

文章编号:1671-6833(2003)02-0063-04

基于断层数据的三维重构技术的研究

黄永丽, 徐 华

(郑州大学信息工程学院, 河南 郑州 450052)

摘 要: 由一序列的平面轮廓线重构三维形体有着广泛的应用, 而重构中的定位、分支等关键问题的处理直接影响三维形体的精度和实用价值. 对面绘制以及使用该方法时需要解决的分支问题、定位、光滑性和连续性等关键问题进行分析, 并对分支和定位问题的解决方法进行改进, 提出按照多轮廓线的周长比率将多分支问题转化若干个单分支问题来解决分支问题和质点对齐进行定位, 从而提高了重构的精度.

关键词: 三维重构; 分支; 轮廓线连结; B 样条曲线

中图分类号: TP 391.41 文献标识码: A

0 引言

三维数据场可视化中, 有两类不同的可视化算法: 面绘制算法和体绘制算法. 面绘制具有健壮性、计算量小、速度快、易于实现等优点, 所以它仍是目前的主流算法. 由一序列二维轮廓线重构三维形体有着广泛的应用, 如由计算机断层扫描 (CT) 及核磁共振图像 (MRI) 以及超声等成像设备得到的人体二维断层图像序列在计算机中重构出三维形体. 在地形数据可视化中, 输入一系列的二维等高线重构出具有光照效果的三维地形图像等.

三维重构过程首先要对断层图像进行处理、轮廓识别和矢量化处理, 再抽出一系列截面轮廓线构造出三维形体供后继交互式使用. 三维重构过程中的分支问题、轮廓线连结、定位等关键技术直接影响到重构的精度和使用价值. 目前对定位问题的处理大多采用为每一轮廓线定义一个最大包围盒, 再通过平移和放大等操作使各包围盒中心位置对齐来避免用最短对角线法进行连接时产生锥体的现象. 此方法运算量大, 实现复杂. 本文运用求出各轮廓线的质点, 通过平移和旋转使所有的质点与第一层质点对齐的方法, 很好地克服了上述方法的缺陷. 对于分支问题的解决采用按照多轮廓线的周长的比率把多分支问题转化为若干个单分支问题, 以改进通过引入内插边来解决分支问题^[1] 时当多轮廓线间最短距离较大、大小

有较大的差别时, 多轮廓线的一个较小的轮廓线和单轮廓线的大部分区域相联接而产生的精度问题.

1 三维重构

表面表示是表示三维形状最基本的方法, 它可以提供三维物体的全面信息, 其具体形式有两种: 边界轮廓线法和表面曲面表示. 表面曲面表示是用三角形或多边形的小平面在相邻的轮廓线间填充形成物体表面, 这种重建方法包含两个主要步骤: 首先进行轮廓线提取得到边界数据以获得重建的图像信息; 其次是用三角形面片依次把相邻轮廓线进行拼接^[2].

1.1 相邻断层间表面重构及其所需要解决的问题

实现三维表面模型重构就是要用一系列相互连接的三角面片将上、下两条轮廓线连接起来. 对于断面是凸轮廓线的剖面, 根据 H Fuchs^[3] 提出可接受表面形体的两个条件, 可得路径总数为

$$A[m,n] = \frac{((m-1)+(n-1))!}{(m-1)! (n-1)!}.$$

在众多的可接收表面组合中, 基于局部计算和决策的启发式方法可决定当前的选择. 本文对最短对角线法^[3] 进行讨论, 采用最短对角线法的基本原理是设第 i 层轮廓线为 $C_i = \{(x,y) | (x,y) \in C_i\}$, 第 $i+1$ 层轮廓线为 $C_{i+1} = \{(x,y) | (x,y) \in C_{i+1}\}$. 如图 1 所示, 设 P_i 是 C_i 上的任意一点, 在轮廓线 C_{i+1} 上找到距离 P_i 最小的点, 设为

收稿日期: 2003-01-15; 修订日期: 2003-02-28

作者简介: 黄永丽 (1978-), 女, 河南省商丘市人, 郑州大学硕士研究生.

Q_i , 则以跨距 P_iQ_i 为基础, 如果对角线 $P_iQ_{i+1} < P_{i+1}Q_i$, 则连接 P_i, Q_{i+1} 形成三角面片 $Q_iP_iQ_{i+1}$, 否则形成三角面片 $P_iQ_iP_{i+1}$. 应用最短对角线法生成光滑、精确的三维模型需要解决的问题有以下几点.

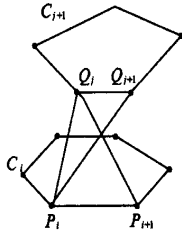


图 1 最短对角线法示意图

Fig.1 The shortest diagonal method

1.1.1 定位问题

当断面的上、下两条轮廓线的中心点相差较远时, 采用最短对角线法会因失败(如图 2(a) 所示)而产生一个圆锥面, 这时需要在绘制三维形体之前先对二维轮廓线进行定位, 这是后续部分工

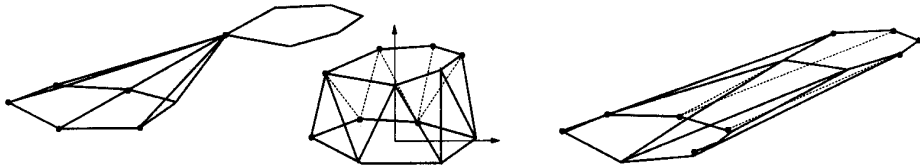


图 2 定位问题示意图

Fig.2 The orientation problem

然后再计算它们的方差向量:

$$D_i = \left[\sum_{(x_i, y_i) \in C_i} (x_i - x_{c_i})^2, \sum_{(x_i, y_i) \in C_i} (y_i - y_{c_i})^2 \right];$$
$$D_{i+1} = \left[\sum_{(x_i, y_i) \in C_{i+1}} (x_i - x_{c_{i+1}})^2, \sum_{(x_i, y_i) \in C_{i+1}} (y_i - y_{c_{i+1}})^2 \right].$$

根据 M 和 M_{i+1} 的 x, y 分量的差值和 D_i, D_{i+1} 来决定 C_{i+1} 的平移量和旋转量, 使上下两轮廓线达到最大程度的重叠, 以 C_i 的质点为圆心建立坐标系, 按照最短对角线法连接相邻的轮廓线, 再进行反变换到原来的位置(见图 2(c)).

1.1.2 基线的选择

在进行三角形面片连接时, 在 C_i 上任选一点 P_i , 然后求出 C_{i+1} 上距离 P_i 最短的点 Q_i , 以跨距 P_iQ_i 为基线进行构建^[3].

1.1.3 轮廓线的连续性处理

由于原始数据只提供了剖面的离散的节点, 要生成连续的三维形体, 需要对每一层的轮廓线连接作一定的处理. B 样条曲线有较好的连续性, 所以由 B 样条曲线来拟合以改善轮廓线的连续

作的基础. 采用的补救办法大多数是在构造三角面片之前, 为每一轮廓线定义一个最大包围盒, 然后通过平移和放大等操作使各层轮廓线的包围盒中心位置对齐^[1], 改进方法计算量大, 实现复杂. 本文采用在构造三角面片之前通过平移使上下两条轮廓线的质点对齐, 再在变换后的轮廓线之间连接三角形面片(见图 2(b)), 很好地克服了上述问题.

设第 i 个断层平面上的轮廓线为 $C_i = \{(x, y) | (x, y) \in C_i\}$, 第 $i+1$ 个断层平面上的轮廓为 $C_{i+1} = \{(x, y) | (x, y) \in C_{i+1}\}$, 分别计算轮廓线 C_i, C_{i+1} 的质点 M_i 和 M_{i+1} , 即

$$M_i = (x_{c_i}, y_{c_i}) = \sum_{p_i \in C_i} p_i / m_i;$$

$$M_{i+1} = (x_{c_{i+1}}, y_{c_{i+1}}) = \sum_{p_i \in C_{i+1}} p_i / m_{i+1},$$

其中: m_i 和 m_{i+1} 分别表示轮廓线 C_i 和 C_{i+1} 上的点的数目.

性^[4]. B 样条曲线不经过控制点时, 需要根据型值点反求出相应的控制顶点^[3]. 为了保证曲线能首尾相接, 并使曲线上结点序号与特征多边形顶点序号相对应, 采用封闭周期的三次 B 样条曲线.

设第 i 层轮廓线 C_i 上有 n 个采样点, 根据封闭三次 B 样条曲线的性质, 应有 $n+2$ 个控制点, 设 $Q_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为控制点. 其值可由矩阵(1)求得 ($P_j (j=1, 2, \dots, n)$ 为采样点):

$$\begin{bmatrix} 4 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 4 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & 4 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_{n-1} \\ Q_n \end{bmatrix} = 6 \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{n-1} \\ P_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: 控制点 $Q_0 = Q_n, Q_{n+1} = Q_n$. 由控制点生成与轮廓线相拟合的 B 样条曲线.

1.1.4 连接平面的光滑处理

用三角形面片连接轮廓线时得到的是分片光

滑的表面,当三角形面片较大时需要进一步对表面的光滑进行处理.本文引入分形^[9]的思想,将每一个三角形的三边中点求出,重新构成新的三角形,依次进行得到很小的三角形面片,以达到光滑的效果.如图3所示.

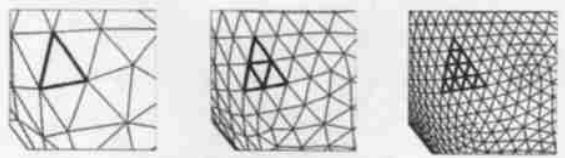


图3 光滑处理示意图

Fig.3 The smooth problem

1.1.5 分支问题的处理

当相邻断面的轮廓线数目不等时要解决分支问题,对于多个不重叠的多个轮廓线而产生的分支问题,需要把多分支转化成一组单分支.当引入内插边将一个封闭区域分成若干个封闭区域与相邻断层相对应^[1],多轮廓线间最短距离较大、大小有较大的差别时,会出现单轮廓线的大部分区域与相邻断层的一个较小的轮廓线相连,从而影响重构的精度,而且当分支过多时该方法实现比较困难.

由于相邻断层距离较小,上下轮廓线的大小应该具有一定的相似性,本文采用按照多轮廓线的周长的比率把多分支问题转化若干个单分支问题.设下层包含一个轮廓线,上层包含多个封闭的轮廓线,需要把下层的单轮廓分成和上层轮廓线数目相同的多个轮廓线.

设上层有3条轮廓线 C_1, C_2, C_3 ,其质点分别为 B_1, B_2, B_3, A_0 为下轮廓线的质点(如图4所示),再求出 B_1, B_2, B_3 的质点 B_0 .在下层作线段 A_0A_1, A_0A_2, A_0A_3 ,分别平行于 B_0B_1, B_0B_2, B_0B_3 ,再求出线段 A_0M_1 ,把 $\angle A_1A_0A_2$ 按照轮廓线 C_1, C_2 周长的比例分成两部分,即 $\angle M_1A_0A_1, \angle M_1A_0A_2 = P_1:P_2$ (P_1, P_2 分别为 C_1, C_2 的周长).用同样的方法按照 C_1, C_3 和 C_2, C_3 的周长的比率把 $\angle A_1A_0A_3$ 和 $\angle A_2A_0A_3$ 各自分成两部分.然后把轮廓线 C_1, C_2, C_3 分别和分割的轮廓线 $M_1A_0M_3A_1M_1, M_1A_0M_2A_2M_1, M_2A_0M_3A_3M_2$ 按照单轮廓线的重构方法构建三维实体.

1.2 连续断层图像的表面重构

按照上述方法,对每相邻两断层数据都做定位、连续性、光滑性、分支等关键问题的处理,对断层图像序列进行重构,进而形成完整的三维形体.

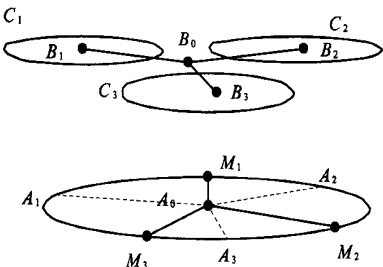


图4 多分支问题算法示意图

Fig.4 Algorithm of multiple branching problem

2 实例

在上述工作的基础上,对断层图像序列进行三维重构,并且加上光照和方位的变动(平移和旋转等).图5是用OpenGL实现的效果图^[7].

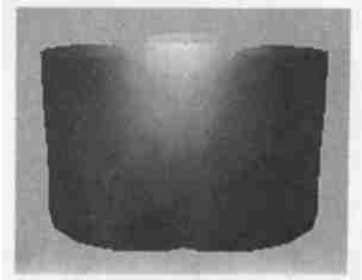


图5 多分支效果图

Fig.5 Result figure of multiple branching

3 结束语

三维重构的应用越来越广泛,而面重构过程中问题的解决直接影响到三维实体的精度.本文运用的按照多轮廓线的周长的比率把多分支问题转化为单分支问题和通过使质点对齐的定位方法,减少了运算量,大大提高了三维形体的精度.本文所作的对面重建过程中几个关键技术的研究和处理,对提高三维实体的精度有较大的参考意义.

参考文献:

[1] 石教英,蔡文立.科学计算可视化算法与系统[M].北京:科学出版社,1997.

[2] 安新伟,张小兵.医学图像三维重建的研究[J].电子器件,2001,(9):207~208.

[3] 唐泽圣.三维数据场可视化[M].北京:清华大学出版社,1999.

[4] ROCKWOOD Alyn P, WINGET Jim. Three dimensional object reconstruction from two dimensional images[J]. Computer aided Design, 1997, 129(4):279~284.

[5] 孙家广,徐隆文.计算机图形学[M].(第三版).北京:清华大学出版社,2002.

[6] KROTKOV Rakawak A. Fractal modeling of nature terrain.

analysis and surface reconstruction with range data[J]. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(5):109 ~111.

[7] GUO Baining. Surface reconstruction from points to splines[J]. Computer aided Design, 1997, 129(4):269~276.

[8] WRIGHT Richard S. SWEET Michael Jr. OpenGL 超级宝典[M]. 第二版. 潇湘工作室, 译. 北京:人民邮电出版社, 2001.

Research on the Technology of 3D Surface Reconstruction Based on Layer Data

HUANG Yong -Li , XU Hua

(College of Information Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450052,China)

Abstract : Reconstruction of 3D object from a set of plane contours has been widely used .However ,howto solve key problems such as orientation problem and multiple branching problem directly affects the accuracy and application value of 3D object .This paper explores surface rendering of 3D reconstruction and key problems such as multiple branching problem ,orientation problem ,smoothness and continuity etc that must be solved while using the method , and it also improves the method of howto resolve multiple branching problem and orientation problem ,and provides the method that changes multiple branching problem into some single branching problems according to the rate of perimeter of multiple contours and the method that makes alignment of mean point ,which greatly improves the accuracy of 3D reconstruction .

Key words : surface rendering ; 3D reconstruction ; branching ; contours connection ; B spline

(上接第 62 页)

参考文献:

京:科学出版社,2000.

[2] 黄河水利委员会 . 建设数字黄河工程[M] . 郑州:黄河水利出版社,2002.

[1] 承继成,林 琿,周成虎,等. 数字地球导论[M] . 北

Digital Huanghe Engineering and Key Supporting Technique

ZHOU Zhen -hong¹, ZHANG Jun -jing¹, CHEN Shi -feng², YANG Guo -lu³

(1.College of Environmental & Hydraulic Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China ; 2.Zhoukou Highway Bureau , Zhoukou 466000, China ; 3.College of Water Resources and Hydropower , Wuhan University , Wuhan 430072,China)

Abstract : Construction of digital Huanghe engineering is to realize information managing , and finally , water resource modernization of Huanghe . Around the three centers of flood danger , water resource offer -demand contradiction , and ecological environment worsening , digital Huanghe engineering is being carried out through the seven application aspects of flood -control , water resource dispatching , water quality monitoring , harnessing and monitoring of soil erosion , running and managing of water conservancy projects , electronic government affairs , and Huanghe net . The key supporting techniques include Geographic Information System , Remote Sensing , Global Positioning System , Net , Spatial Data Warehousing , and Virtual Reality . The key of digital Huanghe engineering is to develop various mathematical models of the Huanghe River valley .

Key words : digital huanghe flood -control ;decision supporting ;GIS ;RS ;GPS ;virtual reality