

气象要素等值线图的计算机实现

Computer Plotting on Isogram of Meteorological Elements

熊文兵 周能 谭强敏

Xiong Wenbing Zhou Neng Tan Qiangmin

(广西区气象局信息中心 南宁市民族大道 530022)

(Information Center, Meteorological Bureau of Guangxi,
Minzu Dadao, Nanning, Guangxi, 530022, China)

摘要 以广西区域降雨量为例, 根据计算机绘制等值线图的基本原理, 针对气象要素等值线的特点, 进行算法设计, 给出气象要素等值线计算机绘图的具体实现过程。方法简单、快捷, 可以进一步应用到其它分析软件。

关键词 计算机绘图 气象要素 等值线

中图法分类号 TP391.4E S161

Abstract On the basis of the characteristics of meteorological elements and the theory of computer plotting, and using the method of computer plotting on isograms, the isogram of precipitation in Guangxi was carried out. It shows that this method is quick and simple; could be used in other analysis systems.

Key words computer plotting, meteorological elements, isogram

目前, 绘制等值线图的实现方法有多种, 各有其优缺点。常规的等值线绘制采用网格法, 其绘制的步骤一般为: 离散数据网格化; 网格点数值化; 等值点的计算; 等值线的追踪; 光滑和标记等值线^[1]。四边形网格法的等值线求算要经过二次插值, 有精度损失, 等值线追踪机制复杂; 其它的如三角形网格法^[2,3]等值线追踪较简单, 但也有二次插值, 还涉及三角形的角、边信息数据结构, 组织较繁琐。栅格图形法^[4]是一种较新的方法, 精度较高, 实现简单, 但该方法实质上是采用无间距的像素点作为网格进行计算, 计算量非常大。

气象要素等值线图能够直观地反映气象要素的空间分布特征, 在气象分析中具有重要地位。由于气象观测站的不规则分布, 导致气象要素的分布亦呈不规则的离散状态, 而一般情况下等值线的数值间距较宽 (如降雨量分为小雨、中雨、大雨、暴雨等几个等级), 对插值的精度要求也不高。因此, 在综合考虑上述各种因素的基础上, 本文以 2002 年 11 月 28 日广西区域降雨量为例, 采用简单快捷的四边形网格法进行插值, 用 Dayhoff 提出的对角线转轴法进行等值线追踪, 并进行适当改进, 给出具体算法然后利用 VB6.0 编程实现快速、准确的雨量等值线图的绘制。

1 绘图区域网格化

1.1 地图投影

选择广西区域作为固定区域。针对区域有不规则边界, 将地图投影在一更大的区域内, 便于网格覆盖整个广西区域。投影方法选择适合低纬度地区的麦卡托投影, 投影公式^[4]如下:

定原点为 $(\frac{\pi}{2}, 0)$, 90°E 为 y 轴 (从低纬度指向高纬度), 赤道为 x 轴 (从西向东), 则有

$$i = \frac{R}{d} (\lambda - \frac{c}{2}),$$

$$j = \frac{R}{d} \ln \operatorname{tg} \frac{1}{2} (\frac{c}{2} - H),$$

这里 i, j 为屏幕直角坐标 x, y 方向的值。

1.2 网格设置

在对区域进行网格划分时, 首先确定划分网格的范围大小。网格能够覆盖到整个广西区域, 还向外扩展 1~2 个网格, 这样才利于插值计算。其次设计网格的密度, 以 1 个网格内不出现 2 个测站为宜^[5]。同时应考虑到网格越密计算量就越大, 程序设计时单独申明一个常量来表示网格距, 以便于调节。

2 网格点插值计算

针对降雨量本文选用距离加权法进行插值

2.1 雨量值影响范围

在对网格点进行插补计算时,考虑距本格点多远的测站降雨将影响本点,即“影响域”的问题^[5]。1个网格站点影响范围(设为 N 个网格)的大小原则上与降雨的性质(系统性降雨或局部性降雨)有关,但在设计程序时较难细究,一般根据网格和测站的密度来选定,大多数情况之下,要求 N 值的选择要使 1 个网格点相邻 4 个象限内各有不少于 2 个测站为准, N 一般取 4 即可满足需要^[5]。由于影响域中的网格数目随网格密度而变,故也需要在程序中适当调节。如果不考虑区域外的站点,则区域外都设为无雨,那么边界的站点就需影响到边界以外,此时影响域就需要考虑得大一些,可取 7 或 8, 甚至更大。

2.2 插值计算过程

首先记录各站点在网格中的位置,循环整个站点数组,利用站点投影后的坐标值和网格距,很容易得到站点所在的网格节点号,组成矩阵,存入数组 $Jiedian(i, j)$ 中。而后采用类似逐行扫描的方法,对所有网格节点进行扫描插值。具体方法如下:

以节点所在网格为原点,按以上确定的影响域顺序查找 4 个象限中存在的站点,每个象限取与该节点距离最近的站(如图 1),共得出 4 个点,用距离加权法进行平面插值计算,即可得出该点的雨量值。

应注意到某些站点缺测或某象限内无站点的情况,本文根据网格分布的合理性及影响域的概念,对无数据点的象限,假设在其较远处存在一个雨量为 0 的点,这样就免去了判断多种缺少数据的情况。

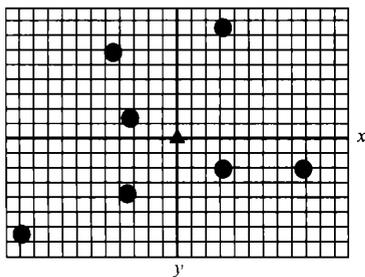


图 1 站点分布示意图

Fig. 1 Division of observation spots

▲: 求值节点; ●: 离散站点;

▲: Evaluation point, ●: Discrete observation spots.

插值公式为:

$$u = \sum_{i=1}^n a_i u_i,$$

u_i 为影响点雨量, a_i 为距离权重, n 为影响点数目,这里取 4 距离权重为影响点到求值点的距离平方的倒数,若设距离为 d_i ,则权重系数可表示为:

$$a_i = \frac{(1/d_i)^2}{\sum_{i=1}^n (1/d_i)^2}.$$

3 绘制等值线

等值线追踪的思路关系到结果的正确性和寻找的速度。其追踪原理与在网格点间寻找等值点的原理是一样的,也就是判断两点之间是否有雨量值等于给定值的点。对于某一量值为 Z_0 的等值线, i, j 两点之间存在等值点的条件是:

$$(Z_i - Z_0) * (Z_j - Z_0) \leq 0,$$

实际上对于任一点可能存在 $Z = Z_0$ 的情况,此时等值线通过 i 点,不利于下一步追踪,因此需要对数据作处理,使 $Z = Z_0 + \lambda$ 为 1 个很小的正数,使等值线在充分靠近 Z_i 的格点附近通过^[2]。

3.1 追踪机制

采用 Dayhoff 提出的对角线转轴法^[4],稍加改进,即为了适应屏幕坐标的方向,便于设计循环,我们按顺时针旋转查找。这与 Dayhoff 的相反。

假设有 4 个格点值如图 2 所示,等值线量为 1.0,首先判断 A-B 之间有等直线通过,顺转 45° ,用 C 点代替 B 点,判断 A-C 之间有等值线通过。继续顺时针旋转,再用 D 点代替 C 点,判断, A-D 之间无等值线通过,则用 D 点代替 A 点,从 DA 方向顺时针旋转 45° 指向 B 点,显然 D-B 之间必有等值线通过,或从 DA 直接顺时针旋转 90° 指向 C 点, D-C 之间也必有等值线通过,这样追踪插值点要少一些,可视情况选择旋转 45° 或 90° 。

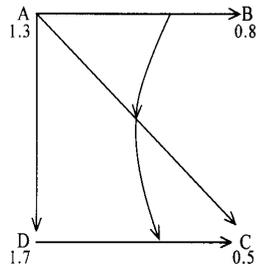


图 2 转轴法示意图

Fig. 2 Sketch of rotation method

设计循环查找时注意几个问题:

(1) 由于等值线起点预先未知,可逐行查找,找到两点间有起点则进行转轴法追踪,同时将追踪过的点用数组标记如为 $CG(i, j) = true$

(2) 注意判断是否到达控件边界。

(3) 旋转追踪时遇到 4 个象限的 8 个方位,纵横坐标的网格变化为:

$$\Delta x: 1, 1, 0, -1, -1, -1, 0, 1$$

$$\Delta y: 0, -1, -1, -1, 0, 1, 1, 1$$

此变化用函数表示较复杂,可用一对数组保存这两组值,循环时按数组顺序进行。

(4) 追踪到的等值点坐标用几何方法按比例计

算确定。设 N 为网格距, $gedian(i, j)$ 为某格点的雨量值, $h(k) = Z_0$ 为等值线值, 若在 (i, j) 与 $(i+1, j+1)$ 之间有 Z_0 存在, 即 $(gedian(i, j) - h(k)) * (gedian(i+1, j+1) - h(k)) < 0$ 则交点坐标为:

$$Dzhx(m).Y = i^* N + Abs(h(k) - gedian(i, j)) * N / Abs(gedian(i, j) - gedian(i+1, j+1)),$$

$$Dzhx(m).X = j^* N + Abs(h(k) - gedian(i, j)) * N / Abs(gedian(i, j) - gedian(i+1, j+1)),$$

(Abs() 为取绝对值函数)

由于我们设计的网格是覆盖整个绘图区的, 插值计算后广西区域外接近绘图区边缘的格点值都为零, 也就是说每一条设定的 (不小于 0 的) 等值线在绘图区域总是能够闭合的。因此, 追踪时只需考虑闭合的情况。由于采用的追踪法是单向进行的 (顺时针), 所以可以使用顺序数组存放追踪到的点的坐标。由于闭合等值线的第一点与最后一点坐标重合, 即数组最后一个与第一个等值, 所以在程序中只要判断 $Dzhx(m).X = Dzhx(1).X$ 和 $Dzhx(m).Y = Dzhx(1).Y$ 成立, 即可结束一条闭合等值线的追踪。

在查找某条等值线第 1 点时采用的是类似逐行扫描的方法, 对任意一条等值线追踪结束时必返回到第 1 点, 然后继续进入扫描过程, 直到扫描完所有网格。在扫描判断的过程中, 对给定的等值线值逐一查找, 保证所有等值线都能追踪完成, 而且互不影响, 这样就很容易地解决同一个等值线值有多条等值线的问题。

3.2 等值线顺滑

以上追踪到的等值点相连接得出的曲线是多段折线, 不符合气象等值线光滑曲线的要求, 需要作顺滑处理。曲线顺滑处理一般用插值拟合的方法, 有拉格朗日插值、牛顿插值、最小二乘法、样条插值等多种拟合方法^[6]。这里我们用与预报员手工图形分析效果类似的 B 样条插值。

由于前面的网格插值和等值线追踪计算得出的数据构成的等值线会有许多锐角转折的地方, 所以应用 B 样条插值前需对数据作处理。这里用二次中点平均的方法^[7]去掉一些数据, 一方面得以初步平滑, 另一方面也会加快后面的计算。将数据点隔一点去一点, 再用相邻两点求平均, 中点平均值计算如下式:

$$A_x(k) = (x(i-1) + x(i+1)) / 2,$$

$$A_y(k) = (y(i-1) + y(i+1)) / 2,$$

得到的数据相对平滑, 重复进行一次中点平均, 将得到的数据进行二次 B 样条插值, 就可以得到平滑的等值线。

3.3 等值线显示

不规则区域的等值线绘制涉及闭合曲线与不闭合曲线的问题, 我们设计的网格是覆盖整个绘图区的, 插值计算后广西区域外接近控件边缘的格点值都为零。也就是说, 每一条设定的 (不小于 0 的) 等值线在绘图区域总是能够闭合的, 计算时可以只考虑闭合的情况, 而不用考虑区域边界。因此, 我们利用 Windows API 函数设计一个简单的等值线显示方法。

由于导入的区域坐标是闭合的, 所以可用 API 中对区域对象填充颜色的函数, 将区域填充与背景不同的颜色。函数的申明方法如下:

```
Private Type POINTAPI ' /自定义数据
    x As Long
    y As Long
End Type
Private Declare Function CreatePolygonRgn Lib " gdi32 " ( lpPoint As POINTAPI, ByVal nCount As Long, ByVal nPolyFillMode As Long) As Long
Private Declare Function FillRgn Lib " gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal hRgn As Long, ByVal hBrush As Long) As Long
Private Declare Function CreateSolidBrush Lib " gdi32 " (ByVal crColor As Long) As Long
```

使用方法如下:

```
Dim RgnPt ( 5000) As POINTAPI 热点数组
Dim hRgn As Long
Dim hBrush As Long
For i = 0 To j 导入边界点
    RgnPt ( i) .x = bj_x ( i)
    RgnPt ( i) .y = bj_y ( i)
Next i
hRgn = CreatePolygonRgn ( RgnPt ( 0), 4415, 1) ' /创建闭合区域
hBrush = CreateSolidBrush ( RGB ( 255, 255, 255)) ' /设定画笔为白色
If hRgn Then
    Debug. Print FillRgn ( Picture1. hdc, hRgn, hBrush) ' 填充
End If
```

数学上有许多方法来显示固定区域内的等值线, 对于区域内的点, 也有一定的算法进行判别, 但是

各种判别方法都较复杂,计算量大。我们利用计算机图形的特点,在绘制好所有(闭合的)等值线后,根据填充的区域内外不同颜色,将区域外的部分隐去,而只显示区域内的曲线,即可达到目的

至此,降雨量等值线的绘制已经顺利完成,具体效果如图 3 所示

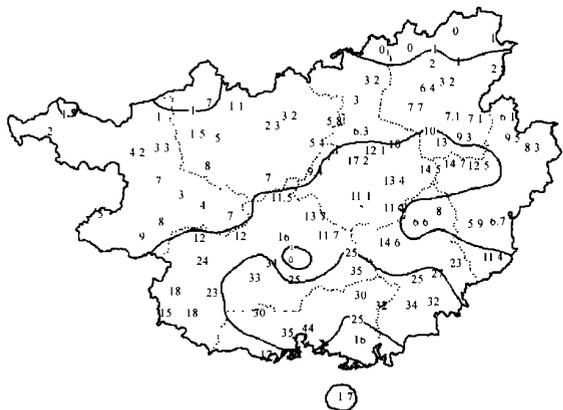


图 3 2002 年 11 月 28 日广西降雨量等值线图 (单位: mm)
Fig. 3 Precipitation isogram of Guangxi in 28th of Dec. 2002 (Unit mm)

4 结语

本文针对气象要素及其分布特点,以广西降雨量为例,详细分析了计算机绘制气象要素等值线的实现

过程,同时在网格插值及等值线追踪、顺滑、显示等方面都提出了新颖、有效的思路,并给出具体算法程序实现简单,速度较快,输出等值线光滑、美观,结果满足气象图形的要求。另外该设计可以进一步包装制作成功能模块嵌套入其他分析软件,或编译成动态链接库以供其它程序调用,利于推广。

参考文献

- 1 王 忠,刘浩吾,柴贺军.等值线的栅格图形自动生成.水利学报,2001,(4): 53~ 56.
- 2 成建梅,陈崇希,孙红林.三角网格等值线自动生成方法及程序实现.水利学报,1998,(10): 23~ 26.
- 3 王新芝.利用实测资料绘制等值线图.新疆气象,1996,(1): 28~ 32.
- 4 王继元,杨元琴.现代天气工程学.北京:气象出版社,2000.267.
- 5 单九生,张 瑛,周建雄.细网格推算流域雨量方法应用浅析.江西气象科技,2001,(2): 10~ 13.
- 6 贺 俐,陈桂兴.计算方法.武汉:武汉水利电力大学出版社,1998.
- 7 冯建设,吕红梅.不连续场等值线的微机自动分析.山东气象,1996,(4): 39~ 41.

(责任编辑:邓大玉 曾蔚茹)

(上接第 207 页 Continue from page 207)

- 5 Garriellsson A, Bergdahl U, Moritz L. Thermal energy storage in soils at temperatures reaching 90 degrees C. Journal of Solar Energy Engineering, 2000, 122(1): 3~ 8.
- 6 ПИ 兹洛切夫斯卡娅, B A 科罗列夫.土中结合水译文集.李生林,薄遵昭,秦素娟等译.北京:地质出版社,1982.
- 7 Mitchell.岩土工程土性分析原理.高国瑞等译.南京:南京工学院出版社,1988.301~ 318.
- 8 Peters-Lidard C D, Blackburn E, Liang X, et al.. The effect of soil thermal conductivity parameterization on surface energy fluxes and temperatures. Journal of the Atmospheric Sciences, 1998, 55(7): 1209~ 1223.
- 9 Lafleur P M, McCaughy J H, Joiner D W et al.. Seasonal

- trends in energy, water, and carbon dioxide fluxes at a northern boreal wetland. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(24): 9~ 20.
- 10 Rees S W, Adjali M H, Zhou Z et al.. Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2000, 4(3): 213~ 65.
- 11 吴 恒,张信贵,易念平等.水土作用与土体细观结构研究.岩石力学与工程学报,2000,19(2): 199~ 204.

(责任编辑:黎贞崇 邓大玉)