

# 基于 Qt 和 OpenGL 的三维地质建模

唐 云 邓 飞 黄地龙

(成都理工大学信息工程学院 成都 610059)

**摘 要** 利用曲面插值方法将用户实际测绘出的地层离散控制点插值成光滑的曲面,进一步获得光滑连续的地质界面的三维地质模型,用于表达各种地质界面。首先介绍几种适合中、小规模数据的常用插值方法,并对比其插值效果,然后介绍基于层次 B 样条插值方法,该方法可应用于大规模散乱数据插值中。软件基于 Qt 和 OpenGL 进行开发,已经在工程地质中得到很好的应用。

**关键词** 三维建模,离散数据,层次 B 样条,曲面插值,Qt,OpenGL

## Three-dimensional Geological Modeling Based on Qt and OpenGL

TANG Yun DENG Fei HUANG Di-long

(College of Information Engineering of CDUT, Chengdu 610059, China)

**Abstract** Surface interpolation method was used to interpolate the actual formation discrete control point mapped out by the user into smooth surfaces, so as to further obtain a smooth continuous three-dimensional geological model of the geological interface which can be used to express a variety of geological interface. This paper described several commonly used interpolation methods which are suitable for small-scale data and compared the interpolation results, and then introduced hierarchical B-spline based interpolation method, which can be applied to large-scale scattered data interpolation. Software is based on Qt and OpenGL for development, has been very good in engineering geology applications.

**Keywords** Three-dimensional modeling, Discrete data, Levels of B-spline, Surface interpolation, Qt, OpenGL

## 1 前言

早在 20 世纪 60 年代,曲面插值问题就已经引起了人们的注意,通过多年的研究已经提出了许多算法。在利用实际测绘出的地层离散控制点构造空间三维曲面的过程中,曲面插值有着广泛的应用。离散数据拟合插值所构造的曲面模型是对地质信息在复杂地质体中分布的数学抽象的描述,为绘制和显示地质信息的空间分布提供了重要的方法基础。在很多时候,三维地质建模就需要利用曲面插值方法将用户实际测绘出的离散控制点插值成光滑的曲面,再利用有限的用户指定控制点推导出空间曲面形态,进一步构造光滑细腻的三维地质模型。由于实际应用问题千差万别,数据量大小不同,对连续性的要求也不同,还没有一种算法能够适合于所有的应用场合。而且大多数算法只能适用于中、小规模数据量的插值,大规模散乱数据的插值方法目前还以拟合逼近为主。为了更好地满足用户的要求,我们基于 Qt 和 OpenGL 开发了一个多功能的三维地质建模软件,其中用户可以针对不同数量的离散数据,选择不同类型的插值方法来构造光滑细腻的三维地质模型<sup>[4]</sup>。

## 2 曲面插值方法

在本软件的使用过程中进行插值和曲面绘制之前需要载入离散数据或者网格化数据。目前本软件支持两种格式的数据文件:离散数据文件(\*.dat)和网格数据文件(\*.grd)。

(\* . dat)文件的格式非常简单,由 3 列数据构成,分别代表实际测绘点的 X,Y,Z 坐标,数据之间可以用空格或者','分隔。

下面是一个 dat 文件的例子:

```
0 182 502
2 374 438
4 138 430
.....
```

(\* . grd)文件是网格化数据文件,其格式如下:

```
DSAA
列数      行数
x 最小值  x 最大值
y 最小值  y 最大值
z 最小值  z 最大值
第一行数据...
第二行数据...
...
第 n 行数据...
```

DSAA 是 grd 文件的文件头标记(一个有效的 grd 文件必须以 DSAA 开头),接下来是数据的列数和行数,后面是网格数据的范围。

### 2.1 中小规模离散数据插值

#### 2.1.1 与距离成反比的加权法

此方法又称为最小二乘距离加权插值算法,最早是由气象地质工作者提出来的。后来,由于 D. Shepard 的工作被称

为 Shepard 方法。其基本思路是将插值函数  $F(x, y)$  定义为各数据点  $f_k$  的加权平均, 即点  $(x_k, y_k)$  的值  $f_k$  对于  $F(x, y)$  的影响与  $(x_k, y_k)$  至  $(x, y)$  的距离成反比。插值函数  $F(x, y)$  可表示为

$$F(x, y) = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{f_k}{[d_k(x, y)]^\mu}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{[d_k(x, y)]^\mu}} \quad (1)$$

式中,  $d_k = \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}$  表示由  $(x, y)$  点到  $(x_k, y_k)$  点的距离,  $\mu$  一般取 2。不同的  $\mu$  对曲面形态有一定的影响。如果对上式求导, 会发现  $\mu$  小于 2 时在控制点形成尖点效果, 大于 2 时形成平台效果。Shepard 方法是一种常用的插值算法, 插值结果是  $C^0$  连续的。而且当增加、删除或改变一个点时, 需重新计算整个曲面, 因而该方法是一个全局插值算法。但是当插值数据比较多时, 采用该方法计算速度比较慢。图 1 是  $\mu=2$  时的插值效果图。

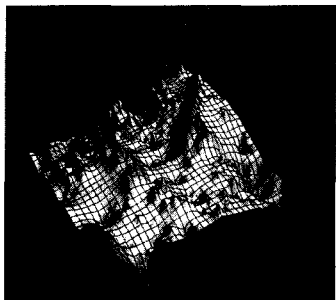


图 1  $\mu=2$  时插值效果图

### 2.1.2 径向基函数插值法

Multiquadric 方法是最早提出并应用最为成功的一种径向基函数插值法, 在水文测量、大地测量、地质、地球物理等大量领域得到了广泛的应用。该方法采用的插值基函数为

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + \vartheta^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中,  $\vartheta$  为任意常数, 用来控制曲面的圆滑程度,  $\vartheta$  越大曲面越圆滑, 通常  $\vartheta$  根据实际情况取值,  $\vartheta$  过大大会导致病态的系数矩阵, 影响求解, 因此在多数情况下,  $\vartheta$  取值小些效果会更好。对于一组已知的原始数据点  $(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$ , 将每个数据点对应的坐标代入上式, 可以得到  $n$  个关于系数  $a_i$  的线性方程组, 求解后就得到  $n$  个系数的解。这样, 当计算未知点的高程坐标  $z$  时, 只需要将  $x, y$  反代入上面方程即可。图 2 是径向基函数插值效果图。

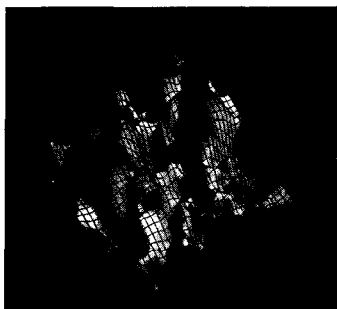


图 2 径向基函数插值效果图

从效果图可以看出, 使用径向基函数插值方法插值的曲面比较光滑, 因为使用此方法构造的曲面具有二阶连续性, 所以插值效果好于前面的与距离成反比的加权法。但当数据量太大时, 由于求系数需要求解线性方程组, 方程组个数变大,

速度就比较慢了, 因此该方法通常应用于中小规模的离散数据插值。

### 2.1.3 薄板样条插值

该方法是 1972 年提出来的, 并且由 J. Duchon 等人给予发展。薄板样条的插值基函数为

$$F(x, y) = w_0 + w_1 x + w_2 y + \sum_{i=1}^n a_i r_i^2 \ln(r_i^2 + \vartheta) \quad (3)$$

$$r_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2$$

式中,  $\vartheta$  与径向基函数中的  $\vartheta$  一样, 为任意常数, 用来控制曲面的圆滑程度,  $\vartheta$  越大曲面越圆滑, 通常  $\vartheta$  根据实际情况取值, 不宜过大。根据已知测绘数据, 将其带入方程组, 求解出  $(w_0, w_1, w_2, a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。那么当计算未知点的高程坐标时, 只需要将  $x, y$  反代入上面的插值基函数就可以了。从图 3 可以看出, 采用薄板样条插值的效果和径向基函数插值方法比较相近, 该方法所构造的曲面也具有二阶连续性, 曲面光滑并且通过所有给定的点。但是当数据量大时, 也需要求解大型方程组, 速度较慢, 所以此方法也常应用于中小规模的离散数据插值。

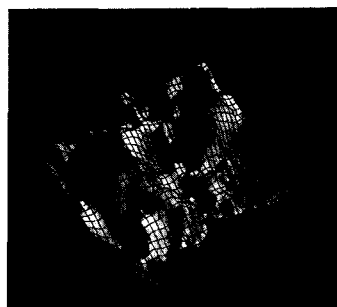


图 3 薄板样条插值效果图

## 2.2 基于层次 B 样条的大规模离散数据插值

前面介绍的几种插值方法通常应用于中、小规模离散数据插值。当数据量太大时, 这些插值方法往往长时间无法得到结果。这时, 为了有效构造地表曲面, 就需要采用大规模离散数据插值。基于层次 B 样条的大规模离散数据插值方法可以使得曲面具有比较光滑的形状并且具有很高的近似精度, 如图 4 所示。采用该方法所构造的曲面也具有二阶连续性<sup>[2]</sup>。

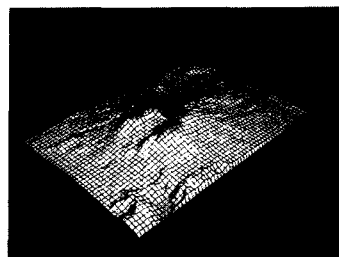


图 4 层次 B 样条插值效果图

从图中可以看出, 采用此方法得到的曲面既有良好的光滑程度, 又有很高的逼近程度。另外, 对于不均匀的离散数据, 使用此方法可以在数据点稀疏的地方保持曲面的大体趋势, 又能在数据点密集的地方更好地逼近离散数据, 因此能够满足三维地质建模和其它很多领域。

## 3 基于 Qt 和 OpenGL 的软件开发

OpenGL 是目前国际公认的三维图形工业标准, 它不仅加速了 3D 应用程序的开发, 而且使得应用程序具有更好的

移植性。Qt 是一个多平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架,它为程序员开发多平台应用程序提供了方便。使用 Qt 开发的程序不但具有很强的移植性,同时具有很高的运行效率,它已经成为世界上很多成功应用案例的基础,并且备受科学计算、三维建模、石油地质等软件开发的青睐。因此,本文选择了 Qt 作为三维曲面开发的基础。为了支持三维图形功能,Qt 提供了 OpenGL 模块,为 OpenGL 在多个操作系统平台上的应用进行了浅层封装。基于 Qt 和 OpenGL 进行三维图形程序的开发非常轻松,代码简洁,使程序员从繁琐的本地 API 调用中解放出来,可以把更多的精力放到三维场景的创建中去。

**结束语** 为了快速得到光滑连续的地质界面的三维地质模型,根据不同规模的离散数据,需要采用不同的插值方法。本文在用户实际情况的基础上,为开发的软件提供了 4 种常用的插值方法对测绘得到的离散数据进行插值,用户可以根据实际测绘出的离散数据量的大小,选择不同的插值方法,生成满足用户需要的三维地质曲面。这在用户的实际应用过程中,反映很好,具有很好的实用与经济价值。

(上接第 259 页)

(3) 受风力作用的云:

$$\begin{cases} \text{Alpha}_{up} = \text{Alpha}_{up} - 0.1 \\ \text{Alpha}_{down} = \text{Alpha}_{down} + 0.1 \end{cases}$$

其中,  $\text{Alpha}_{up}$  和  $\text{Alpha}_{down}$  分别表示上层云和下层云的 Alpha 值。

Step6 根据当前  $x_i, y_i$  和  $z_i$  值,将云图片分别沿  $x$  轴,  $y$  轴和  $z$  轴平移  $x_i, y_i$  和  $z_i$ ,并根据当前的 Alpha 值利用本文 2.5 节的混合模式来确定云的状态。

Step7 采用本文 2.6 节设定的光照模型显示云图像和风景图片。

Step8 如果继续动态显示云,转向 Step3;否则结束。

#### 4 实验与分析

为了验证本文提出模型和算法的有效性,我们对动态云及其受到风力作用后的一些特殊效果进行了模拟。实验中云纹理 1 和云纹理 2 为  $256 \times 256$  的 24 位 bmp 图片,云纹理 3 为  $128 \times 128$  的 24 位 bmp 图片(见图 5)。模拟过程中通过键盘交互式来控制漂浮的云是否受到风力的影响,同时设定两个按键来控制是否生成聚集云和消散云的效果。图 6—图 8 为模拟动态云系统中对各种模拟效果的截图,其中图 6 中一层云应用了“纹理 1”图片,多层云应用了“纹理 2”和“纹理 3”图片;图 7 应用了“纹理 1”和“纹理 3”图片;图 8 采用了“纹理 1”和“纹理 2”图片。

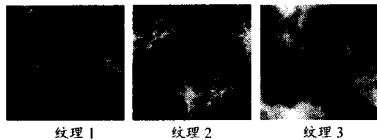


图 5 云纹理图片

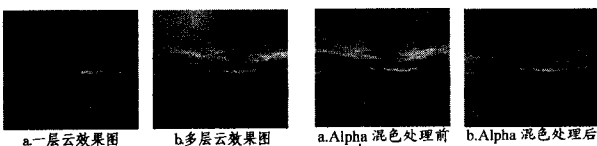


图 6 “层云”的模拟效果 图 7 采用 Alpha 混色处理的效果图

#### 参考文献

- [1] 唐泽圣,等. 三维数据场的可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999
- [2] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条[M]. 北京:高等教育出版社,2001
- [3] 邓飞,周果,王美平,等. 基于剖面重构的三维地层建模[J]. 物探化探计算技术,2007(1)
- [4] 唐云,黄地龙. 复杂地层结构的 2D、3D 剖面显示技术研究[J]. 物探化探计算技术,2004(4)
- [5] 黄地龙,柴贺军,黄润秋. 岩体结构建模系统软件设计与研究[J]. 计算机工程与应用,2002(2)
- [6] Gordon W J, Wixon J A. Shepard's method of metric interpolation to bivariate and multivariate data[J]. Math. Comp., 1978, 32:253-264
- [7] 唐泽圣,等. 交互式计算机图形学基础[M]. 北京:中国科学技术出版社,1986
- [8] 王海,张青山,吴韵楠. 一种三维地层模型的表示和生成方法[J]. 计算机工程与应用,2000,27(1)

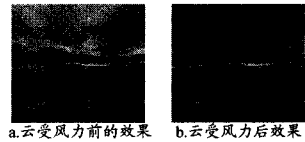


图 8 云受风力作用的效果图

**结束语** 本文提出一种动态云实时模拟方法,该方法采用重复纹理映射技术,通过多幅二维纹理图片对三维动态云进行建模,通过平移和缩放等操作有效地模拟了实时运动的变化云层;通过加入 Alpha 色彩融合技术实现了云层的聚集、消散和受风力影响的动态云变化效果。所提出的动态云建模方法简单,避免了大量繁琐的计算,提高了动态云的生成速度,满足了动画等应用场景中对动态云的实时性要求,取得了很好的模拟效果。

#### 参考文献

- [1] 龚琳,顾大权,袁媛. 三维云建模和绘制[J]. 计算机应用与软件,2007,24(2):184-186
- [2] 刘圣军. 基于几何的水和云彩动画特效模拟[D]. 杭州:浙江大学,2007
- [3] 米剑,刘鹏远,张锡恩,等. 视景仿真中天空背景的真实感改进[J]. 系统仿真学报,2001,13(增刊):220-223
- [4] 李锋,万刚,马伟. 视景仿真中实体云的建模与渲染技术[J]. 测绘科学技术学报,2007,24(1):76-78
- [5] 齐越,沈旭昆,段米毅,等. 基于 perlin 噪音绘制云的方法[J]. 系统仿真学报,2002,14(9):1204-1207
- [6] 石贱第,姜显明. 基于分形几何的动态云模拟[J]. 计算机仿真,2006,23(4):197-200
- [7] 岳望. 基于物理模型的实时三维云模拟[D]. 长春:吉林大学,2008
- [8] 张英杰,赵汝嘉. 一种实现正向纹理映射的新方法[J]. 工程图论学报,1997(1):161-165
- [9] 彭晏飞. 基于神经网络的自然景物纹理合成技术的研究[D]. 沈阳:辽宁工程技术大学,2006
- [10] 唐兆,郭平波. 三维实时云建模与渲染在工业仿真中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(8):1051-1055