

地形建模中不规则三角网构建的优化算法研究

谭仁春^{1,2} 杜清运¹ 杨品福¹ 张珊珊²

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 广州市城市规划勘测设计研究院, 广州市建设大马路 10 号, 510060)

摘要: 对利用数字线划图(DLG)重建地形三维模型进行了研究, 提出了基于三角形拓扑关系的自动联结三角网算法, 并构造了复杂地形的三维数据模型。基于此模型, 设计实现了构网优化算法, 实现了复杂地形的自动三维重建。试验证明, 本文提出的构网优化算法是稳健、高效的。

关键词: 数字线划图; 地形三维模型; 约束 Delaunay 三角网

中图法分类号: P208; P283.7

地形三维模型又叫数字高程模型(digital elevation model, DEM), 或称为数字地形模型(digital terrain model, DTM), 是构建地形表面空间位置与其相关属性信息的数字化表示。地形三维模型是对地形表面在地形采样数据基础上的表面重构。如果采样数据为高程, 则为数字高程模型。DEM 建模主要可分为离散点建模、三角网建模、规则格网建模以及混合表面建模等, 在实际应用中, 基于三角网和规则格网的建模方法使用较多, 被认为是两种基本的建模方法^[1]。其中三角网建模具有高精度、高效率 and 易于处理地性线(如断裂线、构造线等)等特点, 并且规则格网数据一般在构建三角网的基础上经过内插得到, 因此, 构建三角网是建立地形三维模型的关键, 其中, 由于约束 Delaunay 三角网具有良好的形态, 在表达地表面形态方面表现较为出色, 得到普遍认可。

1 数据预处理

地形三维重建的数据源很多, 如航空影像图、激光扫描图和数字线划图等。利用数字线划图重建地形三维模型是目前地形三维信息获取的主要手段之一。

为了保证算法的稳定性, 必须先对数字线划图数据进行预处理。对整个试验区域的数字线划图预处理的工作主要包括以下方面。

1) 删除等高线和高程点之外的线划要素, 确保用于构网的数据都具有高度信息;

2) 提取山谷线和山脊线等地性线作为三角网构建的约束条件;

3) 将等高线数据转换成离散点数据;

4) 保留等高线上的地形特征点, 通过道格拉斯压缩算法^[2]对等高线上的点进行筛选, 保留对地形特征有代表性的点。

数字线划图经过预处理后, 就变成满足算法需要的约束条件和带有高程信息的离散点集合。

2 复杂地形三维数据模型

基于 TIN 的地形数据模型不同于基于格网的地形数据模型, 它依赖于对三角形拓扑关系的正确描述。笔者在自行开发的数据处理和三维建模一体化平台 3DTIN(如图 1 所示)上设计了原始数据和三角网数据模型。

对于每一个三角形, 边和节点都对应一个记录, 三角形的记录包括指向其 3 个边的记录的指针。边的记录有 4 个指针字段, 包括两个指向相邻三角形的指针和它的两个顶点指针。每个节点包括三个坐标值的字段, 分别存储 X、Y、Z 坐标。这种拓扑网络结构的特点是对于三角形的每一条边都记录了与三角形的拓扑邻接关系。

一个完整的构网原始数据, 即用来构网的离

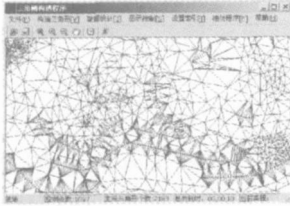


图 1 约束 Delaunay 三角网试验
Fig. 1 Experiment of Constrained
Delaunay Triangulation

散点可用如下结构来描述:

```
typedef struct {
long x; // 离散点的三维空间 X 坐标//
long y; // 离散点的三维空间 Y 坐标//
long z; // 离散点的三维空间 Z 坐标//
bool flag; // 构建三角网时的判断标记//
} TINPOINT
```

每个构网过程中新生成的三角形可用如下结果来描述:

```
typedef struct {
int no; // 三角形编号//
int vertex[3]; // 3 个顶点的序号//
int neighbor[3]; // 记录 3 个邻接三角形编号, 为负表示没有邻接三角形. neighbor[0]: v1 - v2, neighbor[1]: v2 - v3, neighbor[2]: v3 - v1//
} TRIANGLE
```

TRIANGLE 对应着三角网中的每一个三角形, 数组 vertex 描述了构成三角形的三个离散点的序号和顺序, 而数组 neighbor 记录了三角形三条边依次邻接三角形序号。

3 基于三维数据模型的建模优化算法

建模优化算法的流程如图 2 所示, 首先定义一个结点队列来描述原始数据: $CArray < CTirPoint^*, CTinPoint^* > m_aPoints$ 。每个离散点都用 CTinPoint 数据结构来表示。

定义一个三角形队列来记录构建的三角形: $CArray < CTriangle^*, CTriangle^* > m_aTriangles$ 。每个三角形都用 CTriangle 数据结构来表示。

在图 2 中, 变量 L 表示优化算法生成的三角形总数量, 每扩展生成一个三角形, L 就增加一个数值。变量 k 表示当前扩展三角形在整个三角形队列中的序号, 即当前正在处理第几号三角形。每完成一个三角形的扩展, 变量 k 就增加一个数值, 即开始扩展下一个三角形。变量 i 表示扩展

三角形正在处理的边。函数 FindFirstTriangle 用来确定第一个三角形, 并以此三角形为基础进行三角网扩展。函数 FindNeighborTriangle 用来确定与扩展三角形边最终建立三角形的离散点, 并记录新生成的三角形信息。因为在扩展新三角形时要以数据预处理阶段得到的山谷线、山脊线等地性线作为建立三角网的控制条件, 即在构建三角网时, 所建立的三角网不能跨越地性线, 也就是要保证地性线无条件地作为三角形的边。因此, 地形的三维重建问题可以看作一个如何将离散点构建成约束 Delaunay 三角网的问题。该优化算法的主要实现步骤如下。

- 1) 根据本优化算法对数据的要求进行数据预处理, 生成离散点集合;
- 2) 在离散点中找出符合条件的 3 个点生成第一个三角形, 编号为 1, 并加入到三角形队列中;
- 3) 从该三角形的边向外扩展, 确定扩展边;
- 4) 从离散点中挑选扩展候选点, 使这些点与扩展三角形第三顶点位于扩展边的异侧;
- 5) 在候选点中确定一个点, 以扩展边的两端点和该点建立新三角形, 并保证新建立的三角形

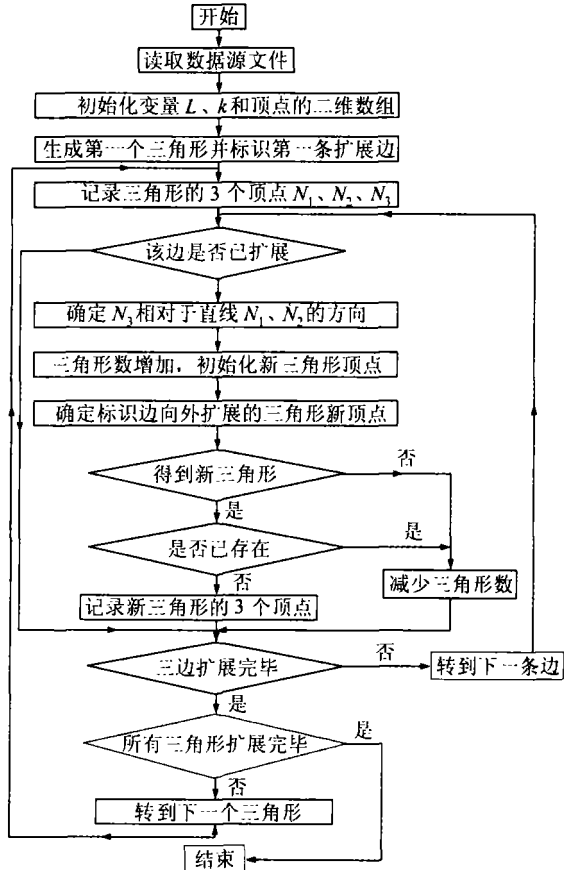


图 2 建模优化算法流程图

Fig. 2 Flow Chart of Optimized Modeling Arithmetic

在地性线的同侧,然后加入到三角形队列。

6) 判断扩展三角形的三边是否都已扩展,若是,则转到步骤 7); 否则转向步骤 3), 重复步骤 3)、4), 直到三角形三边全部扩展完毕, 转到步骤 7)。

7) 判断三角形队列中是否还有要扩展的三角形,若是,则转到步骤 3), 再次重复步骤 3)~6); 若否, 结束扩展, 程序结束。

当程序结束时,也就是三角形队列中所有的三角形都被扩展了,这时,所有的离散点都参与到构网过程中,并最终成为约束三角网的结点。由于每个离散点都带有高程信息,这样约束三角网中的每个三角形实际上就是空间三角形对象,地形的三维重建工作就完成了。

4 试验结果及分析

基于本文提出的数据模型和地形建模优化算法,笔者开发了基于数字线划图的地形模型三维

重建的试验平台。

在图 3 中,笔者给出了本文提出的优化算法试验各个阶段的效果图。该试验以 DLG 的等高线为数据源,见图 3(a),在经过数据预处理后得到图 3(b)所示的代表地形特征的离散点数据。按照本文提出的基于三维模型的构网优化算法得到图 3(c)所示的地形三角网模型(TIN)。图 3(d)和图 3(e)则是利用三维可视化技术得到的地形可视化的各种应用效果。

笔者采用多组原始高程点数据,分别用两种算法进行对比构网分析。第一组试验数据原始高程点 10 970 个,构网后生成三角形 21 380 个,原始算法构网耗时 6 s,本文优化算法构网耗时 3.8 s;第二组试验数据原始高程点 51 380 个,构网后生成三角形 75 160 个,原始算法构网耗时 9.3 s,本文优化算法构网耗时 5.1 s。

比较本文算法改进前后的试验结果可以发现,本文的优化算法在构网效率上得到了明显的提高,而且随着构网区域的扩大,构网效率的提高

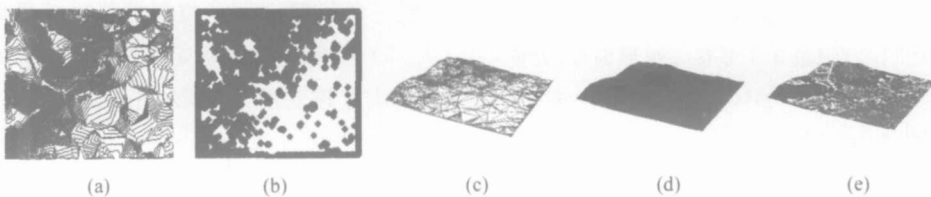


图 3 建模优化算法试验效果图

Fig. 3 Effect Chart of Optimized Modeling Arithmetic Experiment

也越来越大。两种算法的构网效率对比如图 4 所示。

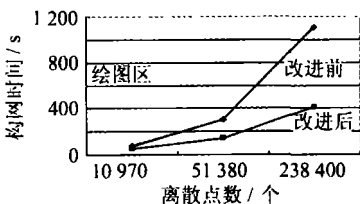


图 4 改进前后的构网效率对比

Fig. 4 Contrast of Triangulation Efficiency Between Before and After Mend

5 结语

本文提出了一个地形模型三维重建的策略。首先引入拓扑概念,实现了对三角网中三角形几何描述和拓扑抽象基础上的拓扑分析,然后阐述了用于模型重建优化算法的三维数据模型。从数字线划图对获取的地形信息进行预处理后,基于

此数据模型实现了建模优化算法。地形图其他要素在建模中的应用、建筑物边角线(building footprint)的特殊处理等问题有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 李志林,朱庆.数字高程模型[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000
- [2] 周培德. 计算几何——算法分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000
- [3] 王来生. 大比例尺地形图机助绘图算法及程序[M]. 北京: 测绘出版社, 1993
- [4] 闵卫东,唐泽圣. 二维任意域内点集的 Delaunay 三角划分的研究[J]. 计算机学报, 1995, 18(5): 357-364
- [5] 闵卫东,唐泽圣. 二维任意域内点集的 Delaunay 三角划分的生成实现[J]. 计算机学报, 1995, 18(5): 365-371
- [6] 唐荣锡. 计算机图形学教程[M]. 北京: 科学出版社, 1990
- [7] 刘少华. 约束 Delaunay 三角网生成算法研究[J].

- 测绘通报, 2004(3): 4-7
- [8] 程朋根. 基于 Delaunay 三角网的模型拼合算法研究[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(4): 451-455
- [9] 胡金星. 高效构建 Delaunay 三角网数字地形模型算法研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2003, 39(5): 736-741
- [10] Lee D T, Schachter B J. Two Algorithms for Con-

structing a Delaunay Triangulation[J]. Computer and Information Sciences, 1980, 9(3): 219-242

第一作者简介: 谭仁春, 博士生, 主要从事空间信息可视化与三维 GIS 研究和应用工作。

E-mail: tanrc@126.com

Optimized Triangulation Arithmetic in Modeling Terrain

TAN Renchun^{1,2} DU Qingyun¹ YANG Pinfu¹ ZHANG Shanshan²

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, 10 Jianshedama Road, Guangzhou 510060, China)

Abstract: This paper tries to research 3D reconstruction of terrain model based on DLG. A auto-coupling triangles algorithm based on triangle topological relationship is put forward, and the topological data model of complicated terrain is developed. Based on this data model, auto 3D topological reconstruction of terrain is realized. It is testified that the arithmetic put forward by this paper is steadiness.

Key words: DLG; DEM; constrained delaunay triangulation

About the first author: TAN Renchun, Ph.D candidate, majors in spatial information visualization and the application of 3D GIS.

E-mail: tanrc@126.com

(上接第 386 页)

First, the concept and structure of CGK were defined, and its organization method was given. Second, methods of mining generalization tasks, monitoring user's operations and how to assess generalization algorithms and results based on CGK were put forward. Finally, the theory and technique of saving generalization tasks were involved. The experiment demonstrates that CGK is important in cartographic generalization. CGK provides a basic reference for the assessment in generalization.

Key words: cartographic generalization knowledge; generalization task; assessment; monitoring

About the first author: WANG Jiayao, professor, Ph.D supervisor, academician of Chinese Academy Engineering, engaged in research on spatial information science and technology.

E-mail: wangjy@cae.cn