

ANUDEM—专业化数字高程模型插值算法及其特点

杨勤科¹, Tim R. Mcvicar², 李领涛², Tom G. Van Niel³, 张彩霞¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. CSIRO Land and Water, GPO Box 1666, Canberra, 2601, ACT, Australia; 3. CSIRO Land and Water, Private Bag No. 5, Wembley, 6913, WA)

摘要: 基于已有地形图的数字化方式, 通过内插方法建立数字高程模型, 是迄今为止最为成熟和简单易行的 DEM 建立方法。ANUDEM 是利用等高线、高程点和河流等数据插值建立 DEM 的专业化软件。该软件的基本算法由插值、数据平滑、地形强化等组成。软件具有自动诊断数据错误, 客观地确定适应于插值基础数据精度的分辨率等特点, 用其建立的 DEM 能正确反映地面水文地貌特征。初步应用研究表明, ANUDEM 可应用于黄土高原并建立水文地貌关系正确的 DEM, 其质量较现有基于 TIN 方法建立的 DEM 有明显提高, 能更好地描述地面的起伏和水文地貌关系。

关键词: ANUDEM; DEM; 插值算法; 地形强化算法

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)03-0036-06

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM) 是一个用来表现地表高程空间变化与分布的有序数字阵列^[1]。DEM 在地貌定量分析、流域水文和土壤侵蚀模拟分析、植物分布、遥感图像辅助分类等方面具有重要用途^[1~3]。生成 DEM 的方法, 根据基础数据不同可分为两类, 一是利用遥感数据提取高程生成 DEM^[4], 二是根据已有测绘资料经过插值生成 DEM。迄今为止最为成熟和可行的方法是将现有地形图数字化, 通过插值生成 DEM^[1, 2]。就后者而言, 国内最常用的方法是利用多种高程信息(等高线、高程点, 骨架点), 通过构建不规则三角网(Triangle Irregular Network, TIN)建立 DEM(简称 TIN-DEM)^[5~7], 该方法的缺点是如果不加入新的高程数据而仅利用等高线和高程点, 生成 DEM 将不能很好地反映河流(沟道)和流域边界等重要的水文地貌特征^[1, 8]。国外较为流行的方法是 Hutchinson 教授于 20 世纪 80 年代提出的 DEM 插值算法^[9]及其基础上开发的专业化 DEM 生产软件 ANUDEM^[9]。由于 ANUDEM 软件可以建立水文地貌关系正确的 DEM(Hydrologically Correct DEM, Hc-DEM), 因而在全球范围内得到广泛应用^[8, 11~13], 其算法已被 ARC/INFO 地理信息系统软件集成。但是, 国内对 Hutchinson 算法极少应用, 仅有的文献也因为对 DEM 这个专业术语翻译的不甚准确^[8]或介绍不甚详细^[15]而尚未引起重视。本文报导我

们近几年研究应用 ANUDEM 的有关情况^[16], 并对 ANUDEM 某些特点做一简要介绍, 以期改进我国 DEM 建立方法, 为流域水文、土壤侵蚀等相关研究提供更有力的支持。

1 ANUDEM 的算法

ANUDEM 的算法主要包括 4 个方面, 即插值方法(interpolation algorithm)、数据平滑(roughness penalty algorithms)、地形强化(drainage enforcement algorithm)和局地适应性处理(locally adaptive strategies)。

1.1 插值算法

已有的插值方法可粗略划分为 2 类, 即整体插值法和局部插值法。整体插值方法生成的表面是连续的, 但一般算法插值计算所需时间与观测点数量的 3 次方成正比, 所以当数据点较多时对计算机的计算性能要求很高以至难以负担。局部方法一般是将区域划分为若干小块, 为每小块拟合一函数并使这些函数在边界处连续, 这种方法的主要问题是插值区域的划分不好把握。

ANUDEM 采用了嵌套式多分辨率迭代计算方法。它既具备局地插值方法的高效性, 又不失全局插值方法的连续性等优点。插值计算从较粗的初始分辨率(一般为最终分辨率的 8~11 倍)开始, 用每次减少至 1 半的方式, 逐渐递减至用户设置的最小分辨率。对于每个分辨率, 如果拟合点附近有数据

收稿日期: 2005-11-04

资助项目: 中国科学院知识创新重要方向项目: 黄土高原水土保持的区域环境效应研究(KZCX3-SW-421); 中澳合作项目——黄土高原植被恢复重建水环境效应研究(LWR1/2002/018)

作者简介: 杨勤科(1962—), 男, 陕西陇县人, 主要从事基于遥感和地理信息系统技术的区域水土流失评价研究。E-mail: qkyang@ms.iswc.ac.cn

就直接读取该点的高程值;如附近没有数据点,就在地形粗糙度和有序地形特征线约束下用高斯-塞德尔迭代法(Gauss-Seidel iteration)计算其高程值。

在整个插值计算过程中,每个分辨率的 DEM 均记录在内存中,所以可根据其表面特征(如坡度、曲率等)监测系统对输入源数据信息读取的数量。在较粗的分辨率层次上,由于栅格较大以至于各栅格点的值是很多观测点的平均值,并进而使地形被平缓。随着栅格尺寸的减小,各栅格取值时将不或很少对观测点进行平均,所以地表坡度将越来越陡并最终稳定在某一水平上。根据这一特点,可以客观地确定最佳栅格尺寸^[17],而这种方法比基于 TIN 建立 DEM 方法中对栅格尺寸的确定,更加客观、具有可操作性^[5~7]。

1.2 数据平滑

由于在用来插值的数据(观测数据)中经常会包括一些误差(noisy data),观测数据的点一般分布不均匀且其数量远小于拟合表面的格网数($N_{\text{grid}} > N_{\text{data}}$),插值算法也会不甚稳定,因而会在拟合表面上存在一些非真实的地形现象(artefacts)。为了避免这种现象并给插值效果一个客观评价,引入了粗糙度罚函数(roughness penalty)。对于该函数的合理运用,可使拟合表面在两个方面求得一种协调,即使预测值接近测量值,同时使拟合表面平滑。也就是说,在使估算值与测量值更加贴近的同时避免了估算值的突变(jerkiness)。

粗糙度罚函数用拟合表面的曲率来定义。ANUDEM 中引入了 3 种曲率,包括表面重力势曲率、总曲率和剖面曲率(公式 1, 2, 3)。在最初的算法和 ANUDEM 软件的早期版本中^[8,9], Hutchinson 提出了一个经验公式(公式 4),用 $J_1(f)$ 和 $J_2(f)$ 组合的方式定义了一个糙度系数 $J(f)$ 。试验表明,与只用 J_1 或 J_2 相比, $J(f)$ 可以取得更令人满意的插值效果。

$$J_1(f) = \int (f_x^2 + f_y^2) dx dy \quad (1)$$

$$J_2(f) = \int (f_{xx}^2 + 2f_{xy}^2 + f_{yy}^2) dx dy \quad (2)$$

$$\frac{d^2 f}{d^2 \alpha} = \cos^2(\alpha) \frac{d^2 f}{d x^2} + 2\cos(\alpha)\sin(\alpha) \frac{d^2 f}{d x dy} + \sin^2(\alpha) \frac{d^2 f}{d y^2} \quad (3)$$

$$J(f) = 0.5h^{-2} J_1(f) + J_2(f) \quad (4)$$

式中: h 为栅格尺寸。

1.3 地形强化

基础上,嵌入了一种以有效表现水文地貌特征为目标算法——地形强化算法。该算法通过辨识高程数据中的地形特征点(凹陷、鞍部)和隐含在高程点和等高线中的地形特征线(山脊、沟道),并通过河流(坡向转折线)的应用,给算法中加入一组有序地形特征线(simple ordered chain constraints)约束插值计算,使地表的地貌特征(特别是流水侵蚀作用下的地貌特征)能在拟合表面上得到准确、真实的表现。

地形强化算法通过对伪下陷点的清除和河流参与插值进行。首先,根据地貌学原理,在自然界真正存在的下陷点是很少的,因而地面是光滑的。所以,对输入数据没有标记的下陷点一律被视为伪下陷点,系统将沿下陷点寻找河流出口(way out),剔除实际上并不存在的下陷点,同时使地形特征得到更好地反映。其次,引入独立变量河流,通过河流的流向、河流与等高线关系的正确处理,使水文地貌特征得以正确反映。

地形强化算法的意义表现在去除输入数据中用户尚未检查出的伪下陷点,提高输出 DEM 的质量和精度;通过对山脊线和沟底线的辨识与表现形成坡向转折,从而保证沟道系统的连续性和山脊、流水线等地貌特征线的正确表现。新版本中还增加了对陡坎的处理和表现^[11,14]。在澳大利亚的应用表明,通过河流和陡坎数据的引入,拟合表面可以对地表的不连续现象得以有效表现,其对地形突变现象的表现效果可与 TIN 方法相媲美^[14]。

1.4 局地适应性处理

迭代式有限差分插值过程中,对于最初的分辨率,由于观测点数量远远大于拟合表面栅格点数量($N_{\text{data}} > N_{\text{grid}}$),拟合表面是一个趋势性的,比较光滑的表面,因而拟合表面并未与每个观测点严格吻合。对于用户规定的分辨率(最终分辨率),观测点数量将小于栅格点数量($N_{\text{data}} < N_{\text{grid}}$),拟合表面与观测点之间会实现较好地拟合。即使如此,在局部地方,或者因为数据错误,或者因为地形的突变,依然会存在一些误差。为此引入剖面曲率(公式 3),用以定义一个新的粗糙度罚函数进行局地适应性处理。实践证明引入该处理对于地形的突变会得到很好的反映。但是这种处理的算法依然不很成熟,处于试验阶段,用户必须根据自己的数据、工作地区的地形特征和 DEM 的用途,对此做出率定。在具体的应用中,该粗糙度罚函数用第二糙度系数来定义(表 1)。

表 1 ANUDEM 的基本输入

Table 1 ANUDEM input

编号	系统变量	取值方法	描 述
1	地形强化处理	0, 1 或 2	地形强化处理水平。0—不做处理; 1—尽可能处理 (正常选项); 2—地形强化与大量下陷点诊断同时进行 (一般不用)。
2	最大叠代次数*	20	一般取 20, 必要时可以取比较高的值(25~30)。
3	第一糙度系数	0.0~0.5	向总曲率增加重力势曲率的数量。0.0: 最小平面曲率(适合等高线为主的操作); 0.5: 最小总曲率和最小平面曲率的综合效果(适宜以高程点为主的操作); 0.5 以上的值得一般不再采用。
4	第二糙度系数*	0.0~0.9	向总曲率中增加剖面曲率的数量。0.0: 无剖面曲率处理; 0.5: 中等剖面曲率处理; 0.9: 最大剖面曲率处理; 0.9 以上的值一般不再采用。
5	高程容差	非负数值	根据输入数据的精度决定。对于点数据, 设置为高程度的标准差; 对于等高线, 设置为等高距的 1 半。
6	高程量纲	1 或 2	1—米; 2—英尺
7	高程范围	两个高程值	插值地区最高和最低高程值。考虑到地形强化作用, 实用中设置为稍高于插值区高程的最大值, 稍低于高程的最小值。
8	栅格点设置	0 或 1	0—高程值位于栅格的四角之一; 1—高程值位于栅格中心
9	水平距离量纲	1~6	1—米; 2—英尺; 3—公里; 4—英里; 5—度; 6—弧度
10	栅格尺寸*	正整数	用户规定的 DEM 栅格尺寸; DEM 东西起止点和南北起止点之间的距离必须被栅格尺寸整除。
11	DEM 边界范围	四个坐标数值	东西、南北起止点之间的距离, 要求被栅格尺寸整除。
12	栅格边距	正整数	为避免边缘效应将插值区域向外延伸的范围; 规定向外延伸最少 20 个栅格。

注: * 需要用户进行优化的参数

2 ANUDEM 的输入和输出

2.1 ANUDEM 插值的数据基础

ANUDEM 系统是一个十分专业化的 DEM 插值软件, 用以插值的源数据包括高程数据(等高线、高程点)和独立变量信息(河流、陡坎等)2 个方面。软件本身不具备数据显示和编辑功能, 对插值源数据的编辑、拟合表面(DEM)的显示和分析等, 则必须在通用 GIS 系统中进行。ANUDEM 系统与 ARC/INFO 和 IDRIZI 两种 GIS 系统兼容。运行 ANUDEM 之前, 必须在 ARC/INFO 系统或 IDRIZI 系统下对数据进行查错和编辑处理, 然后将其转化成 ANUDEM 所要求的文件格式。以 ARC/INFO 为例, 须在 ARC 模块下利用 ungenerate 将所有输入数据转换成一个文本

文件, 然后读入 ANUDEM 系统。关于 ungenerate 命令使用方法, 详见 ARC/INFO 专业技术手册。

2.2 运行 ANUDEM 的基本参数

根据 ANUDEM 5.1 用户手册的规定, 运行 ANUDEM 前用户必须输入的参数有 14 个, 其名称、意义和取值方法见表 1。其中与数据和插值地区地形特征有关, 需要用户自己通过试验设置的参数主要有栅格尺寸、运算叠代次数和糙率系数 3 个。

2.3 ANUDEM 的基本输出

经过插值运算, ANUDEM 系统将输出 3 类信息, 包括 DEM、系统运行记录(log file)和有关错误信息, 其主要的 11 类信息名称和意义见表 2。输出的信息可以被 ARC/INFO、IDRIZI 等系统直接读取并用以进行数字地形分析。

表 2 ANUDEM 的基本输出

Table 2 ANUDEM output

编号	名称	英文名称	默认后缀	备 注
1	数字高程模型	DEM	* .dem	经插值生成的 DEM, 文本或二进制格式
2	残留下陷点	sink points	* .snk	残留下陷点的位置和深度
3	地形特征线	streams	* .sto	一系列流水线和山脊线
4	残余误差	large residuals	* .res	误差比较大的点位
5	水系错误	stream errors	* .ser	输入水系层中的错误
6	掩码多边形错误	polygon errors	* .per	输入插值掩码多边形的错误
7	等高线错误	contour errors	* .cer	输入等高线中的错误
8	断裂线和陡坎	break/cliff lines	* .bco	拟合表面上存在的不连续现象, 如断裂线和陡坎
9	有值数据点	grid point codes	* .gpc	直接从输入数据中读取数据的栅格点
10	流向	flow direction codes	* .gfc	基于拟合表面提取的河流流向
11	系统运行记录	log file	* .log	对系统输入、输出和运行过程的全面记录

3 ANUDEM 的特点与应用

3.1 ANUDEM 的特点

ANUDEM 是在 Hutchinson 教授长期研究成果基础上开发的,其开发应用历史超过 20 年^[18]。经过在澳大利亚、非洲、美国等国家和地区的应用,其算法不断得到完善,成为国际上流行的 DEM 专业化插值软件。相对于其它插值生成 DEM 的方法,ANUDEM 及其算法具有以下特点。

1) 可以根据输入数据(等高线、高程点)的数据信息含量和精度,客观地确定与之相适应的分辨率,这一功能在一般的插值得软件中是不具备的。

2) 地形强化算法经过不断改进,一方面使侵蚀地貌结构特征,如山脊、沟底线等,得到更加真实地反映,另一方面使输入数据的错误得到自动检测并使输出 DEM 中伪下陷点更少。

3) 直接读取和利用现实的河流信息,使地表水文特征与地貌的关系更加准确。这一特征对 DEM 应用于水文和土壤侵蚀的分析研究特别重要。

4) 详细完整的系统运行记录,为数据质量检验、分辨率确定和插值过程的分析提供了强有力的支持。

3.2 应用实例

我们利用 1:25 万数字地形图和 ANUDEM 软

件,对建立中等分辨率的 DEM 进行了试验研究。结果表明,①利用我国基础数据库中的数字地形图(包括等高线、高程点和水系等专题层),在 ANUDEM 软件支持下,可以生成水文地貌关系正确的 DEM。②在黄土丘陵区,利用比例尺为 1:25 万(等高距 100 m)数字地形图建立 DEM,3 个关键参数分别为,分辨率 50 m、迭代次数 40、第二糙度系数 0.8。③利用本研究建立的 1:25 万 DEM 与相同数据用 TIN 方法建立的 DEM 分别做光照模拟图像(图 1a、图 1b,标记为 DEM_t 和 DEM_a)和坡度图(图 1c、图 1d,标记为 SLP_t 和 SLP_a)。可以发现 DEM_t 有比较多的平顶(梁峁顶)存在,而 DEM_a 则是圆滑的,基本无平顶存在。SLP_t 表面边沿呈明显的带状,而 SLP_a 坡度图边沿不明显。所以 DEM_a 更加真实反映了地形的形状。其上提取的流水线(分别标记为 RIV_t 和 RIV_a)可见,RIV_t 不完全连续,多处出现平行梳状河流(图 2a,其上黑色表示地形图上的河流),而 RIV_a 则是基本连续的,与地形图上的河流吻合良好。可见 ANUDEM 可以应用于黄土高原并建立水文地貌关系正确的 DEM,相对于 TIN—DEM,其对地形反映能力明显提高和改善。

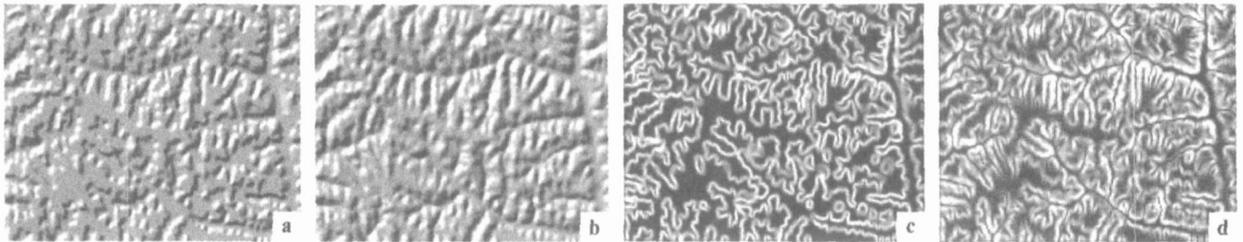


图 1 不同类型 DEM 生成的光照模拟和提取的坡度

Fig. 1 Light modling and slope abstracting in different DEM type

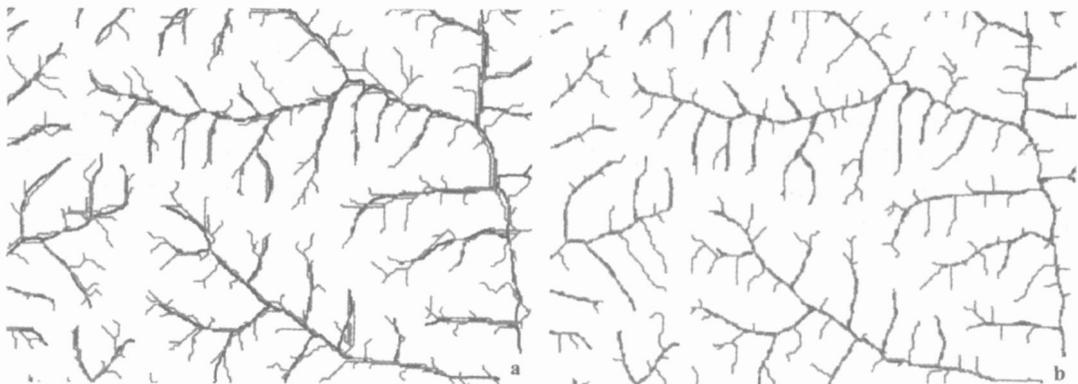


图 2 DEM 对流水线的提取结果

Fig. 2 DEM flowline abstract result

4 结 语

ANUDEM 作为专业化 DEM 生产软件,在全球范围内得到广泛应用。在中国的初步应用研究表明,与基于 TIN 方法建立的 DEM 相比,其插值生成的 DEM 能更加精确地反映重要的水文地貌特征,其上提取的流水线无断裂现象^[15,16]。同时系统还可以有效检查并修改插值源数据中的错误,可以比较客观科学地确定 DEM 的分辨率^[10,16,17]。

利用我国基础数据库中的数字地形图(包括等高线、高程点和河流 3 个基本专题层),在 ANUDEM 软件支持下,可以生成水文地貌关系正确的 DEM,使其质量较现有基于 TIN 方法建立的 DEM 有明显提高,能更好地描述地面的起伏和水文地貌关系。相对于 TIN-DEM, Hc-DEM 从理论到实践都是一种进步,在我国应该对其予以重视并加强研究。

虽然 ANUDEM 的算法已经集成于 ARC/GIS 系统(在 ArcToolBox 中为 Topo to Raster,在 Arc/Info workstation 中为 Topogrid),但该方法对国内 DEM 研究者尚比较陌生。今后应在多种比例尺精度上、多个地理区域应用 ANUDEM 系统建立 DEM,对有关参数进行系统的率定和优化,对 DEM 及其基础上提取的地貌学和水文地貌学特征进行系统比较研究,以促进我国 DEM 及其相关研究。

致谢:澳大利亚国立大学 Mike Hutchinson, 澳大利亚联邦科工组织大气与海洋研究所 David Jupp 先生、水土资源研究所 John Gallant 博士和 Trevor Dowling 先生参与讨论并给予多方支持,一并致谢。

参 考 文 献:

- [1] Moore, I. D., Grayson, R. B., and Landson, A. R. Digital Terrain Modelling: a Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications [J]. *Hydrological Processes* 1991, 5 (1), 3-30.
- [2] Wilson, J. P. and Gallant, J. C. *Terrain Analysis, Principles and Applications* [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2000.
- [3] 任立良,刘新仁. 数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J]. *水科学进展*, 2000, 11(4), 463-469.
- [4] Cowan, D. R., and Cooper, G. R. J., *The Shuttle Radar Topog-*

- raphy Mission—a new source of near-global digital elevation data* [J]. *Exploration Geophysics* 2005, 36, 334-340.
- [5] 王东华,刘建军,商瑶玲,等. 全国 1:25 万数字高程模型数据库的设计与建库[J]. *测绘通报*, 2001, (10): 27-29.
- [6] 王东华,吉建培,刘建军,等. 论国家 1:50,000 数字高程模型数据库建设[J]. *地理信息世界*, 2003, 1(2): 12-15.
- [7] 唐新明,李 莉,严荣华,等. 全国七大江河流域重点防范区 1:1 万数字高程模型(DEM)数据库的建立[J]. *测绘通报*, 2002, (6): 19-22, 55.
- [8] 周买春,黎子浩, A. W. Jayawardena. 数值地形图的生成及其水文地貌特征评价[J]. *水利学报*, 2002, (2): 71-74.
- [9] Hutchinson, M. F. New procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits[J]. *Journal of Hydrology*, 1989, 106(3-4): 211-232.
- [10] Hutchinson, M. F. *ANUDEM version 5.1 User Guide* [M]. Canberra: Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, 2004.
- [11] Hutchinson, M. F. and Dowling, T. I. A continental hydrological assessment of a new gridbased digital elevation model of Australia[J]. *Hydrological Processes*. 1991, (5): 45-58.
- [12] US Geological Survey. *GTOPO30 Documentation* [M]. Sioux Falls, South Dakota. US: Geological Survey, EROS Data Center, 1997.
- [13] Hutchinson M. F., Nix H. A., McMahon J. P., Ord K. D. The development of a topographic and climate database for Africa[A]. NCGIA. *Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*. [C]. California, Santa Barbara, 1996.
- [14] Hutchinson, M. F., Stein, J. A., Stein, J. L. Upgrade of the 9 Second Digital Elevation Model for Australia [M]. Canberra: Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, 2001.
- [15] 林桂兰,庄翠蓉,孙飒梅,等. 水源保护区划界的遥感与 GIS 技术研究[J]. *中国用户通讯*, 2003, 15: 21-24.
- [16] Yang, Q. K., Van Niel, T. G., McVicar, T. R. Developing a digital elevation model using ANUDEM for the Coarse Sandy Hilly Catchments of the Loess Plateau, China [M]. Canberra, Australia: CSIRO Land and Water Technical Report, 2005.
- [17] Hutchinson M. F. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models[A]. *Third. Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling* [C]. California: Santa Barbara, NCGIA, University of California. 1996.
- [18] Hutchinson M. F. A summary of some surface fitting and contouring programs for noisy data. CSIRO Division of Mathematics and Statistics, Consulting Report ACT 84/6 [R]. Canberra, Australia, 1984.

ANUDEM—A professional DEM interpolation software package

YANG Qin-ke¹, LI Ling-tao², Tim R³. Mcvicar, Tom G³. Van Nie⁴, ZHANG Cai-xia¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry

of Water Resources, 26 Xinong Road, Yangling, 712100, Shaanxi Province, China; 2. CSIRO Land and Water,

GPO Box 1666, Canberra, 2601, ACT, Australia; 4. SIRO Land and Water, Private Bag No. 5, Wembley, 6913, WA)

Abstract: Because it has become common to produce DEM using interpolation based on digitized topographic maps it is important to investigate DEM options. ANUDEM is an advanced software package that has been designed to produce digital elevation models (DEMs) from very large topographic data sets, including elevation contours, point elevations and streamlines. The basic algorithms include interpolation algorithm, roughness penalty algorithms, drainage enforcement and locally adaptive strategies. Errors in the input data can be diagnosed and an optimum grid resolution, matched to the density and accuracy of the input data, can be provided by the program. ANUDEM is very efficient and has been applied all over the world. We applied ANUDEM in loess hilly area to interpolate digital topographic maps, including contours, spot heights, and stream networks, the results show that hydrologically correct DEM can be generated, and the quality is much better DEM based on TIN approach, the complex eroded terrain can be sufficiently represented.

Keywords: ANUDEM; DEM; interpolation algorithm; drainage enforcement algorithm

(上接第 25 页)

The evolvement characteristics and wavelet analysis of spring precipitation of last 40 years in east Qinghai

WANG Xi-juan, TANG Hong-yu, ZHANG Jing-hua

(Qinghai Meteorological Observatory, Xining, Qinghai 810001, China)

Abstract: Based on the spring precipitation data of 12 observatories in 1961—2004 in Qinghai province, the variation characteristics of spring precipitation on Qinghai plateau is analyzed, and the time—frequency characteristics of spring precipitation over Qinghai agricultural area is also analyzed by using linear trend analyze method and wavelet analysis method. The results show that the spring precipitation over the east area of Qinghai plateau had outstanding wavy character; its variation was large in the 1960s and 1990s and little in the 1970s and 1980s. The spring precipitation over the east area of Qinghai plateau generally increased weakly. From the 1980s to now, the spring precipitation decreased weakly, but increased in the rest of time. For the large time scale of equal to or more than 10 years, the characteristic of dry/wet—vicissitude in spring over the agricultural area of Qinghai was very significant in last 44 years, and 6 dry/wet—vicissitude periods occurred during these years, the replace point appeared in 1964, 1975, 1983, 1993, and 2001, the period of 10—12 and 16 years is obvious. The variation of spring precipitation for the time scale below 10 years over the agricultural area of Qinghai in last 44 years was rather complicated, the replace point and the relative wet/dry—vicissitude periods got more often, the period of 6—8 years was very clear. Heavy drought stage usually appeared when the whole oscillation period was heavy negative phase—shift. In recent years, the spring precipitation change over the east area of Qinghai plateau has got more often in both the large time scale and the short time scale.

Keywords: spring precipitation; variation characteristics; wavelet analysis