

# 煤矿地质三维可视化的研究与应用<sup>①</sup>

孙臣良, 张 峰

(辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 阜新 123000)

**摘 要:** 利用 SQL Server 2005 为数据库, 采用先进的 TIN 数字高程模型、VC++ 面向对象技术和多媒体建模方法作为前台开发工具, 利用不规则三角网 Delaunay 算法自动生成标准的 TIN 三角网地形, 通过 OpenGL 强大的三维处理和显示引擎, 实时、动态生成各种矿井实体, 再现井上下真实的三维场景, 构建三维可视化应用, 实现了煤矿三维可视化系统。

**关键词:** 三维可视化; 地质建模; 地质数据库

## Application and Research of Three-Dimensional Visualization of Mine Geological Environment

SUN Chen-Liang, ZHANG Feng

(School of Resources and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** In this paper, intelligent SQL Server 2005 database management system for the TIN system uses advanced digital elevation model, VC++ object-oriented modeling technology and multimedia development tool as a front. It automatically generates a standard terrain TIN Algorithm using Delaunay, Real-time, dynamic generation of various mining entities Through a powerful 3D OpenGL processing and display engine. To achieve three-dimensional visualization system of mine, reproduction under real three-dimensional scene, building visualization applications.

**Key words:** three-dimensional visualization; geological modeling; geological database

### 1 引言

矿井三维可视化是数字化矿山建设领域中的一种重要模型技术, 此技术在煤矿中应用的最为广泛, 实现煤矿矿井的三维可视化将会提高我们对煤炭的开采效率及煤炭企业的管理水平。利用不规则三角网构建三维地形, 借助于 VC++6.0 开发平台, 调用 OpenGL 函数<sup>[1]</sup>, 实现地形三维可视化的开发。

### 2 建模

不规则三角网模型<sup>[2]</sup>能够灵活地随着地形的起伏及复杂情况而改变格网单元的大小, 避免在平坦地区的数据冗余, 可以按照地形特征点线表示地形特征。不规则三角网建立数字高程模型的实质是: 通过从不规则分布数据点的三维空间数据信息生成的连续三角面, 用整个连续的三角面来逼近指定区域内的地形表

面。TIN 模型建立的一个重要环节是三角剖分算法。按照三角剖分准则, 将地形中采样的所有点用互不相交的直线段首尾连接起来, 并按一定的结构进行存储, 这种做法就是 TIN 的三角剖分。狄洛尼 (Delaunay) 三角网在三维地形拟合方面最为理想与适用, 能够真实、形象地表达三维地形地貌, 因此狄洛尼 (Delaunay) 三角网是不规则三角网模型生成常用方法。

#### 2.1 狄洛尼三角网分类

TIN 的生成需要处理大量的离散数据。在 TIN 的生成中, Voronoi 图和 Delaunay 三角网有着广泛的应用。相邻的 Voronoi 多边形是指有公共边的 Voronoi 多边形。而 Delaunay 三角网则被定义为连接所有相邻的 Voronoi 多边形的生长中心所形成的三角网。狄洛尼三角网又可细分为标准 (不带约束条件) 狄洛尼三角网和带约束条件的狄洛尼三角网两类。

<sup>①</sup> 收稿时间:2011-04-26;收到修改稿时间:2011-06-11

(1) 标准（不带约束条件）狄洛尼三角网

狄洛尼三角网由对应 Voronoi 多边形共边的点连接而成。在 Voronoi 多边形中的一个顶点上，其周围对应着相邻的三个点，连接这三个相邻点就构成一个狄洛尼三角形，同理就能生成连续的三角形，构成狄洛尼三角网（图 1）。同时 Voronoi 多边形中的顶点也是狄洛尼三角形外接圆的圆心。

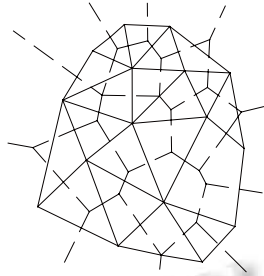
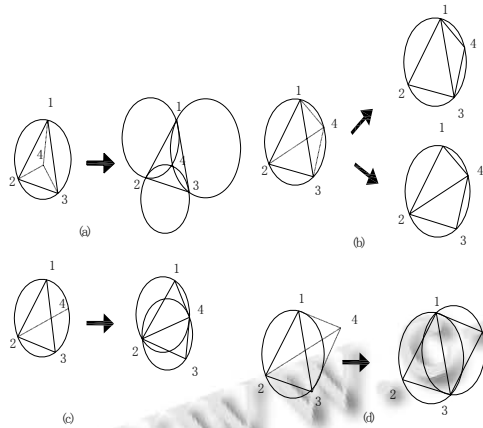


图 1 16 个平面点集合的狄洛尼三角网

当有一个新点插入到三角形时候，新插入的点与原来三角形的相对位置关系经过狄洛尼法则，一个新点插入三角形后形成新三角形的过程就如图 2 所示。



(a) 在三角形内 (b) 在三角形外接圆内  
(c) 在三角形外接圆上 (d) 在三角形外接圆外  
图 2 点与三角形之间可能的关系

当一个新点插入后，如何能保证生成的新三角形最理想（最接近等边），Lawson 提出了局部最优方法（LOP—Local Optimization Procedure）：交换凸四边形的对角线，可获得等角性最好的三角网（图 3（b））。图 3 所示反映一个新点 P 插入后，不带约束的三角网的 LOP 交换过程。

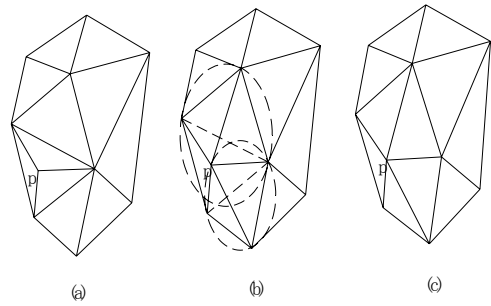


图 3 Lawson LOP 交换的完成

2.2 带约束条件的狄洛尼三角网

带约束条件的狄洛尼三角网与考虑了预先给定的约束条件。图 4 所示是一个把两条断裂线（图中虚线表示）作为约束条件的 16 个平面点的狄洛尼三角网。

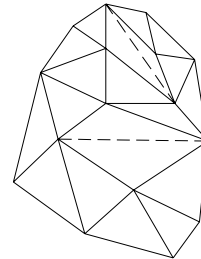
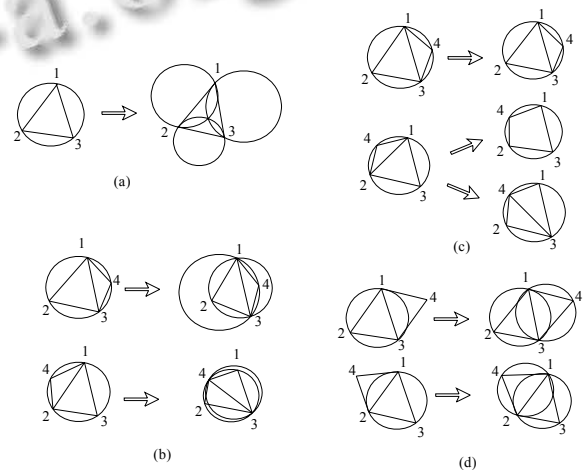


图 4 带约束条件（两条断裂线，以虚线表示）的狄洛尼三角网

一个新点插入后，约束的狄洛尼三角网中点、三角形和约束线段之间存在的可能关系。如图 5 所示。



(a) 在约束三角形内 (b) 在外接圆内  
(c) 在外接圆上 (d) 在外接圆外

图 5 点、三角形与约束线段之间的各种可能关系

图 6 所示表示带约束条件: 即两条约束线段  $ab$  和  $bc$  后, 完成 Lawson LOP 交换过程, 这样就能得到最合理的带约束条件的狄洛尼三角网。

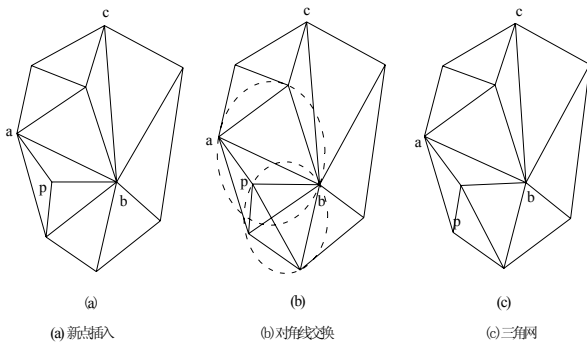


图 6 插入约束线段  $ab$  和  $bc$  后带约束条件的 Lawson LOP 交换的完成

## 2.3 狄洛尼三角网的生成算法

### (1) 分而治之算法

分而治之算法又称分治算法是由 Shamos 和 Hoey 二人在 1979 年提出的一种利用平面点生成 Delaunay 三角网的方法。

数据集  $V$  中存在  $N$  个互不重合平面点的, 分治算法的基本步骤为:

① 把需要建模区域内的三维数据集分为两个近似相等的子集。设其中的一个子集为  $VL$ , 另一个子集为  $VR$ ;

② 子集  $VL$  和  $VR$  分别包含集合前半部和后半部分点, 分别在子集  $VL$  和  $VR$  中生成 Delaunay 三角网;

③ 搜索子集  $VL$  和  $VR$  中生成 Delaunay 三角网面的公共切线, 直到底线至顶线, 把子集  $VL$  和  $VR$  生成的两个 Delaunay 三角网合并为一个完整的三角网集合面。

④ 重复上述步骤直到最后三角网建完为止。

分治算法在生成 Delaunay 三角网中之所以得到较为广泛的应用, 是因为此法能够使问题的基本思路简化, 效率提高, 但同时存在时间效率受到子网格的算法、子网格的合并所制约。

### (2) 渐次插入算法

渐次插入算法是由 Lawson 提出的。该方法是通过已建立好的三角网把没有处理的数据放到其中, 每处理一个数据需要更新一次三角网。渐次插入算法的基本步骤是:

① 在区域内建立初始多边形, 这个多边形要包含所有的数据;

② 在区域内建立初始三角网;

③ 将加入的第一个数据点与包含该点的三角形三个顶点相连接, 将这个包含该点的三角形分为 3 个小三角形;

④ 用 LOP 算法更新邻接的三角形;

⑤ 重复上述步骤, 直到所有的数据点插完为止。渐次插入算法思路简单, 在此方法的基础上有很多分支的方法, 大部分都是在初始点的定位位置上有分歧, 目前一点一的定位方法已成为主流的方法。

### (3) 三角网生长算法

三角网生长算法是由 Brassel 和 Reif1979 年提出的。算法的思路是从任一点开始, 在点集中找出与此点最近的一点, 生成一条形成 Delaunay 的边, 按 Delaunay 三角网的判别法找出包含此边的 Delaunay 三角形的另一个端点, 由此 Delaunay 三角形开始, 直到所有的点都被包含到三角形中为止, 如图 7 所示。其基本步骤是:

① 在数据中取任意一点为初始点, 在所有数据中找出距此点最近的一点连接成 Delaunay 三角形的一条边, 以此边作为基线, 用 Delaunay 方法搜索第三个点;

② 由此三点生成 Delaunay 三角形, 然后以此三边作为基线, 迭代上述步骤直到所有基线处理完毕。

三角网生长算法优化。从上述步骤可以看出, 三角网生长算法中要搜寻“第三点”要对所有的数据进行搜索是费时的。因此, 可以对数据进行分块和排序, 可减少搜寻“第三点”的时间, 也可以提高生成三角网的效率。由于“第三点”的搜寻效率的改进有限, 故此方法的应用不多。

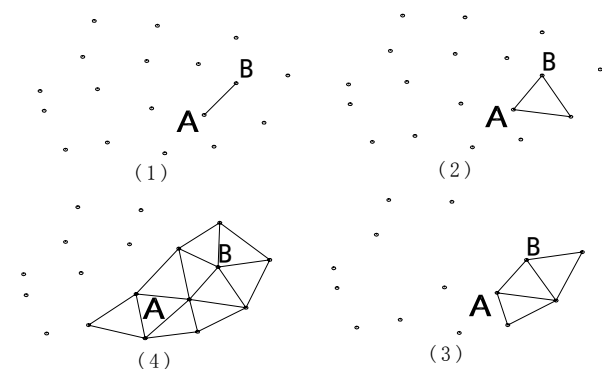


图 7 三角网生长算法过程

### 3 矿井地形的三维可视化

三维地形模型<sup>[3]</sup>一个重要的应用方面就是地形的三维可视化,地形三维可视化就是要在终端设备上(如电子屏幕)形象、逼真的显示三维地形景观。地形三维可视化的一般过程包括建模(场景描述)、三维变换、可见面识别、光照模型、三角面片的明暗处理和颜色与纹理生成等基本过程。在VC++6.0开发平台上调用OpenGL函数,并利用不规则的狄洛尼三角网建立矿井的三维地形模型。

建立完地形的曲面后,需要对曲面进行法向量计算。如果不进行法向量计算,添加光照模型时不能正确放置光源位置,也就是不能区分曲面的正反方向,这样会影响光照的效果。

三维地形模型是在世界坐标系中建立的,所有的数据都是以空间数据信息状态进行存储的,要达到在计算机屏幕上显示三维地形景观的目的,就需要把具有三维空间数据信息的模型“压平”到二维屏幕上,这种把三维数据压平为二维数据的过程称为投影。在OpenGL中,需要进行三种类型的转换:视图转换、模型转换、投影转换,才能将一个模型的三维坐标转换到其在屏幕上对应的像素位置,过程如下:

(1) 视图转换:视图转换用于确定场景的拍摄点,允许你把观察点放在你所希望的任何位置,并允许你在任何方向上去观察物体,OpenGL中缺省的情况下,透视投影中,观察者是从Z轴的负方向看过去的。OpenGL中可以使用工具函数gluLookAt()来完成视图变换的设置。

(2) 模型转换:模型转换的作用是对模型及模型内部的特定物体进行操作,包括对物体的移动、旋转、缩放。OpenGL中可以使用函数glTranslatef()、glRotatef()、glScalef()来完成模型转换。

(3) 投影转换:投影转换指定了一个完整的场景投影到屏幕上的最终图像。投影分为正投影和透视投影,透视投影多用于图形处理方面,OpenGL中创建一个透视投影函数void glFrustum(),其中包括各种参数的设置。

处理三角形面片的着色即三角面片的明暗处理。OpenGL提供了三角形面片明暗处理的函数glShadeModel(Glenum mode)。

对于三维地形模型而言,如果把一些真实的图片,如航空图片或者是遥感图像贴到三维地形模型

上,能够使地形模型具有现实世界的感觉。用OpenGL函数对三维地形模型的进行纹理贴图主要过程如下:

(1) 创建一个对象,并指定纹理。函数glTexImage1D(), glTexImage2D(), glTexImage3D(),分别用于定义一维纹理、二维纹理和三维纹理。其中的参数为纹理数据的指针、纹理大小、纹理的类型等。

(2) 在模型显示的每个像素应用纹理,调用函数为glTexEnv()。

(3) 启动纹理贴图功能。在三维模型表面上纹理加载上,OpenGL中可以使用glEnable()和glDisable()函数来启用和禁用纹理贴图功能。

(4) 绘制场景,提供纹理坐标和几何图形坐标。

我们需要确定纹理在进行粘贴之前应该如何根据它所应用的片段进行排列。就是说,在场景中指定物体时,需要同时指定纹理坐标和几何坐标,调用函数为glTexCoord()。

### 4 模型应用实例

本文结合上社二景煤矿的具体情况,利用该矿的地形数据、巷道测量数据等三维数据,并借助OpenGL在三维图形处理与显示中的强大功能,以VC++为开发平台,建立矿井的三维地形模型和巷道模型,而且将矿井的这些模型转换为各种仿真实体,形成具有真实感的立体虚拟空间。在三维场景中,真实地反映复杂的井田地形地貌、井巷工程、生产系统等信息,为生产调度、生产指挥、生产管理、安全监察、抢险救护与事故分析提供三维虚拟环境下的决策支持。如图8、图9所示。

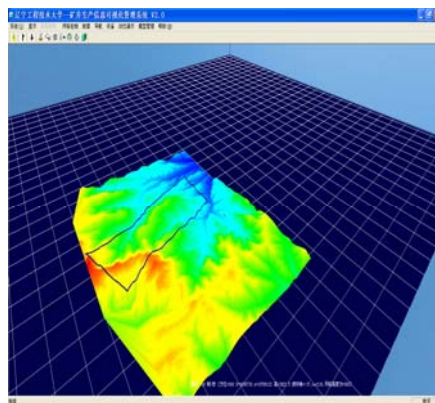


图8 井田境界线

(下转第39页)

装口全部配备人员 采用人工复核的方式,按照上述人工复核的平均速度,整条流水线人工复核的速度也仅仅为 16 箱/分钟,高速度的称重复核提升了整条流水线的速度,提升幅度达到至少 275%。同时,称重复核算法能够保证 95%以上的准确性,而由于人生理因素的影响,人工复核的方法复核的准确率,也仅仅达到 97%,并没有明显的提高。综合复核准确率和复核效率考虑,本文算法在实际应用中能取得更好效果。

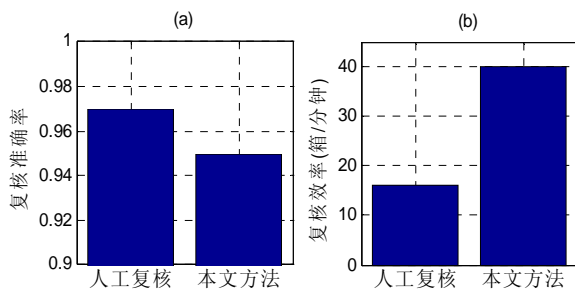


图 2 本文方法与人工复核方法的比较

#### 4 结论

本文提出一种图书称重复核算法,根据样本图书

类重量的均值和方差用  $3\sigma$  法则和假设检验方法分别构造初始分类器,然后利用 Adaboost 算法基于初始分类器构造最终分类器,用最终分类器对实现图书箱的称重复核。该方法克服了初始分类器无法全面准确分类的缺点,与人工复核相比大大提高了复核效率,同时保持了很高的称重复核准确率。在今后的工作中,拟将不同种类的纸张可能导致的误差、季节、湿度等环境因素可能导致的误差纳入概率统计范围,进一步提高称重复核准确率。

#### 参考文献

- 1 徐永强. 邮用秤的流转管理. 中国计量, 2001, 64(3): 1-3.
- 2 冯建忠, 张仁颐. 航空货运重量复核系统的改造. 仪器仪表用户, 2006, 13(1): 54-56.
- 3 侯凌燕, 尹军琪. 图书重量复核技术的应用. 物流技术与应用, 2008, 13(1): 92-93.
- 4 何晓群. 关于 6 Sigma 与 3 Sigma 的比较. 数理统计与管理, 2006, 25(2): 175-177.
- 5 Lehmann EL, Joseph PR. Testing Statistical Hypotheses. New York: Springer, 2005 ISBN. 0387988645.
- 6 熊盛武, 宗欣露, 朱国锋. 改进的基于 Adaboost 算法的人脸检测方法. 计算机应用研究, 2007, 24(11): 298-300.

(上接第 52 页)

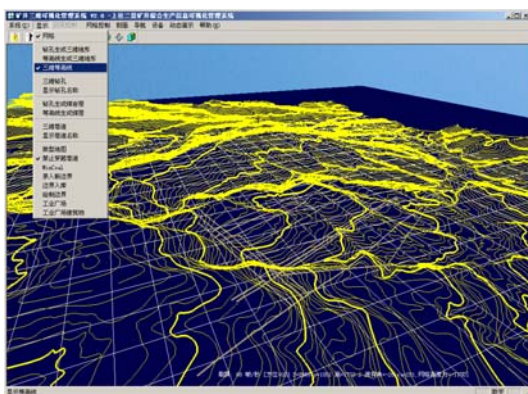


图 9 井田三维地形等高线

#### 5 结论

山西阳泉上社二景矿地质信息可视化管理系统采用先进的计算机网络技术、数据库技术、计算机图形处理技术,采用支持面向对象技术的 Microsoft Visual VC++ 优秀软件开发工具,基于客户机/服务器应用架

构开发的矿山三维可视化管理平台,通过集成矿井地质信息三维可视化管理系统,实现了矿井地质信息可视化管理,具有强大的二维和三维图形处理功能,实时、高效的地质信息获取、查询,为矿井的安全、经济开采提供了科学、高效的现代化地质信息三维可视技术,提高了企业的信息化水平和管理水平。测试和应用结果表明,系统结构合理,功能完善,性能卓越,运行高效,交互界面良好,操作简捷,能够完全满足上山西阳泉上社二景矿的实际生产,具有很高的实用性和可靠性。

#### 参考文献

- 1 孙波. OpenGL 编程实例学习教程. 北京: 北京大学出版社, 2000. 42-46.
- 2 李培军. 层状地质体的三维模拟和可视化. 地学前缘, 2000, 7(8): 32-36.
- 3 邓寅生, 曲鹏举, 庞玉娟. 基于 OpenGL 的地质体三维可视化系统开发. 微计算机信息, 2007, (3): 18-20.