

# 基于层次性断层数据的三维重构技术

黄永丽, 朱会东, 徐 华

(郑州轻工业学院 计算机与通讯工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:**针对基于层次性断层数据的三维重构,提出了通过引入嵌套矩阵构造嵌套树,然后再通过构造最小生成树的方法来解决轮廓线相邻层次间的对应问题,并以两轮廓环相互覆盖区域的大小作为约束条件。该方法把基于覆盖的对应方法和全局轮廓对应方法结合起来,降低了重构时轮廓拓扑关系判断的复杂性,又能准确地确定轮廓对应关系。

**关键词:**三维重构;嵌套树;嵌套矩阵;最小生成树

**中图分类号:**TP391.41

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2006)08-0060-02

## Technology of 3D Reconstruction Based on Layering Cross - Sections Data

HUANG Yong-li, ZHU Hui-dong, XU Hua

(College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University  
of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Aims at 3D reconstruction based on layering cross - sections data. It puts forward the idea that nested trees are built through the introduction of nested matrix. Then the minimum spanning tree is constructed in order to resolve the correspondence of contours between two adjacent cross - sections. What is more, while constructing the minimum spanning tree, mutual overlapping area is used as a constraining condition. The method combines the correspondences based on overlapping and that based on global, which not only reduces the complexity of topology judgment but also determines the correspondence of contours accurately.

**Key words:** 3D reconstruction; nested trees; nested matrix; minimum spanning tree

### 0 引言

基于断层数据的三维重构的方法有两大类:面绘制算法和体绘制算法<sup>[1]</sup>。表面重构时,每一断层轮廓线个数可能不同,存在轮廓线嵌套等现象,在建立实体的几何表示前应先进行拓扑重构,以保证几何重构的正确性。同一层平面的多条轮廓线之间是互相独立的,不存在连接关系。需要确定的是相邻两层的多条轮廓线之间的连接关系,称为轮廓线之间的对应问题。该问题本质上是一个弱约束问题,存在很大的随意性。在不同的应用领域,轮廓线之间的连接关系变化繁多,非常复杂。同一轮廓线采用不同的对应方式可重构出不同的实体,所以对应问题的解决在三维重构中是至关重要的。

文中通过引入嵌套矩阵构造嵌套树,然后再构造该树中具有相同深度结点的最小生成树,并在最小生成树的构造中以两轮廓环相互覆盖区域的大小作为约束条件来解决对应问题。

### 1 现有的对应问题处理技术

在一般意义下,仅有轮廓线数据而无其他的信息时,

很难自动确定轮廓间的对应关系,目前尚没有有效的数学方法来解决这个问题<sup>[2]</sup>。对该问题的解决大体有两类方法:基于覆盖的轮廓线对应和基于全局的轮廓线对应。

前者是一种局部判断准则,以相邻断层上轮廓线包围区域的重叠大小为判断标准,确定轮廓的对应关系。如果断层方向的采样密度足够高,即相邻层的间距比较小,则可以利用两条轮廓线之间的覆盖程度来决定其连接关系,无二义性地解决对应问题<sup>[2,3]</sup>。但该方法在相邻层间距过大、轮廓错位严重、所提供的数据不足时不能准确、可靠地确定轮廓对应关系,此时需要全局地考虑整个轮廓组,有时需要人机交互来确定它们的对应关系。

后者是一种全局轮廓对应方法,以椭圆来近似代表轮廓,以广义柱体生长法来寻找轮廓间对应关系<sup>[4]</sup>,包含了物体的全局信息。和基于重叠的轮廓线对应方法相比,能够较准确地确定轮廓对应关系,但是判断比较复杂。

确定相邻断层上的轮廓对应关系,它是在轮廓拓扑包含检测的基础上完成的。在拓扑重构之前,须确定同一断层内轮廓的拓扑关系,文中通过引入嵌套矩阵然后再根据该矩阵生成嵌套树的方法来确定具有嵌套层次的轮廓线的拓扑关系。

### 2 多嵌套层次轮廓环的嵌套树的构造

当相邻断层上轮廓线之间的错位很大时,对应问题就

收稿日期:2006-02-11

作者简介:黄永丽(1978-),女,河南商丘人,硕士,助教,研究方向为可视化、计算机图形学。

变得愈发难以解决。轮廓的包含关系就是确定层内轮廓线拓扑关系的建立,它是解决对应问题的基础<sup>[5]</sup>。层内的轮廓线是几个简单多边形,并且多边形之间不相交,即只有包含和相离关系,常用的判断方法是采用传统图形学的方法,判断一个多边形上任意一点在另一个多边形内外,根据判断结果生成层内轮廓的拓扑关系,即得到一个嵌套树。然后根据相邻断层的两棵嵌套树,再进一步确定两断层轮廓线的对应关系。当点的数量过多时,判断也变得越来越复杂,从而使嵌套树的构造也变得复杂。

考虑到层内两条轮廓线之间的关系只有包含、被包含和相离三种关系,文中通过一个矩阵来表示层内轮廓线间的这种关系。假设定义一矩阵  $M$  表示一个有  $n$  条轮廓线的断层的轮廓线之间的嵌套关系,定义如下:

$$M[i, j] = \begin{cases} 1 & \text{第 } i \text{ 轮廓环包含第 } j \text{ 轮廓环} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 轮廓环与第 } j \text{ 轮廓环相离} \\ -1 & \text{第 } i \text{ 轮廓环包含于第 } j \text{ 轮廓环} \end{cases}$$

其中  $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

根据矩阵元素的定义,可以给出如图1所示的一断层轮廓线的嵌套矩阵表示。

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

该矩阵是一个反对称矩阵,而且是一个稀疏矩阵,可以采用矩阵的压缩存储。根据该矩阵可以构造出其对应的嵌套树,树中的结点定义如下:

```
struct TreeNode{
    int Id, Parent, Degree; //Id表示该结点所代表的轮廓环在轮廓环链表中的索引值,Parent代表父结点所代表的轮廓环的索引值,
    Degree代表结点深度
    TreeNode* Children[]; //Children数组用于存放该结点的孩子
    结点,即该结点所代表的轮廓环直接嵌套的轮廓环节点指针
}
```

图1为一断层上嵌套轮廓环示意图。

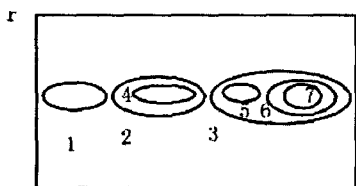


图1 一断层上嵌套的轮廓环示意图

由嵌套矩阵构造该矩阵所对应的嵌套树的过程如下:

Step 1: 首先构造树的祖先结点  $r$ , 并令其  $Degree = 0$ ;

Step 2: 从矩阵  $M$  中找出所有  $M[i, j] \neq -1$  (其中  $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) 的  $i$  环作为祖先结点直接的孩子结点, 插入到祖先结点中, 其  $Degree = 1, Id = i, Parent = 0$ 。

Step 3: 从祖先结点的直接的孩子结点  $node_i$  开始, 令  $i$

$= node_i.Id$ , 检查  $M[i, j]$  是否等于 1 (其中  $j = 1, 2, \dots, n$ ), 如果  $M[i, j] = 1$  则统计  $M[j, k]$  (其中  $k = 1, 2, \dots, n$ ) 中  $-1$  的个数  $t$ , 如果  $t = 1$  或者  $t = node_i.Degree$ , 则将  $node_j$  作为  $node_i$  的孩子插入到  $node_i.Children$  中, 并令  $node_j.Degree = node_i.Degree + 1, node_j.Parent = node_i.Id$ , 转到 Step 4。若不满足上述条件, 则令  $j = j + 1$ , 重复该步骤。

Step 4: 令  $i = node_j.Id$ , 转向 Step 3, 直到所有的轮廓环被插入到树中。

按照上述方法, 可得到图1嵌套轮廓线所对应的嵌套树, 如图2所示。其中  $r$  是一虚拟的轮廓环, 可以看作是断层图像的矩形边框, 引入它是为了方便地构造嵌套树, 在讨论中没有予以考虑, 所以嵌套深度为 1 的轮廓为最外层边界, 图2中 1, 2 和 3 三个轮廓环为最外层边界。每一个结点对应于一条轮廓环, 树中每一结点的后继结点对应于被该结点所代表的轮廓线直接包含的轮廓环。

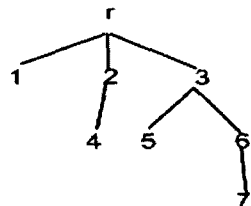


图2 图1嵌套轮廓环所对应的嵌套树

### 3 断层之间轮廓环的拓扑关系判断

具有相同嵌套深度的轮廓环都位于树的同一级上, 它们之间可能具有对应关系, 所以文中在嵌套树构造后, 引入了解决轮廓线对应问题的最小生成树方法的思想, 在两棵具有同一深度的结点中构造其最小生成树, 进而来确定它们的对应关系。即将具有同一嵌套深度的轮廓环的对应问题转化为图的最小生成树的构造问题。具体步骤如下:

Step 1: 以广度优先搜索两相邻断层轮廓环所对应的两棵嵌套树, 提取这两棵嵌套树上位于该深度的所有结点, 建立一个对应于该深度的一个无向图  $G(V, E)$ , 其中  $V$  为结点, 每一个结点表示一条轮廓环,  $E$  为边, 在初始化时, 在每一对相邻断层上的轮廓环结点间都建立一条边。

Step 2: 求出无向图  $G(V, E)$  中的每一结点所对应的轮廓环的最小外接矩形包围盒, 并求出其长  $L$  和宽  $W$  以及该矩形包围盒的对角线交点坐标  $(x, y)$ 。

Step 3: 为无向图  $G(V, E)$  中的每一条边  $E$  赋一权值  $C(i, j), C(i, j) = (L_i - L_j)^2 + (W_i - W_j)^2 + (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2$ 。

Step 4: 求出无向图  $G(V, E)$  的最小生成树。如果边  $E(i, j)$  包含在最小生成树中, 则认为轮廓环  $i$  和  $j$  可能存在对应关系。

Step 5: 连接生成树中包含的轮廓环, 如果两棵树中的

(下转第 65 页)

表 3 综合比较:达到判据时的平均迭代次数

	FIPSO	单项	组合
1	687.8 *	537.29	66.64
2	791.9 *	652.44	67.65
3	913.4 *	735.19	71.68
mean	797.7	641.6	68.66

表 4 综合比较:收敛到判据的比率

	FIPSO	单项	组合
1	0.783 #	0.824	1
2	0.691 #	0.822	1
3	0.667 #	0.803	0.997
mean	0.714	0.816	0.999

## 5 结 论

单项测试中的 6 个加权函数体现了粒子之间非对称性影响,更加符合真实社会网络的情况,试验结果证实了此种模型更加合理。单项加权测试的结果相对 FIPSO 有一定的提高,但效果不很明显。而组合加权测试对算法性能则有很大的提高。实验证明:组合加权算法收敛速度快,收敛概率高,几乎能保证每次收敛。

文中的算法中没有考虑近邻域中包括粒子本身的情况,使得网络模型有一定的失真。另外,模型只考虑了粒

子的滞留代数和适应值差别两个性质。下一步工作可以考虑粒子本身更多的性质,设计出更多的加权形式及其组合。更多因素的组合也许能为算法性能带来更大的改善,但同时计算复杂度可能也相应提高了。

## 参考文献:

- [1] Eberhart R C, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory [A]. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micromachine and Human Science [C]. Nagoya, Japan: [s. n.], 1995. 39 - 43.
- [2] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks [C]. Piscataway: [s. n.], 1995. 1942 - 1948.
- [3] Mendes R, Kennedy J, Neves J. The fully informed particle swarm: simpler, maybe better [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 204 - 210.
- [4] Clerc M, Kennedy J. The particle swarm - explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 6(1): 58 - 73.
- [5] Kennedy J, Mendes R. Population structure and particle swarm performance [A]. Proc 2002 Congress on Evolutionary Computation [C]. Honolulu, HI: [s. n.], 2002. 1671 - 1676.

(上接第 61 页)

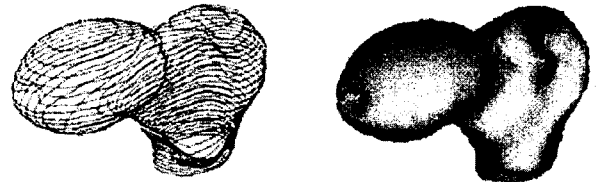
其中一棵嵌套树的结点被取完,则算法结束,否则转向 Step1。

在构造最小生成树过程中,由于表面是不自交的,可通过考虑轮廓线的相对位置作为几何约束。文中利用两轮廓线相互覆盖的区域作为约束条件。令  $j$  和  $j+1$  层上的两个轮廓环分别为  $C_j$  和  $C_{j+1}^*$ ,定义该两个轮廓环的相互覆盖区域为:  $V(C_j, C_{j+1}^*) = \frac{d_j}{1 - B_j^*/B_{j+1}^*}$ ,其中  $d_j$  是两层间的垂直距离,  $B_j$  和  $B_{j+1}^*$  分别表示轮廓环  $B_j$  和  $B_{j+1}^*$  的外接矩形包围的面积。如果覆盖程度低于设定的阈值时,则认为轮廓环  $B_j$  和  $B_{j+1}^*$  不存在对应关系<sup>[6]</sup>。生成最小生成树后,记录下没有对应关系的轮廓环,对这些轮廓环直接用平面三角格网进行剖分。

## 4 实验与结论

文中通过引入嵌套矩阵构造断层轮廓线所对应的嵌套树,然后再构造代表两相邻断层轮廓环的嵌套树中具有相同深度结点的最小生成树,并且在最小生成树的构造中以两轮廓线相互覆盖区域的大小作为约束条件来解决轮廓线的对应问题,该方法通过引入嵌套矩阵使得嵌套树的构造易于实现,然后把基于覆盖的对应方法和全局轮廓对应方法结合起来,既降低了三维重构时轮廓拓扑关系判断的复杂性,又能够比较准确地确定轮廓对应关系。图 3 为使用 VC++ 6.0 和 OpenGL 对一人工关节的数据集进行

的试验重建的效果,实验证明该方法是可行的。



(a) 人工关节轮廓线

(b) 重构后的实体模型

图 3 试验效果图

## 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,1997.15 - 18.
- [2] Haig T D. Border marriage: matching of contours of serial sections [J]. Proceedings of the IEEE, 1991, 138(5): 371 - 376.
- [3] Ekoule A, Peyrin F, Odet C. A triangulation algorithm from arbitrary shaped multiple planar contours [J]. ACM Transactions on Graphics, 1991, 10(2): 182 - 199.
- [4] Bajaj C L. Arbitrary topology shape reconstruction from planar cross - sections [J]. Graphical models and image processing, 1996, 58(6): 524 - 543.
- [5] Meyers D, Skinner S, Sloan K. Surfaces from Contours [J]. ACM Trans on Graphics, 1996, 11(3): 228 - 258.
- [6] 唐泽圣. 三维数据场可视化 [M]. 北京:清华大学出版社, 1999. 180 - 182.