

用数字高程模型进行地表径流模拟中的几个问题

李本纲, 陶 澍

(北京大学 城市与环境学系, 北京 100871)

摘要: 用数字高程模型进行地表径流模拟时, 由于网格精度和精度限制, 使得在某些局部的模拟结果不理想。针对其中几个关键的技术问题, 提出了相应的解决办法。伪负地形填充法可以区别真正的负地形和由于 DEM 误差造成的假象, 并对伪负地形进行填充。水系图与 DEM 结合的方法可以消除径流模拟结果与现有水系不吻合的现象, 有效提高径流模拟精度。在地势平坦地区, 采取在原 DEM 上加微小修正值的办法, 可以得到理想的模拟结果。

关键词: 数字高程模型 (DEM) 地表径流模拟 地理信息系统 (GIS)

文献标识码: B **文章编号:** 1000-288X(2000)03-0047-03 **中图分类号:** S157.1, TP392

Several Problems and Their Solutions in Surface Runoff Modeling

LI Ben-gang, TAO Shu

(Department of Urban and Environmental Sciences of Beijing University, Beijing 100871, PRC)

Abstract The quality of surface runoff modeling is limited by horizontal and vertical accuracy of digital elevation model. Several critical problems and respective solutions are presented. Method of filling pits based on size can distinguish sink cells due to inland catchment from those due to DEM errors. Method combining DEM with stream network leads to a more accurate drainage network from surface runoff modeling, especially for flat area. Method of modifying existing DEM by adding a small value can produce more realistic drainage pattern rather than parallel flow over flat surface.

Keywords DEM; surface runoff modeling; GIS

在土壤侵蚀、地表水量平衡计算、非点源污染等众多研究领域, 地表径流模拟是非常重要的技术手段。地学界进行地表径流模拟主要采用地理信息系统 (GIS) 技术, 根据地表的数字高程模型 (DEM) 进行计算机模拟计算, 得到地表径流的分布、流向及强度^[1,2]。GIS 软件 ARC/INFO 的 GRID 模块即是专门为此而开发的最为流行的径流模拟工具。它首先用 FLOW DIRECTION 函数对 DEM 的每一网格点及其相邻的网格点的高程进行分析, 确定每一点的流向; 然后对流向进行综合得到地表径流。但是在实际应用中, 由于 DEM 的网格精度和精度限制, 出现一系列的技术问题。最常见和最难解决的问题主要在以下 3 个方面: (1) 在 DEM 网格中, 总有一些点的高程比其周围点的高程小, 这些点有可能是地面负地形, 如低洼等, 但也有可能是由于 DEM 的高程误差所致, 即伪负地形。GRID 模块有 FILL 函数专门对这些点进行填充, 但它并不能区分真伪, 从而导致径

流模拟误差^[3,4]; (2) 理论上, 径流模拟结果应该与实际地表水系完全吻合。但由于 DEM 精度限制, 径流模拟结果与实际地表水系常常不能准确匹配, 造成模拟结果的后续应用困难^[5]; (3) 在地势平坦的局部地区, 许多相邻网格点具有相同高程, 其间径流流向难以确定, 从而造成一些不合理的径流模拟结果。

1 伪负地形识别及填充

由于 DEM 高程误差形成的负地形假象与真负地形的差别在于: 真负地形一般具有一定的规模和高差, 而伪负地形则表现为少数零星的高程低值点。为了达到去伪存真的目的, 可以利用这一差别, 在进行地表径流模拟之前, 对 DEM 进行预处理。首先找出所有高程低值点, 并计算连成片的低值点形成的负地形面积和高差, 然后根据用户给出的面积和高差阈值区分负地形的真伪, 最后对其进行填充, 保留真负地形。用新生成的 DEM 再进行地表径流模拟 (图 1)。

收稿日期: 1999-11-25

资助项目: 国家自然科学基金项目 (49901016) 和国家杰出青年基金项目 (49525102) 资助

作者简介: 李本纲, 男, 1971 年生。博士, 讲师, 主要从事遥感与地理信息系统技术在环境评价、环境模拟、环境规划中的应用研究。电话: (010) 62751938, E-mail: lbg@urban.pku.edu.cn



图 1 用伪负地形识别及填充方法进行地表径流模拟流程图

可以用 ARC/INFO 软件的二次开发语言 AML, 结合 GRID 模块中一系列功能函数, 实现上述流程。

2 DEM 与水系图结合模拟地表径流

由于重力作用, 自然水系都流经地势最低处。根据这一简单规律, 可以对 DEM 按现有水系矢量图进行修正, 然后用新生成的 DEM 进行地表径流模拟。模拟所得到的径流结果将与现有水系完全匹配。具体方法是在不影响原 DEM 精度的前提下, 首先将现有水系流经的 DEM 网格点高程值都减去 1 个修正值 Δh (如果 DEM 精度为 50 m, 该固定值可以为 10 m); 然后以现有水系划定 1 个缓冲区, 对缓冲区内的网格点按照其距水系的距离加以修正 (距水系近则修正值大, 距水系远则修正值小); 为确保径流模拟结果与现有水系图完全匹配, 现有水系流经的 DEM 网格点高程值都减去 1 个较大修正值 ΔH (如果 DEM 精度为 50 m, 该固定值可以为 100 m)。按上述步骤修正过的 DEM 进行地表径流模拟, 在所划定的水系缓冲区内, 模拟结果将明显改善, 并与现有水系图完全匹配。该处理过程可用流程图表示 (图 2)。

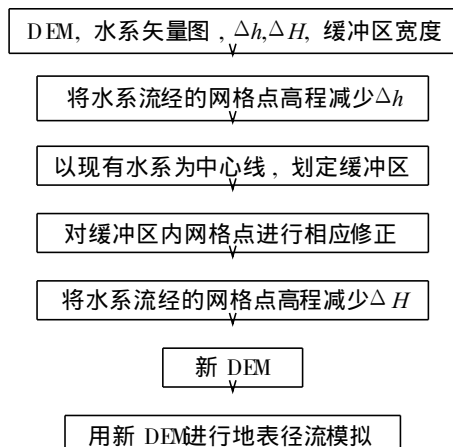


图 2 DEM 与水系图结合进行地表径流模拟流程图

同样, 可以用 ARC/INFO 软件的二次开发语言 AML, 结合 GRID 模块中的一系列功能函数, 实现上述流程。

3 平坦地区的地表径流模拟

绝对平坦的地面在自然界几乎不存在, 但当将地表以 DEM 形式表示时, 由于其水平精度和高程精度的限制, 起伏比较小的地面可能表现为绝对平坦的地面。用 DEM 进行地表径流模拟时重要的一步就是根据高程确定流向。具体做法是将每一点的高程与其 8 个相邻点的高程比较, 该点流向确定为指向高差最小的相邻点, 即流向总是与梯度最大的方向一致。而当连续的一些网格点都具有相同的高程时, 流向就无法确定, 径流模拟结果经常是一些紊乱的径流。这显然不符合实际情况。解决这一问题主要是根据“水总是流向低处”的简单道理。对无法确定流向的网格点, 在不影响 DEM 精度的前提下, 加上或减去一微小值 (如果高程精度为 10 m, 该微小值可以是 0.1 m), 然后再确定流向。该过程可重复多次, 直到全部网格点流向都能确定为止 (图 3)。

图 3 中, (a) 是初始的 DEM, 网格中的粗体数字为相应点的高程, 单位是 m, 网格中间部分的流向难以简单确定。对于不能确定流向的网格点, 将其高程都加上 0.1 m, 得到 (b) 中所示的 DEM, 每个网格右上方的数字是附加值, 单位是 0.1 m。这样不能确定流向的网格变少了。该过程一直重复到所有网格点的流向都能确定为止。(c) 是修正后的 DEM, (d) 是得到的流向图。由于 DEM 网格的精度是 10 m, 而最大附加值也仅为 0.4 m, 因此可以认为该修正办法并不会影响 DEM 的精度, 而得到的是确定的流向图。

4 讨论

本文所述方法都是基于地理信息系统 ARC/INFO 及其 GRID 模块的一些功能, 可操作性较强。通过对北京、天津地区 DEM 进行地表径流模拟的实践证明, 虽然这些方法原理相对简单, 但解决问题效果较好, 重要的是不会降低已有的 DEM 精度。

伪负地形的识别与填充是用 DEM 进行地表径流模拟的第一步, 根据用户给出负地形的面积和高差阈值, 利用 GRID 模块的已有功能函数, 可以有效地识别负地形的真伪, 为 DEM 的后续操作打好基础。

通过用现有的水系矢量图对 DEM 进行一定的修正, 可以克服由于 DEM 精度限制而导致的径流模拟误差, 使模拟结果与现有水系图精确匹配。

70	70	70	70	70	70	70
70	40	40	40	40	40	70
60	40	40	40	40	40	70
60	40	40	40	40	40	70
50	40	40	40	40	40	60
50	40	40	40	40	40	60
50	50	30	50	50	60	60

(a)

70	70	70	70	70	70	70
70	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	70
60	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	70
60	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	70
50	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	60
50	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	60
50	50	30	50	50	60	60

(b)

70	70	70	70	70	70	70
70	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	70
60	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	70
60	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	70
50	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ²	60
50	40	40	40	40	40 ²	60
50	50	30	50	50	60	60

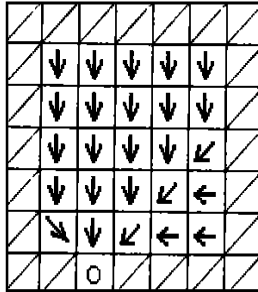
(c)

70	70	70	70	70	70	70
70	40 ³	40 ³	40 ³	40 ³	40 ³	70
60	40 ³	40 ³	40 ³	40 ³	40 ³	70
60	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	70
50	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ²	60
50	40	40	40	40 ¹	40 ²	60
50	50	30	50	50	60	60

(d)

70	70	70	70	70	70	70
70	40 ⁴	40 ⁴	40 ⁴	40 ⁴	40 ⁴	70
60	40 ³	40 ³	40 ³	40 ³	40 ³	70
60	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	40 ²	70
50	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ¹	40 ²	60
50	40	40	40	40 ¹	40 ²	60
50	50	30	50	50	60	60

(e)



(f)

图 3 微小值修正法确定平坦地区的 DEM 网格点的流向

另外,应用该方法,可以将矢量化的山脊线与 DEM 综合,改善在山脊线附近的径流模拟精度(此时修正值的符号应与用水系图模拟时相反)。

平坦地区的 DEM 网格点流向的确定问题一直没有得到较好解决。有的国外学者对平坦地区网格点的高程进行插值或平滑处理,虽然也能得到确定的流向图,但是降低了 DEM 的精度^[6,7]。本文所述方法则在 DEM 精度范围内对其稍加修正,即可得到较理想的流向图。

参 考 文 献

- [1] Vieux B E. Geographic information systems and non-point source water quality and quantity modeling. Hydrological Processes, 1991, 5 104- 113.
- [2] De Vantier B A, Feldman A D. Review of GIS applications in hydrologic modeling. Journal of Water Resources Planning and Management, 1993, 119 246- 261.
- [3] Tribe A. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method. Journal of Hydrology, 1992, 139 263- 293.
- [4] Hutchinson M F. A New procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, 1989, 106 214- 232.
- [5] Martz L W, Garbrecht J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models. Computers and Geoscience, 1992, 18 747- 761.
- [6] Vieux B E. DEM Agregation and smoothing effects on surface runoff modeling. Journal of Computing in Civil Engineering, 1993, 7 310- 338.
- [7] Garbrecht J, Martz L W. The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models. Journal of Hydrology, 1997, 193 204- 213.

科学出版社登记证: 京东工商广字第 0706 号