

# 建立三角形DTM网络的理论综述

朱庆 李志林

## 提 要

本文介绍目前广泛采用的三角形DTM网络的五种建网方法,即辐射扫描法;根据最小距离和法则和最短外接圆半径法则建网的三种方法和Delaunay三角网法。并对各种方法的优缺点做了简要评述。

## 一、引言

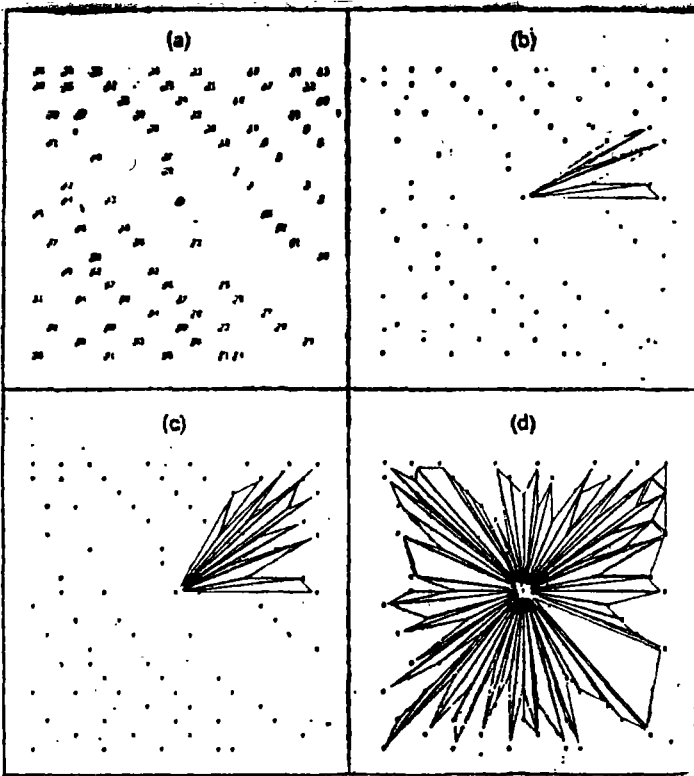
自从六十年代以来,数字地面模型(以下代称DTM)技术得到了广泛应用和重要发展。在数字测图领域,DTM本身已成为测图自动化不可缺少的组成部分。采用DTM技术大体上可以分为三个阶段。首先,数据获取阶段,可以采取地面视距测量的手段,可以通过航空摄影或者航天遥感,也可以从既有地图数字化等渠道获得数据。获取数据手段不同导致信息内容、形式及数据结构的差异。第二,建立数字模型阶段。在过去的实践当中,使用规则格网模型最为普遍。当然,在一些系统中也不乏随机三角形网络的应用。采用规则格网机构,其关键在于选择合适的内插算法。而形成随机三角形网络则需要有效的建网方法。最后,成果输出阶段。如输出数字地图等。笔者认为,采用随机三角形网络,可以直接利用原始数据,对保持数据精度,引用各种特征信息是非常有利的。特别是对于通过地面测量获取的数据,由于数据点大多为地形特征点、地物点,其乎面位置具有重要意义。使用三角形网络可望实现大比例尺数字测图,建立高精度的DTM。现阶段,利用全站型仪器进行地面测量实现机助成图,不失为有效的途径。

## 二、辐射扫描法(代称RSA)

这一方法是由Mirante和Weingarten在1982年提出来的。其基本思想是分两个独立的阶段完成三角网的形成。首先由随机分布的数据点组建自由三角网,然后通过调整三角网的结构,优化三角形的形状,便可得到具有最佳图形结构的三角网。

建立稀疏三角网(如图1)。首先选择离区域中心最近的点作为辐射中心,并按照数据点相对于辐射中心的方位、距离和坡度对随机分布的输入数据进行分类。然后,依次从分类表中提取数据形成彼此邻接(两两有一公共边)的一系列辐射三角形。如果新提取的点同前一点居于同一方位,则表中的连续三点组成新的三角形,否则由两点和辐射中心一齐形成一个三角形。辐射扫描完成后,逐一检查周边上的点,看其能否形成内部三角形;如能,则在记录中增加一个三角形。最后,应得到一个凸形的闭合边界。

优化三角网(见图2、图3)、一个最佳的三角网应该同时考虑两个因素:一个是图形结构;另一个是地形起伏。显然,就图形结构而言,等边三角形最理想;为使三角网能逼真的贴合地面,各个三角形均不应穿入地下,也不宜越过地面。而前面所建立的自由三角网没有顾及这两个因素,所以三角网是稀疏的,需优化。为了优化图形,需将每个三角形同其周围相邻的三角形进行比较,具体到三角网中就是



1 数据分类与三角形的形成：(a)按方位、距离、坡度对数据进行分类；(图b)开始辐射扫描；(c)扫描两个同方位的点；(d)开始凹面处的填补。

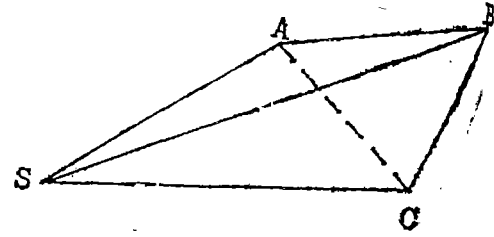


图2 优化三角形的结构

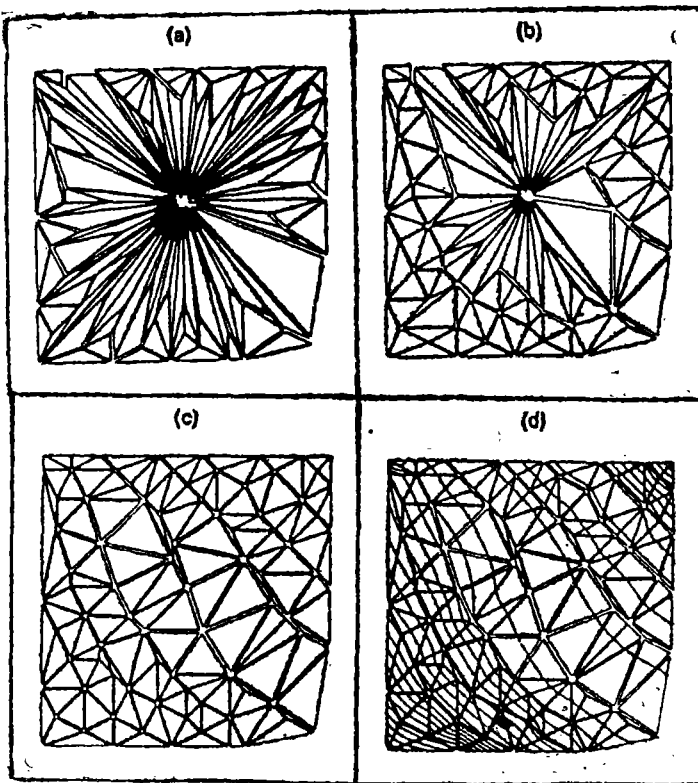


图3 调整三角网：(a)调整前的网络；(b)第一次调整后的网；(c)经过全部调整后的网；(d)带有等高线的网。

由两个相邻的三角形组成的四边形。这是三角网中可以调整的最小图形单位。如图2所示,在四边形SABC中,考虑图形结构时,一般检查

两对角线边长之比值 $\frac{SB}{AC}$ ;如果超过约定值,

则选取边长短的两点连线作为三角形的边(如AC)。考虑地形起伏情况,则检查两两对

角点高差之比值 $\frac{H_{SB}}{H_{AC}}$ ,一般选取高差大的两点

连线作为三角形的边。当二者出现矛盾时,则视其影响程度而定。经过这一处理就可得到一个较为合理的三角网了(图3)。

### 三、最小距离和法则与最短外接圆半径法则

顾名思义,最小距离和就是指一点到基边的两端点的距离和为最小;最短外接圆半径即指三角形的外接圆半径为最小。如图4所示,二者很接近,实际应用效果也是这样,都能得到最适宜于从基边的一点向另一点,选择最有利的三点组成三角形。其基本思想源于视距测量最佳视场的选择。根据这两个法则,常见的建模方法主要有以下三种:

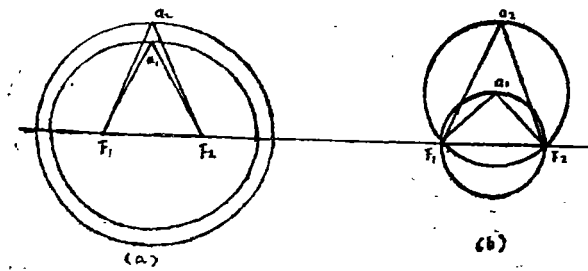


图4(a)最小距离和法则原理图;(b)最短外接圆半径法则原理图。

第一,从所有可能的两点连线当中选取最短的一条作为第一个三角形的基边,然后选择一个最适宜于形成一个具有最小辐射距的外接圆或外接椭圆的三角形的点。由这三点即可形成第一个三角形。同理可以形成其余的三角

形。比如可以选取一条最短的边作为第二个三角形的基边。不同的是在以后的处理过程中,不要选取那些已记录了的三角形的边作为基边(如图5)。

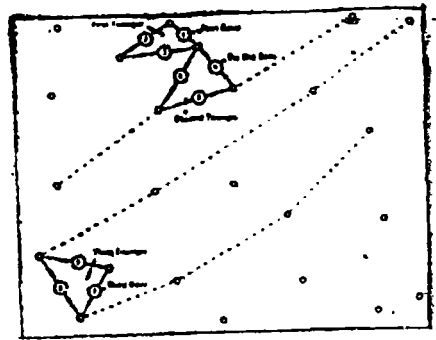


图5 头三个三角形的形成

第二,首先将数据按X的增量分类,如果有两点或更多的点具有相同的X值,则按Y的增量进行分类。选取离中心最近的点作为起点,将它与离其最近的点连结起来作为第一个三角形的基边,然后根据最小距离和或最短外接圆半径法则另选一点作为三角形的顶点。依次从第一个三角形的三边出发建立三角形,向外扩展,直到全部点均已参加构网,不能再建立三角形为止(如图6)。

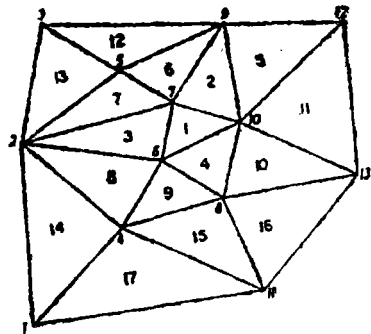


图6 离散点与三角形

第三,根据一定的边长限定,选择区域最外围的一系列点形成一封闭图形,作为第一轮峰值线。依次选取峰值线上的边作为三角形的基边,根据法则在峰值线上或其包围圈内选择一点作为三角形的顶点。当峰值线的每一边均

已参加构网时，又形成新一轮峰值线，除去峰值线以外的点。如此循环，直至峰值线收缩为一个三角形、一条直线或一个点为止（图7）。

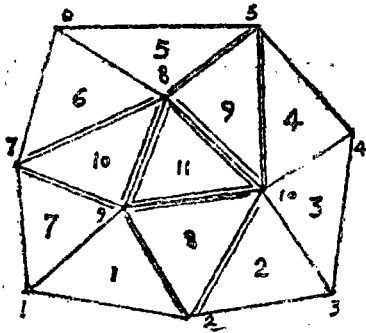


图7 点的分布和三角形的形成

#### 四、Delaunay三角网法

1934年，苏联科学家Delaunay设计一种基于离散数据点建立三角网的方法，后来被引入DTM和数字绘图领域。其基本思想是：如图8

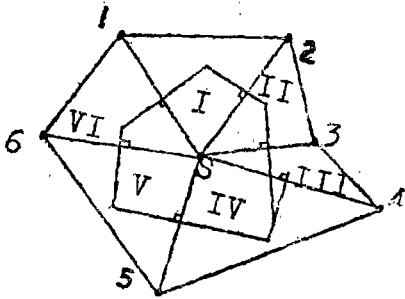


图8

所示，任选一点S作为起点，并选择一邻近点1，以边S—1为基边，可找到其右邻近点2。由这三点组成一个三角形I。然后，以边S—2为基边，同样可找到其最右邻近点3，形成三角形II。同理类推，直到边界或又回到第一个邻近点为止。寻找最右邻近点的原则是要满足一个端点为起点S的三角形的边的中垂线形成一个蔡司多边形。如图9所示，首先以基边为直径作一个圆A，检查是否有数据点落入圆内。如果只有一点，则该点就是基边的最右邻近点，如果不止一个点属于该圆的范围内，则从起点向N开始顺时针方向扫描，选择具有最大辐射角的点作为最右邻近点；如果一个点也没有，则按一定因子放大圆的面积，直到至少找到一个点为止。从一个起点出发可以建立一层三角网，整个区域网则可以从一系列点出发建立起来（图10）

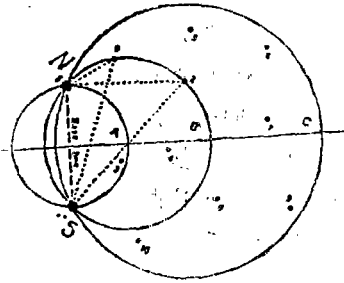


图9

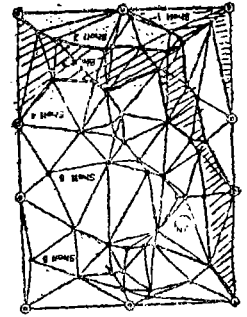


图10

#### Delaunay三角网和Thiossen多边形

以上介绍的理论均未涉及地形特征信息（包括断裂线信息和地貌结构线信息）的引用。众所周知特征信息在DTM中的重要性，没有考虑特征信息的自动处理不可能达到与常规的手工成图相提并论的地步。特别是建立大比例尺DTM必须引入这些信息。笔者认为考虑地形特征信息的建网理论可以分为两类。其一，在有断裂线或构造线的区段内加密额外数据点甚至直接增大采样密度，以减少失真。其二，把特征线信息作为已知边输入，将断裂线和结构线作为三角形的边参加构网。显然，第二类

比第一类在理论上要严密得多，但需要有效的处理办法。

#### 五、讨论

本文一共介绍了五种建网方法，当然还有其他方法，但比较常见的不外乎这些。特别是前四种在国内多见报道，而最后一种则在国外被广泛应用。下面提出几点意见供讨论。

1. RSA思路简明，效果也不错。但如果引入特征线信息，对三角网的优化非常复杂，不利于实现自动化。

（下转第3页）

我们认为在既有线上推广航测，关键是领导重视。利用航测方法完成的图纸，能正确地反映铁路现状，对技术设备的更新、铁路线路的改建、铁路用地的管理等都是不可缺少的技术资料，也是保证铁路安全生产所需的基础资料。利用地面测量方法在短期内要取得这些资料是不可能的，所以在这方面投资是非常必要的。

#### 四、配合中应注意的问题

还需提到的是，设计院和路局双方应经常保持联系，及时交流工作情况，以确保图纸资料符合要求。如在陇海线郑州至孟塬段复测和航测时，虽然双方在“座谈纪要”中写进了双方要经常进行技术业务上的联系，但在实际工作中，除丈量起点时共同到现场外，以后就中断了联系，及至交图时，才发现某些做法不符合要求，但为时已晚。在后来的工作中，我们接受了这个教训、工作开始之前，由工务处召集有关工务段的总工程师与设计院的同志一起座谈，讨论、以便工作中相互支持，给予方便，同时指派复测队在工作开展的不同阶段去现场了解情况、发现问题，及时协商解决，并将验收任务具体落实到各复测队。

在商谈技术细节时，我们还注意到设计院都觉得曲线半径的选择和纵断面拉坡不易掌握，我们认为复测应该是以反映现状为主，在满足拨道量和起抬落道量的前提下，尽量符合线路技术标准和设计规范的要求，对我们路局以至全路来说、都应该制订一个完整、准确、统一的复测细则。

（上接第20页）

2.两个法则的应用效果没有明显差别，同RSA相比，理论上更进了一步，优化三角网寓于三角形的形成过程中。其中，第二种方法较之第一种程序设计较简单，计算机处理也较快。但

#### 五、领导重视、共同努力，是做好航测——复测工作的关键

总结这个工作开展得好的原因有下述几点：

①从主管领导到具体工作的同志在思想上普遍重视了技术资料的基础工作，认识到了技术资料的重要性，注意到了航测在既有复测中推广应用的优点。

②专业设计院和各设计院主动给予我们很大的帮助，在我局管内的线路上洒下了他们辛勤的汗水。

③合局后，复测队的技术力量得到了加强，而这些同志热心负责努力工作。

④最重要的还是上级领导的重视。我局从局、处、科三级领导对此给予了高度的重视。如：1985年工务处领导就资成复测队就陇海线郑州至孟塬段利用既有航片进行航测成图提出可行性方案。于是复测队的同志作了调查研究，提交了“关于西陇海航测情况反映”的报告。1985年12月，铁道航测与遥感经验交流会后，我局几名参加会议的同志就有关会议信息，写出了情况反映，送有关局领导。领导批示：先提出我们局的打算再做进一步研究。复测队的几位同志又写出了“关于航测与遥感技术在我局营业线上应用的意见”，工务处领导批示：“这个意见很好，请技术科进行研究”。于是技术科领导确定了山区铁路采用航测法成图的指导原则，并多次向上级领导报告，阐明航测成图的意义和经济价值，申请经费。这样由于各级领导的重视，才陆续签订了三个复测和航测的合同。总之这是领导重视，上下左右一起共同努力的结果。

这两种方法处理特征线时均不如第三种有利。

3. Delaunay三角法理论严密，且依起点的不同，网是唯一的。但程序设计比较复杂。

（参考文献略）