

# 由三维离散数据生成四面体格网算法研究

郭际元, 龚君芳

(中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074)

**摘要:** 在资源、环境、工程勘探等领域中, 由三维离散数据生成四面体格网, 对三维空间的判断分析, 并得出一些未知的三维空间体的分布信息具有重要意义. 在分析三角网生成算法的基础上, 给出了 3 个建立四面体格网的算法思想及步骤: (1) 四面体格网生成算法. 在数据场中先构成第 1 个四面体, 然后以四面体的某个面向外扩展生成新的四面体, 直至全部离散点均已连成网为止. (2) 逐次插入算法. 将未处理的点加入到已经存在的四面体格网中, 每次插入一个点, 然后将四面体格网进行优化. (3) 分治算法. 首先将数据排序, 然后递归地分割数据点集, 直至子集中只包含 4 个点而形成四面体, 然后自下而上地逐级合并生成最终的四面体格网.

**关键词:** 三维离散数据; 四面体格网; 算法; 三维空间体.

中图分类号: P208 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)03-0271-03

**作者简介:** 郭际元(1956—), 女, 副教授, 1982 年毕业于华中理工学院, 现从事计算机图形学 and 空间数据库的教学和研究工作. E-mail: eraguo@cug.edu.cn

## 0 引言

在三维 GIS 研究中数据模型和数据结构是一个关键问题<sup>[1]</sup>. 例如, 在资源勘探中, 找矿的方法主要有地球物理方法、地球化学方法、遥感地质方法等<sup>[2]</sup>. 而无论是地球物理、地球化学数据, 还是地质、遥感信息都与空间地理位置相关<sup>[3]</sup>. 在地质学尤其是勘查地质学中, 由点源数据形成连续变化的曲面来表达某种场的变化往往需要进行空间数据的插值或估计<sup>[4]</sup>, 从而得出整个资源的分布状况. 这就对三维空间数据的组织有特殊的要求. 四面体格网(tetrahedral network, 简称 TEN)数据模型能够保存原始观测数据, 具有精确表示目标和表示较为复杂的空间拓扑关系的能力<sup>[5]</sup>; 而且利用四面体格网(TEN)数据模型, 通过插值运算能推断出一些未知的三维空间体的分布信息. 因而它得到地学专家的重视和研究.

四面体格网(TEN)数据模型实质是二维三角形网(triangulation irregular network, 简称 TIN)数据结构在三维上的扩展. 目前, 主要有 3 种三角网生

成的算法: 三角网生成算法<sup>[6]</sup>、逐点插入算法<sup>[7]</sup>、分割—归并算法<sup>[7,8]</sup>. 在分析三角网生成算法的基础上, 给出了 3 个建立四面体格网的算法思想及步骤.

## 1 四面体格网生成算法

该算法的思想是: 在数据场中先构成 1 个四面体, 然后以四面体的某个面向外扩展生成新的四面体, 直至全部离散点均已连成网为止. 其步骤如下: (1) 在数据场中选择最近 2 个点连线, 作为第 1 个三角形的一条边; (2) 选择第 3 个点构成第 1 个三角形; (3) 选择第 4 个点构成第 1 个四面体; (4)  $i=1, j=1$  ( $i$  为已构成的四面体个数,  $j$  为正扩展的四面体个数); (5) 扩展第  $j$  个四面体生成新的四面体  $0 \sim 4$  个; (6)  $i=i+k$  ( $k=0, 1, 2, 4$ ),  $j=j+1$ ; (7) 若  $i \geq j$  则转向(5); (8) 结束.

上述算法实现过程的步骤(2)中, 选择第 3 个点的依据是 Delauney 的 2 个性质: 其一是所选点与原 2 点一起所构成圆的圆心到原 2 点连线的“距离”最小; 其二是所选点与原 2 点连线的夹角最大. 在步骤(3)中, 选择第 4 个点的依据是所选点与已产生的三角形的 3 个点一起所构成球面的球心到三角形所构成的面的“距离”最小.

## 2 逐次插入算法

该算法的思想是：将未处理的点加入到已经存在的四面体格网中，每次插入一个点，然后将四面体格网进行优化。其步骤如下：(1)生成包含所有数据点的立方体(即建立超四面体顶点)；(2)生成初始四面体格网；(3)从数据中取出一点  $P$  加入到三角网中；(4)搜寻包含点  $P$  的四面体，将  $P$  与此四面体的 4 个点相连，形成 4 个四面体；(5)应用 LOP 算法从里到外优化所有生成的四面体；(6)重复(3)~(5)步，直至所有点处理完毕；(7)删除所有包含一个或多个超四面体顶点的四面体。

上述步骤(5)中的 LOP(local optimization procedure)是生成四面体格网的优化工程，其思想是运用四面体格网的性质对由有 2 个公共面的四面体组成的六面体进行判断，如果其中一个四面体的外接球面包含第 5 个顶点，则将这个六面体的公共面交换(如图 1)。

## 3 分治算法

该算法的思想是：首先将数据排序，即将点集  $V$  按升序排列，使  $(x_i, y_i, z_i) < (x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ ，不等式成立的条件是  $x_i \leq x_{i+1}$  且  $y_i \leq y_{i+1}$  且  $z_i < z_{i+1}$ 。然后递归地分割数据点集，直至子集中只包含 4 个点而形成四面体，然后自下而上地逐级合并生成最终的四面体格网。分治函数  $lee(V)$  内容如下：(1)把点集  $V$  分为近似相等的 2 个子集  $V_1$  和  $V_r$ ；(2)分别在  $V_1$  和  $V_r$  中生成四面体格网。①如果  $V_1$  中包含 4~7 个点，则建立  $V_1$  的四面体格网；否则调用  $lee(V_1)$ 。②如果  $V_r$  中包含 4~7 个点，则建立  $V_r$  的四面体格网。否则调用  $lee(V_r)$ ；(3)用局部优化算法 LOP 优化所产生的四面体格网；(4)合并  $V_1$  和  $V_r$  中的 2 个四面体格网。①分别生成  $V_1$  和  $V_r$

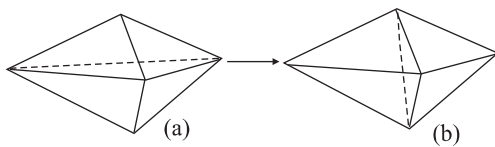


图 1 四面体优化示意

Fig. 1 Local optimization procedure of tetrahedron  
a. 优化前; b. 优化后

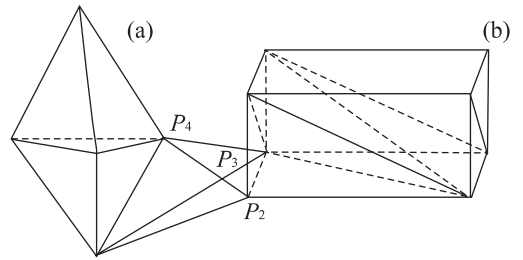


图 2 合并  $V_1$  和  $V_r$  示意

Fig. 2 Merger of  $V_1$  and  $V_r$   
a.  $V_1$  四面体格网; b.  $V_r$  四面体格网

的凸多面体；②在两多面体的  $Z$  方向底线寻找一个三角形，然后建立成四面体；③从该四面体逐步扩展直至整个四面体格网建立完毕。

在合并  $V_1$  和  $V_r$  中 2 个四面体格网的过程中，在建立第 1 个四面体及逐步扩展四面体时，均是在与已有数据点相连的顶点中寻找。如图 2 所示，在合并  $V_1$  和  $V_r$  时，先找到第 1 个三角形  $\triangle P_1 P_2 P_3$ ，然后从与  $P_1, P_2, P_3$  相连的顶点中找到点  $P_4$ ，即生成由  $P_1 P_2 P_3 P_4$  这 4 个点所组成的四面体。然后分别从  $\triangle P_1 P_2 P_4$  和  $\triangle P_1 P_3 P_4$  向外扩展，对于  $\triangle P_1 P_2 P_4$  是在与点  $P_1, P_2, P_4$  相连的点中寻找第 4 个点，而  $\triangle P_1 P_3 P_4$  是在与点  $P_1, P_3, P_4$  相连的点中寻找第 4 个点。每找到一个点，必须确认四面体之间无交叉重叠，若出现这种情况，则放弃这个点，认为该三角形不能再扩展。

在算法实现过程中，笔者认为数据结构的组织形式是有效建立四面体格网的关键，需要进行深入的研究和探讨。

### 参考文献：

[1] 李德仁,李清泉.一种三维 GIS 混合数据结构研究[J].测绘学报,1997,26(2):128-133.  
LI D R, LI Q Q. Study on a hybrid data structure in 3D GIS. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1997, 26(2): 128-133.

[2] 王建平,翟裕生.金成矿系统分析与找矿方法选择[J].地球科学——中国地质大学学报,2000,25(4):384-389.  
WANG J P, ZHAI Y S. Analysis of gold ore-forming system and selection of mineral prospecting: an evidence of gold ore exploration in concealed area, North Laizhou, Shandong Province [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(4): 384-389.

- [3] 黄旭钊,徐昆,梁月明. 利用 MapInfo 综合分析多源地学信息进行矿产预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 189—191.  
HUANG X Z, XU K, LIANG Y M. Development and application of MapInfo; an example of assessing mineral resources by analyzing multiparameter geological information [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(2): 189—191.
- [4] 成秋明. 多重分形与地质统计学方法用于勘查地球化学异常空间结构和奇异性分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 161—165.  
CHENG Q M. Multifractal and geostatistic methods for characterizing local structure and singularity properties of exploration geochemical anomalies [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(2): 161—165.
- [5] 李清泉,李德仁. 三维空间数据模型集成的概念框架研究[J]. 测绘学报, 1998, 11: 325—330.  
LI Q Q, LI D R. Reserch on the conceptual frame of the intergration of 3D spatial data model [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1998, 11: 325—330.
- [6] Green P J, Sibson R. Computing dirichlet tesslelations in the plane [J]. The Computer Journal, 1978, 21(2): 168—173.
- [7] Lewis B A, Robinson J S. Triangulation of planar regions with applications [J]. The Computer Journal, 1978, 21(4): 324—332.
- [8] Lee D T, Schachter B J. Two algorithms for constructing a delaunay triangulation [J]. Int J of Computer and Information Sciences, 1980, 9(3): 219—242.

## Algorithms of Producing Tetrahedral Network from Three Dimensional Dispersed Data

GUO Ji-yuan, GONG Jun-fang

(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In the fields of resources, environment and engineering exploration, tetrahedral network created up from the three dimensional dispersed data is of great significance for making three dimension spatial analysis to obtain the distribution of unknown three dimensional spatial objects. Based on the analysis of the triangulation irregular network algorithms, the authors put forward three ideas and steps of building tetrahedral network. (1) Triangulation growth: The first tetrahedron is first generated in a data field. Then a new tetrahedron is spread out from one surface of the tetrahedron. This continues until all discrete points are connected to a network. (2) Incremental insertion: The un-processed data are inserted in the existing tetrahedral network, once a point. Then the local optimization procedure of the network is realized. (3) Divided-conquer: First, the data are ordered. Then the collections of data points are recursively divided until each collection only includes four points to form a tetrahedron. Finally, every tetrahedral network is merged from lower level to upper level until the last tetrahedral network is produced.

**Key words:** three dimensional dispersed data; tetrahedral network; algorithm; three dimensional spatial object.