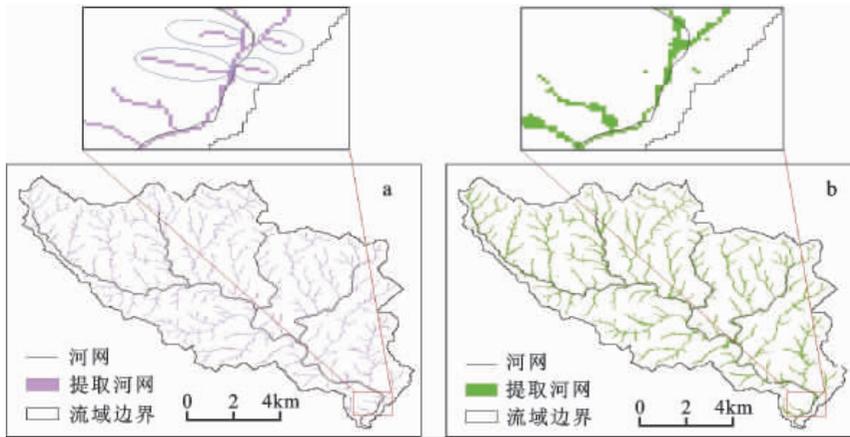


图 3 研究区地理位置

Fig. 3 Location of the study area



a. D8 算法; b. VFWM 算法

图 4 两种算法提取的河网

Fig. 4 River network extracted by two methods: (a) D8 method; (b) VFWM method

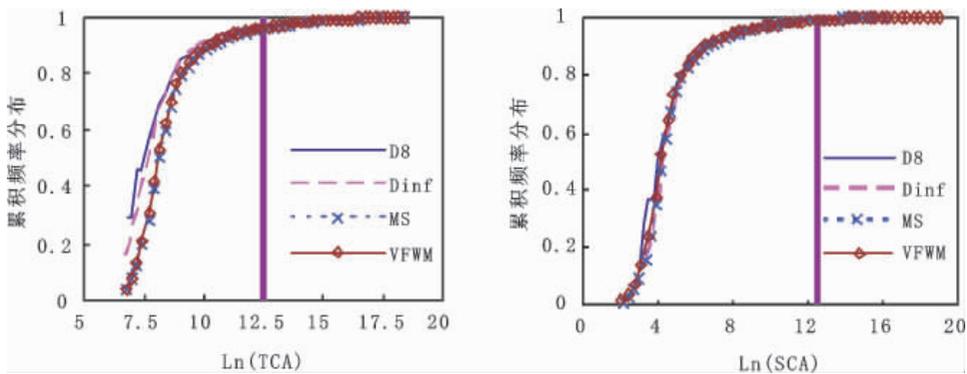


图 5 累积频率分布图

Fig. 5 Distribution of cumulative frequency

表 1 4 种流向算法结果的相关关系

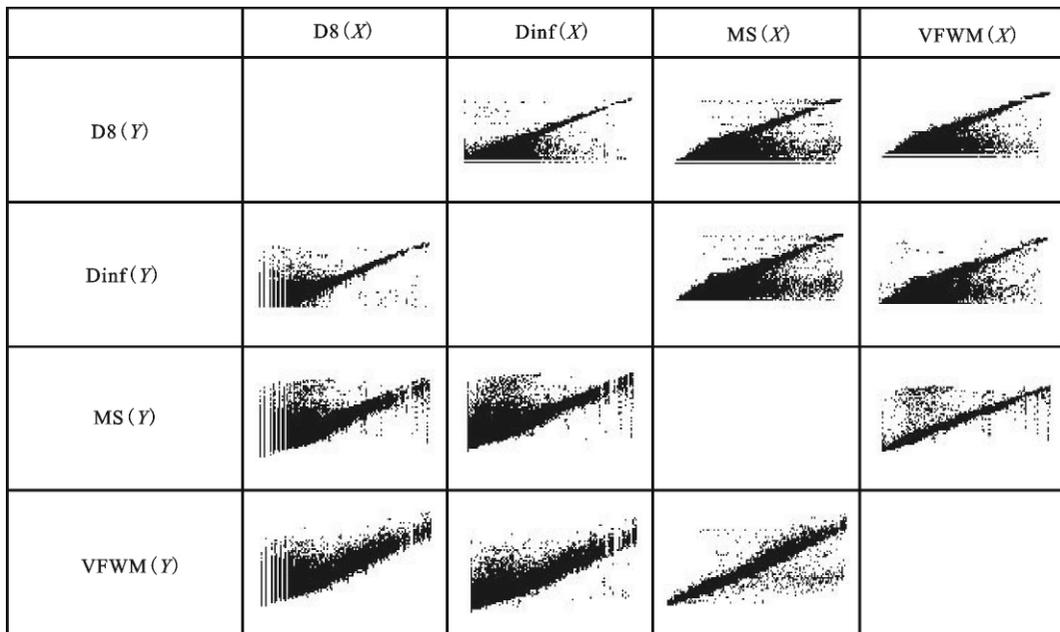
Table 1 Linear correlations among results of four different flow direction algorithms for two indices

	D8(X)	Dinf(X)	MS(X)	VFWM(X)
D8(Y)		$D8(y) = 0.97 \times Dinf(x) + 0.11$	$D8(Y) = 0.84 \times MS(X) + 0.81$	$D8(Y) = 0.90 \times VFWM(X) + 0.31$
		$R^2 = 0.94$	$R^2 = 0.80$	$R^2 = 0.84$
Dinf(Y)	$Dinf(Y) = 0.89 \times D8(X) + 0.81$		$Dinf(Y) = 0.87 \times MS(X) + 0.64$	$Dinf(Y) = 0.93 \times VFWM(X) + 0.17$
	$R^2 = 0.93$		$R^2 = 0.87$	$R^2 = 0.90$
MS(Y)	$MS(Y) = 0.88 \times D8(X) + 0.84$	$MS(Y) = 1.00 \times Dinf(X) + 0.01$		$MS(Y) = 1.00 \times VFWM(X) + 0.08$
	$R^2 = 0.82$	$R^2 = 0.88$		$R^2 = 0.97$
VFWM(Y)	$VFWM(Y) = 0.93 \times D8(X) + 0.54$	$VFWM(Y) = 0.98 \times Dinf(X) + 0.04$	$VFWM(Y) = 0.98 \times MS(X) + 0.04$	
	$R^2 = 0.86$	$R^2 = 0.91$	$R^2 = 0.97$	

注: 对角线上部以Ln(TCA)为指标, 对角线下部以Ln(SCA)为指标

表 2 4 种流向算法计算的散点分布图

Table 2 Scatter plots of results of four different flow direction algorithms for two indices



注: 对角线上部以Ln(TCA)为指标, 对角线下部以Ln(SCA)为指标

## 5 结论及讨论

本文所建立的 VFWM 多流向算法,以出流方向上的坡度和可变的过水宽度为权重来决定水流分配过程,具有清晰的物理意义。从现实地形提取的河网与真实河网的比较来看,VFWM 算法提取的河网比 D8 算法的结果减少了河道分支和平行出流现象。在所列举的几种算法间的相似性分析中,VFWM 明显减少了 TCA 和 SCA 在低值区的概率分布,增大了 TCA 和 SCA 在高值区的概率分布;

这就意味着 VFWM 算法具有较好的汇流模拟能力。

## 参考文献:

- [1] 熊立华,郭生练. 分布式流域水文模型[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] 李道峰,吴悦颖,刘昌明. 分布式流域水文模型水量过程模拟——以黄河河源区为例[J]. 地理科学,2005,25(3):299~304.
- [3] 都金康,谢顺平,罗维佳,等. 基于栅格的分布式降雨径流模拟系统及应用[J]. 地理科学,2006,26(1):58~63.
- [4] 袁雯,杨凯,吴建平. 城市化进程中平原河网地区河流结

- 构特征及其分类方法探讨[J]. 地理科学 2007, 27(3):401~407.
- [5] 雍 斌,张万昌,刘传胜.基于改进型多流向算法的地形指数空间尺度变化分析[J]. 地理科学 2007 27(5):683~688.
- [6] 赵善伦,尹 民,张 伟. GIS 支持下的山东省土壤侵蚀空间特征分析[J]. 地理科学 2002 22(6):694~699.
- [7] 唐 川,朱大奎.基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学 2002 22(3):300~304.
- [8] 武 利,张万昌,张 东,等.基于遥感与地理信息系统的分布式斜坡稳定性定量评估模型[J]. 地理科学 2004, 24(4):458~464.
- [9] 陈宁生,张 飞.2003 年中国西南山区典型灾害性暴雨泥石流运动堆积特征[J]. 地理科学 2006 26(6):701~705.
- [10] 张 婷,汤国安,王 春,等.黄土丘陵沟壑区地形定量因子的关联性分析[J]. 地理科学 2005 25(4):467~472.
- [11] Pilesjo P,Zhou Q,Harrie L. Estimating flow distribution over digital elevation models using a form-based algorithm[J]. Geographical Information Science, 1998 4(1-2):44~51.
- [12] Quinn P,Beven K,Chevallier P et al. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models[J]. Hydrological Processes, 1991 5:59~80.
- [13] 李天文,刘学军,陈正江,等.规则格网 DEM 坡度坡向算法的比较分析[J]. 干旱区地理 2004 27(3):398~404.
- [14] O'Callaghan J F,Mark D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data [J]. Computer Vision Graphics and Image Processing, 1984 28:323~344.
- [15] Jenson S K,Domingue J O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988 54(11):1593~1600.
- [16] Tarboton D G. A new method for the determination of flow directions and upslope in grid digital elevation models [J]. Water Resources Research, 1997 33(2):309~319.
- [17] Martz L W,Garbrecht J. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models[J]. Hydrological Processes, 1998 12:843~855.
- [18] Shrestha R,Tachikawa Y,Takara K. DEM based multi-directional flow path mapping using the raft method[C]// Nawarathna B. Proceedings of the International conference on monitoring, Prediction and Mitigation of Water-Related Disasters (MPMD2005). Japan:Kyoto University, Kyoto 2005:85~90.
- [19] 万 民,熊立华,卫晓婧.数字高程模型预处理方法的研究进展[J]. 水文 2008 28(5):11~17.
- [20] Wang L,Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modeling [J]. International Journal of Information Science, 2006 20(2):193~213.
- [21] 刘学军,晋 蓓,王彦芳. DEM 流径算法的相似性分析[J]. 地理研究 2008 27(6):1347~1357.
- [22] Costa-Cabral M C,Burges S J. Digital elevation model networks (DEMON):A model of flow over hill slopes for computation of contributing and dispersal areas[J]. Water Resources Research, 1994 30(6):1681~1692.
- [23] Zhou Q,Liu X. Error assessment of grid-based flow routing algorithms used in hydrological models[J]. International Journal of Geographical Information Science 2002 16(8):819~842.

## A Local Topography-based Variable Outflow Width Method for Determining Multiple Flow Directions of DEM

CHENG Hai-zhou , XIONG Li-hua

(*State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science , Wuhan University , Wuhan , Hubei 430072 , China*)

**Abstract:** It is one of the important contents in the topography analysis as well as in the hydrological distribution models that how to determine flow directions of water in each cell of DEM. Although many hydrologists have already put forward a lot of different flow direction algorithms over the past dozens of years. A new approach of assigning flow directions of DEM cell is proposed in this study , which is called local topography-based variable flow width method. This approach is based on the analysis of the local topography formation defined within a  $3 \times 3$  cell window with the recognition that the flow distribution coefficient for each flow direction is changeable with the corresponding slope and outflow width. In the paper , this method has been tested on the digital topography of an actual watershed. Two indices , the total catchment area (TCA) and specific catchment area (SCA) , produced by four flow routing algorithms including the D8 ( eight flow directions ) , Dinf ( an infinite number of possible single flow directions ) , MS ( multiple flow directions based on slope ) and the local topography-based variable flow width method , are selected to compare and analyze efficiencies of those four algorithms. The result shows that the local topography-based variable flow width method can obtain more reasonable spatial distribution of water accumulation , compared with the D8 , Dinf , and MS.

**Key words:** watershed topography , variable outflow width , multiple flow directions algorithm