

流域面雨量的计算方法

李飞¹, 田万顺²

(1. 河南省气象局业务处, 河南 郑州 450003; 2. 河南省气象台, 河南 郑州 450003)

摘要: 经对面雨量的几种计算方法对比分析, 确定了以等雨量线法为计算流域面雨量的方法, 同时对于计算方法进行了部分优化, 并应用于业务中。

关键词: 面雨量; 等雨量线; Delaunay 三角形; Watsons 算法; 线性迭代

中图分类号: P426.62⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1004-6372(2003)03-0020-02

引言

全国从 2000 年汛期开始, 各流域面雨量预报投入试运行。河南为黄河中游面雨量预报的牵头省, 负责统一协调黄河中游面雨量预报业务工作。面雨量是个水文学的定义, 其中如何准确计算各支流的面雨量对于防汛服务尤为重要。面雨量客观计算方法有等雨量线法、面积权重法、泰森多边形法、客观运行法和站点平均计算等。其中, 传统和最为精确的计算方法是等雨量线法。这种方法受分析影响, 存在不确定性和随意性。下面对这种方法进行分析, 以确定客观、准确、迅速的计算方法。

1 概述

等雨量线法需要先进行等雨量线自动绘制, 就是根据离散点雨量值绘制等值线(等高线)。通常采用的方法有离散点矩形网格化、三角形法以及曲面拟合等。其中, 离散点网格化称为客观分析, 常用的插值方案很多, 对于不同的网格化方法所得的结论并非唯一的, 其精度随网格化插值方案不同变化较大。一般来说比较精确的是逐步订正法和最优插值。最优插值着重于各插值点之间的物理或者其他关系, 在所有的插值中最为准确, 并且物理意义明确, 但是需要相互关联影响的几组资料同时参与计算。逐步订正法是根据预设的初始场, 插值到各离散点, 然后对比实况资料和插值结果, 求出偏移量, 并根据偏移量对周围格点值进行订正, 直到插值结果和实际资料之间误差达到预期值为止。至于曲线拟合, 由于平滑过程中滤去了部分资料点, 因而精确度不够。相比较而言, 三角网格法绘制等值线在所有的方案中最为准确。

2 三角形网格的构建

三角网格法进行等值线分析, 首先需要解决三角网的构网问题。如果在构网的流域内有山脉、沟谷(结构线), 则需要引入结构线信息。三角网的构网可以采用手工或者自动的

方法。自动生成三角网格的方法比较多, 应用比较广泛和成熟的是 Delaunay 三角化方法^[1]。Delaunay 三角化的基本原则为: 对于平面上任意给定的点集, 存在一种唯一的三角化, 满足任何一个三角形的外接圆内部不包含其他点。我们采用的 Delaunay 三角化方法, 是最有代表性的 Watson 算法^[2]。

2.1 理论基础

watson 算法的理论基础基于 Delaunay 三角化的空外接圆特性。假设已完成前 N 个点的 Delaunay 三角化, 现引入第 $(N+1)$ 个点。首先对每个三角形进行检查, 确定其外接圆包含该新点的所有三角形, 这些三角形将构成一个插入多边形, 删除插入多边形内所有原 Delaunay 三角形, 将新点与插入多边形所有边界点相联, 则可形成若干新的三角形。

2.2 预处理技术

首先应对所有参与构网的节点坐标进行正规化, 统一坐标值在 $0 \sim 1$ 之间, 计算出各节点坐标相应的比例关系, 并记下线性换算关系。然后对所有参加计算的等值线值或节点坐标加上一个极小值, 便于以后的处理, 比如等值线追踪等。当采用的是不规则区域时, 应在构网之前加入边界信息。

3 等值线的生成和追踪

3.1 等值点的生成

首先需要判断三角形内是否有等值线通过。由于对于数据点进行了预处理, 所以这里不会出现等值线通过三角形节点的情况。可以断定, 如果等值线进入三角形必定通过该三角形的两条边, 对边进行线性插值即可得到等值点。判断三角形各边是否有等值点的公式为

$$(z_0 - z_i)(z_0 - z_j) < 0$$

式中, z_0 为等值点值, z_i, z_j 分别是同一边端点的物理量值。

线性插值公式为

$$x_0 = x_i + [(x_j - x_i) / (z_j - z_i) (z_0 - z_i)]$$

对 y 的计算类似。

得到相应的等值点坐标后, 遍历所有的三角形可以得到全部等值点。如果网格分布较密, 可以直接连接成为等值线。矩形网格和三角形网大同小异。

3.2 等值线追踪算法

收稿日期: 2003-03-01

作者简介: 李飞(1978-), 男, 河南南阳人, 学士, 助工, 从事气象服务管理工作。

首先应该对得到的所有等值点进行排序,因为对等值线进行平滑、标值和其他的进一步计算,必须要求等值点的排列按照相应的顺序。比较简单和容易实现的是追踪法。具体实现追踪法分两种情况:闭合和非闭合等值线。追踪开始的位置可以采用存储顺序。对于开始的两端点,记下起始端点,在剩下的插值点中查找和另一端点相同坐标的点,依次循环直到遍历所有的等值点。对于闭合等值线,需要检查是否最终闭合,也就是发现有端点重合的情况出现;对于非闭合等值线需要进行标记,在第一次追踪结束时重新从开始位置进行逆向追踪。

现在也有一些比较快速的算法,一般是建立等值线间的拓扑关系,并以树结构方式存储。本文采用的是改进的快速等值线排序算法^[3]。其思路为:从任意的等值线片断开始时分别搜索是否有和两端点重合的点存在,创建一个链表存储标记,其中链表中存储的是指向上下两段片断的索引;然后根据索引进行追踪排序,相应的计算速度有较大提高;最后还要判断相应等值线的线值,以便下一步处理使用。

4 面雨量的计算和等雨量线的平滑

追踪后的等雨量线,出现闭合曲线的情况比较好处理,根据曲线的分布,计算相应的环形面积,对雨量值进行面积分,即可得到相应的面雨量值。对于非闭合等值线,则需要联结边界点,相邻两条等值线和两条边界线段联结成为闭合区域,然后同样进行。由于我们得到的并不是连续的线,需要实际计算的是多边形的面积。

若 n 个点 $(x_1, y_1)(x_2, y_2) \cdots (x_n, y_n)$ 围成一个没有边相交的多边形,则其围成的闭合多边形面积

$$S = \sum y_i(x_{i+1} - x_{i-1})$$

式中, $i = 1, 2, \dots, n$, 且当 i 与 j 除以 n 的余数相同时, $x_i = x_j$, $y_i = y_j$ 。该公式用于凸凹多边形均可。

实际的降水分布大多比较连续,计算中需要对等值线加

以平滑,使之类似于人工分析的等雨量线。平滑方案可以采用线性迭代、正轴抛物线加权平均、样条函数等等。这些方案各有优缺点:线性迭代比较简单;正轴抛物线容易产生多余的拐点;样条值函数比较平滑,计算量较大。我们对线性迭代法和 B 样条插值进行了比较:线性迭代法次数为 2 次,等分数为 4(决定曲线偏移数据点的位置),精度和平滑程度基本可以满足需要,也可以调整等值线间距和迭代次数,以满足不同精度的需要; B 样条插值比较平滑,需要将所有数据点同时参与运算,在试验对比的 6 个样本中,感觉效果一般,并且对边界数据点过于敏感,因此不予采用。此外,还对 Bezier 曲线进行了对比,总体感觉线性迭代实现简便,计算快速,效果较好。

5 结论

面雨量计算较为传统的方法一般是采用平均或者面积权重以及泰森多边形法,其实在进行三角网的构建的同时加以变换就可以得到相应的泰森多边形,两者基本等同。Delaunay 三角形和泰森多边形本身在数学上的定义就是相关联的两个概念。我们所提出的这种方案对于提高面雨量计算精度和更好的符合实际情况有一定的参考价值。所采用的技术大部分是比较成熟的,其中我们作了部分改进,提高了运算速度。并且在实时业务运行中已经采用,取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] D. F. Watson. Computing the N - dimensional Delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes [J]. The Computer Journal, 1981, 24(2): 167 - 172.
- [2] S. W. Sloan and G. T. Houlby. An implementation of Watson's algorithm for computing two - dimensional Delaunay triangulation [J]. Advances in Engng Software, 1984, (6): 192 - 197.
- [3] Norman L. Jones, Michael J. Kennard, Alan K. Zundel. Fast algorithm for generating sorted contour strings [J]. Computers & Geosciences, 2000, 26: 831 - 837.

Algorithms of Area rainfall

LI Fei¹, TIAN Wan - shun²

(1 The Meteorological Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450003, China;

2. The Meteorological Observatory of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Contouring method is chosen as the very most algorithm after compare of several area rainfall algorithms. Part of the algorithm has been optimized and put into practice.

Key Words: Area rainfall; Contour; Delaunay triangulations; Watson's algorithm; Linear recursion