

使用多边形网格绘制等值线的方法

刘文泽

(中国气象科学研究院)

提 要

本文在三角形网格等值线方法的基础上，提出了多边形网格概念，系统介绍了多边形网格文件生成过程，以及如何在网格上实现对特殊地形下等值线走向的控制，并给出了多边形网格等值线算法框图。实际输出效果令人满意。

一、前 言

气象上以及其他许多领域需要对某些要素进行等值线分析。有关等值线计算机设计的方法很多。对于许多固定数值点最好使用一次成网。这样，大量的工作放在建网上，而多次等值线图的制做都在同一个网格上进行，实际计算量将大为减少，加快了图形的生成速度。

由于使用三角网可使判别计算时间大为减少，所以三角网能被广泛的采用。

三角网在建立网格时，把某一点与周围邻近点的关系用三角形边表示。可以想象，线条在产生过程中将经过许多边，由于每条边都计算插值点坐标，所以等值线的形状则受这些边的影响。可以证明，线条经过的边越多，线条的抖动也就越多；线条经过的边数越少，线条整体光滑性也就越好。由此我们可以设想：若采用多边形网，即网格中不仅包括三角形而且包括多边形，相对于三角形加入一个多边形，其边数则减少 $n - 3$ （ n 为多边形边数），由三角形、多边形为基本图形构成的网，其边的数量将减少。边的减少将有利于减小等值线受边的影响，达到满意的输出效果。

多边形网格是在三角网的基础上尽可能地使用多边形连线，三角形则成为其中的一部分，从而减少插值点计算。

二、多边形网格文件生成

为了利用三角形唯一性特点，同时保证线条整体光滑性，我们将两者结合起来，把多边形网叠加到三角网上（使整个多边形网与部分三角网重合）。实现用三角网控制线条的移动和用多边形网控制插值点数量统一，具体表现在网格文件上。

目前，多边形网在农业气象图形系统（AMG）上得到应用。本文将全部采用AMG系统规定的数据文件名称。下面介绍网格文件生成步骤。

1. 网格坐标文件 (FXY.DAT 和 MXY.DAT)

设有几个位置点，按1到n顺序排列，在x-y坐标系中读出 $(x_i, y_i) \quad i = 1 - n$ ，并建立FXY.DAT文件。为使线条引到区界外，建议加若干个参考点（m）。将m个参考点坐标补充到FXY.DAT中，生成网格坐标文件MXY.DAT，其网格点数为 $m + n$ 。

2. 三角网边文件 (LINE.DAT)

将 $n+m$ 个点，按照边与边不相交的原则连成三角形网格。从 $1 \rightarrow n+m$ 顺序读出 i 点与周围点的关系，形成边文件LINE.DAT，其格式为：

i 行 $a_1 \ a_2 \ a_3 \cdots \ a_K \ 0$

将与 i 点有关的一组点 a_1, a_2, \dots, a_K 记录到 i 行中，最终以0标尾。其中， $1 \leq i \leq n+m$ ；点 i 与 a_1, a_2, \dots, a_K 点相连； $i < a_1 < a_2 \dots < a_K$ 。

3. 多边形网边文件(MLINE.DAT)

完成了三角网边文件(LINE.DAT)

之后，按照多边形网，在三角网上尽可能多地找出多边形状的图形。注意，单个多边形应为凸多边形，而且多边形也应成为相联的网格。将多边形网中每一网边构成的两端序号记录到MLINE.DAT中，其结构是：

$i = 1 - k \ | a_1 \ | a_2 |$

其中， a_1 与 a_2 为多边形网中某一边端序号； k 为总边数。

4. 网格数据文件(NET.DAT)生成

由于网格文件包含了大量信息，其数据量很大，靠人工建立网格文件是比较困难的。因此，必须由计算机生成网格文件。网格文件生成算法设计思路如图1所示。

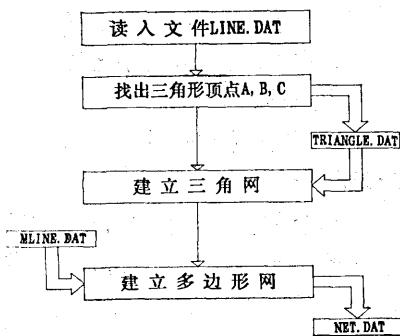


图1 网格文件生成流程图

最终生成的网格文件(NET.DAT)结构如图2所示。由于NET.DAT包括三角形网中三角形内边与边的指针 d 和三角形之

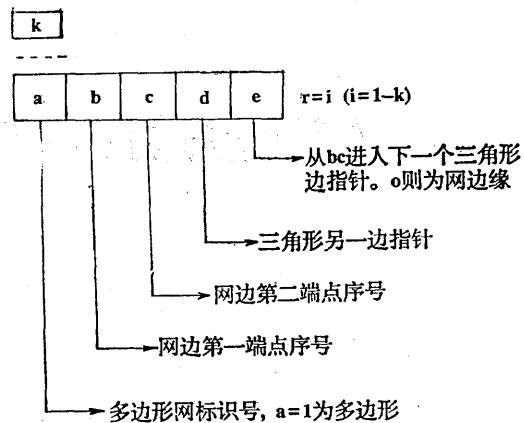


图2 NET.DAT网格文件结构说明

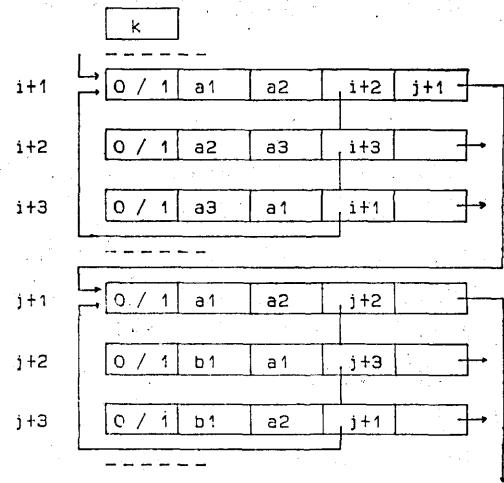


图3 NET.DAT内外指针结构示意图

间的指针 e ，可以证明 k 为3的倍数。指针之间的关系参见图3。

5. 网格参考点赋值与特殊地形网格设计

因为网格上包括实际数值点和参考点，如何由已知点对参考点赋值，是影响图形生成质量的关键因素。实际应用中，有时线条走动不违反等直线原则，但不符合实际。如有些线条跨越山脉，通过安排必要的参考点和赋值关系，我们可以实现对特殊地形下等直线走向的控制。以图4中两种情况为例。通过对比可见，加入参考点B使线条走向明显有沿山脉走向(图中虚线)的变化。而B

点的赋值是 A 点要素值 v_a 完成的。 B 点要素值 v_b 等于 v_a ，使线条绕过 AB 边。因此，参考点的作用不仅仅是将线条引出边界。它将重要的地理信息反映在网格上，使等值线生成更科学更符合实际情况。也应注意到，参考点的赋值对图形生成产生的作用，所以，对参考点的安排与赋值要经过多次实践不断地完善。

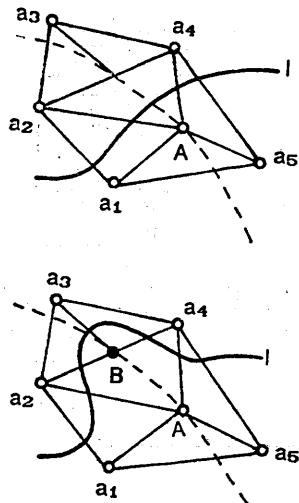


图4 参考点对图形影响示意图

上图：未加参考点，1跨越山脉

下图：加入参考点B

三、等值线算法设计

上述网格文件生成方式大大简化了等值线算法设计。从NET·DAT的结构上，我们可以得到等值线生成的关键是如何利用指针序列完成三角形内与外边的搜索。具体算法如下：

1. 插值判断

从两点数值判断出线条 h 经过其间的可能性，具体逻辑判断步骤：

① 若 $h = v_a$ 或 $h = v_b$ ，则做如下变换：

$$v_a = v_a + c \quad \text{或} \quad v_b = v_b + c$$

其中， c 为指定的一个很小偏移量，条件是

当 v_a 或 $v_b < 0$ ，则 $c < 0$ ；

当 v_a 或 $v_b > 0$ ，则 $c > 0$ 。

② 若 $v_a < h < v_b$ ，或 $v_b > h > v_a$ ，则 a ， b 间可经过 h 线。然后对 a ， b 点进行插值。

实际应用过程中，我们不是严格按照插值算法进行内插的，而是根据 a ， b 两点间可能通过的等值线条数，等间距地安排相应的插值坐标 (x, y) 。这样，可使等值线趋于圆滑。

假定三角形网格某一边端点 a ， b 相应的值 v_a 和 v_b 可通过 h_1 ， h_2 和 h_3 3 条等值线，则按照上面要求， ab 边被分为 4 个相等线段，其插值点值的关系为：

$$v_a < h_1 < h_2 < h_3 < v_b,$$

$$\text{或 } v_b < h_1 < h_2 < h_3 < v_a,$$

2. 三点光滑算法

根据网中插值点搜索的结果，每三点进行光滑，其算法采用如下近似公式：

设有 (x_1, y_1) ， (x_2, y_2) ， (x_3, y_3) 3 个坐标点，光滑曲线方程为：

$$c_0 = x_1, d_0 = y_1;$$

$$c_1 = 2(x_2 - x_1), d_1 = 2(y_2 - y_1);$$

$$c_2 = x_1 - 2x_2 + x_3, d_2 = y_1 - 2y_2 + y_3;$$

$$x = c_0 + c_1 m + c_2 m^2;$$

$$y = d_0 + d_1 m + d_2 m^2$$

其中， $0 \leq m \leq 1$ 。

图5为画一条等直线（数值为 h ）的流程图。图5中， i 为循环变量，且 $i = 1 - n$ ， n 为网格总数，对应NET·DAT的行数； $N(i, j)$ 对应NET·DAT中的前5项 ($j = 0 - 5$)，其中第6项 ($j = 5$) 初始值为 -9999，即气象要素的初始值； a ， b 为线段端点序号； P 为指针变量 $P = N(i, 3)$ 为内边指针， $P = N(i, 4)$ 为三角形指针； E 为闭合和开启等值线条指示码， $E = 0$ 为开启型，否则为闭合型，其数值录入初始位置。

由该算法产生的等值线图形见图6。该图形生成在286微机上只需半分钟。

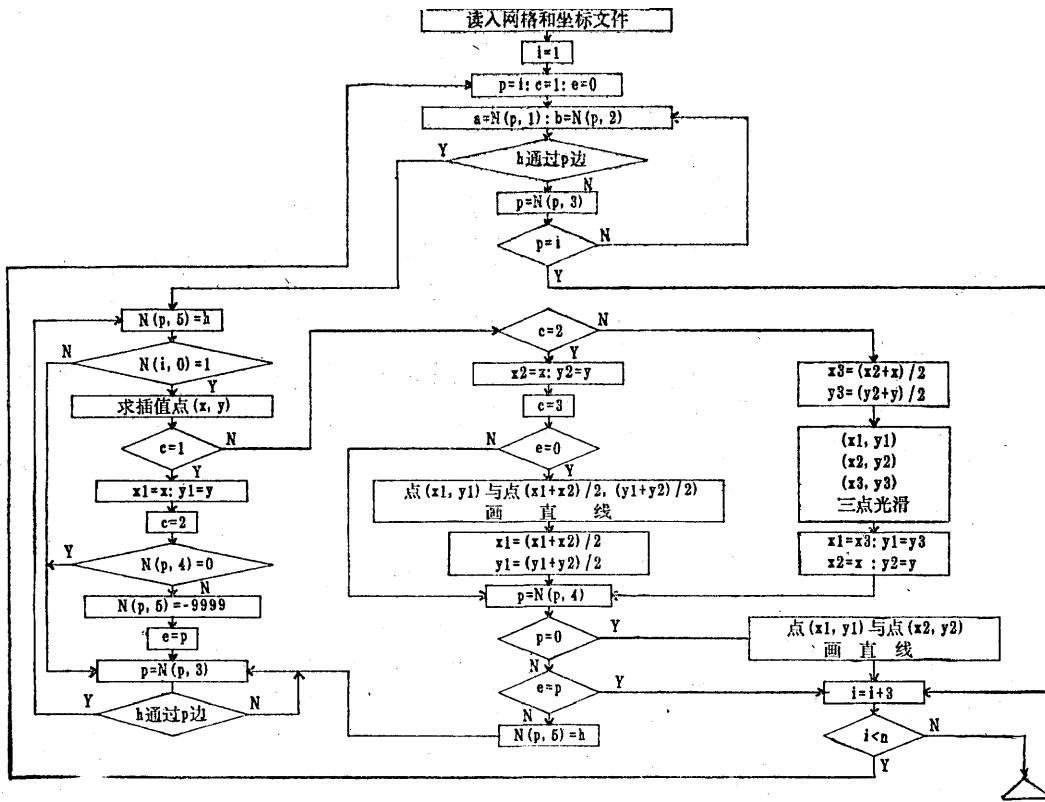


图 5 多边形等值线程序流程图

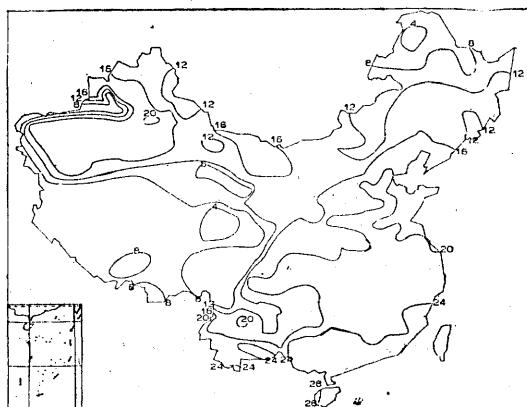


图 6 平均气温等值线图例
(1991年9月下旬)

四、结语

采用多边形网格绘制等值线是我们在以往算法的基础上进行有益尝试的结果，在程序设计上尽可能地把图形科学化，美观与合理相结合。其输出应用效果，达到或接近于手工画法。

参考文献

- (1) S. Harrington, 计算机图形学, 北京师范大学出版社, 1985.