

一种基于 ICT 的工件模型三维重建方法

谢红 张树生 张定华 杨彭基

(西北工业大学 CAD/CAM 研究中心, 西安, 710072)

AN ICT BASED PRODUCT MODEL 3D RECONSTRUCTION METHOD

Xie Hong, Zhang Shusheng, Zhang Dinghua, Yang Pengji

(CAD/CAM Research Center, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072)

摘要 基于 ICT 的 CAD 建模技术, 是一种引入了 ICT 这一高新科技的逆向工程方法, 模型三维重建是这一技术的关键。针对具有机加表面的产品工件, 提出一种模型三维重建方法, 对其实现过程进行了描述, 并通过了实验验证。

关键词 切片 三维模型 边界轮廓

中图分类号 V260.5, TP391.72

Abstract ICT based CAD modeling technique is a new modeling method in reverse engineering domain. Three-dimension reconstruction is a key process of it. This paper presents a 3D reconstruction method for products with machined surfaces, and gives an example of reconstruction result.

Key words slicing, three dimensional models, contours

基于 ICT 的 CAD 建模技术, 将 ICT (工业计算机断层扫描成像, Industrial Computed Tomography, 简称 ICT) 这项高新技术引入到 CAD/CAM 领域, 成为一种新的逆向工程和 CAD 建模方法。模型三维重建是这一技术的关键, 现有的三维模型重建算法^[1~3]大都较适合于重建自由曲面或不规则表面, 如人体器官、工艺品、具有雕塑表面的工件等, 却往往不能有效地重建和准确地表示机加零件上常见的平面、圆柱、台阶、槽、孔等形状体。为此, 提出一种针对机加形状面的三维模型重建方法, 描述其实现过程。

1 三维模型重建方法

本文提出的模型三维重建方法是根据一系列二维切片经二维图象图形处理后得到的工件断层截面边界轮廓线来重构工件的表面模型, 这些边界轮廓线是由多段直线、圆弧(或圆)的连接来构成和表示的。为了简化问题, 暂不考虑二次曲线、相贯线等较复杂的情况。每个切片层的截面边界轮廓线上有 1 条或几条互不连通的边界轮廓线, 每条边界轮廓线上有 1 个或多个轮廓节点, 每 2 个节点之间连接 1 段轮廓边, 或者是直线, 或者是圆弧, 特例为无节点的整圆和单节点的锥顶点等。将每条边界轮廓线上的节点以一致的绕向排列, 将所有切片按高度顺序堆积排列。已给定的数据均是工件水平截面的数据, 需要做的是用这些纬线方向数据建立工件的经线方向信息并构造工件的所有表面。三维模型重建方法如下:

1997-01-15 收到, 1997-04-07 收到修改稿

国家自然科学基金和航空科学基金资助课题

1.1 相邻切片层边界轮廓各节点的经向连接

两个相邻切片层在连接关系上分为两种: 相容关系和不相容关系。所谓相容是指在两切片层边界轮廓线之间能够建立所有轮廓点的连接关系; 不相容关系则是指在两切片层边界轮廓线之间只能建立部分轮廓点的连接关系。对于每两个相邻切片层, 若它们是相容的, 则采用文献[1]中的算法将边界轮廓线上所有节点用三角平面片进行对应连接, 如图1(a); 若是不相容的, 则只连接有对应关系的节点, 如图1(b)。后者常发生在工件的槽、凸台、孔等处, 在对不相容的临界位置进行切片采样时需做特殊处理, 以便认为这两个切片具有相同的高度。对它们进行轮廓节点连接时, 只连接那些距离近似为零的两节点。这种连接是一对一的, 必然有某些节点没有对应的连接点。

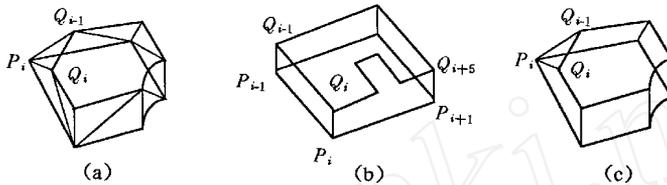


图1 相邻切片层边界轮廓各节点的经向连接

然后, 对每两个相邻的相容切片间的连接三角片进行归并。称每个三角片上属于截面边界轮廓的边为三角轮廓边, 用于连接边界轮廓的边为三角连接边。三角片归并后是一个四边形。图1(c)所示为图1(a)的归并结果。三角片归并的条件为: 两三角片有一公共三角连接边, 且它们的三角轮廓边均为圆弧型; 两三角片有一公共三角连接边, 它们的三角轮廓边是相互平行的两直线段。

为每个轮廓节点建立1个连接域结构。在归并的同时填写两切片中低层切片的相应节点的连接域。连接域记录每个低层切片上的节点与高层切片上的对应节点相连接和构成连接面的情况。连接域的结构为{连接面数, 连接面链}, 连接面数指该节点连接的面片(三角片或四边形)总数, 连接面链是1个链表, 将节点所连接的每个面片作为1个链节点, 链节点结构为{连接点, 连接属性}, 连接点指轮廓节点在该面片上所连接的相邻切片节点, 连接属性指该面片是四边形、上三角片还是下三角片。上三角片是2个顶点在低层切片上, 1个顶点在高层切片上的三角片; 下三角片是1个顶点在低层切片上, 2个顶点在高层切片上的三角片。如图1(c)中, 三角片 $P_i Q_i Q_{i+1}$ 就是1个下三角片, P_i 的连接点是 Q_i 。

对相邻的两个不相容切片, 不必进行面片归并, 但仍需填写低层节点的连接域。如图1(b), 低层节点为 P_i , 它的前一点是 P_{i-1} , P_i 所连接的高层节点是 Q_i, Q_i 的前一点是 Q_{i-1} , 若 P_{i-1} 与 Q_{i-1} 也相连接, 则填写 P_i 的连接域, P_i 的连接点为 Q_i , 连接属性为四边形。

1.2 经向线和经向复合面的建立

按切片由低到高的顺序和切片上边界轮廓节点的绕向排列顺序来遍历每个节点, 对它所有连接面的连接点分别进行经向路径跟踪, 从而建立经向线和经向复合面。

跟踪过程是, 找到1个新的起始节点, 开始一次跟踪, 从该节点的连接面链中查询它的连接点, 并将该连接点作为路径的1个中间点, 再找到该连接点的节点连接域, 从其连接面链中继续查询连接点作为路径中间点, 以此类推, 直到满足结束条件时结束这次跟踪。

为每个轮廓节点建立 1 个跟踪标志。在所有跟踪开始之前,给每个节点标志赋初值-1。在跟踪过程中,需对经过节点的标志赋新值。标志值的含义为:起始点为 0,中间点为 1,结束点为 2,需再访问点为-2,再访问起始点为 3。跟踪时的赋值方法是:每次跟踪的开始都寻找标志为-1 或-2 的节点,并做为起始点,若该点标志为-1,则赋新值 0,若该点标志为-2,则赋新值 3;中间点指该点的连接域中只有 1 个连接面,跟踪路径的下一点必然是其连接点,赋值 1;结束点指该点的连接面数为 0,此时结束跟踪,赋值 2;需再访问的点指连接面数大于 1,使跟踪路线出现分支,不能沿唯一路线继续跟踪的节点,这时结束跟踪,该节点做为这次跟踪的结束点,但不赋结束标志 2,而赋需再访问标志-2,以后该节点将被再次访问并做为另一次跟踪的起始点;再访问的起始点指对标志为-2 的需再访问节点进行再次访问并做为跟踪起始点的节点,该起始点赋值 3。

每次跟踪过程生成 1 条经向线,同时该经向线上每一点在其切片上对应的轮廓段的首端点实际上也构成了另 1 条经向线,这 2 条经向线与起始点轮廓段和结束点轮廓段就共同构成了 1 个经向复合面。如图 2,从起始点 P_i 开始跟踪,经过 Q_i, R_i 点,在 S_i 点结束,生成 1 条经向线 $P_i Q_i R_i S_i$,另 1 条经向线是 $P_{i-1} Q_{i-1} R_{i-1} S_{i-1}$,这 2 条经向线与起始点轮廓段 $P_i P_{i-1}$ 和结束点轮廓段 $S_i S_{i-1}$ 构成了 1 个经向复合面。起始点轮廓段和结束点轮廓段也可以是 1 个点。

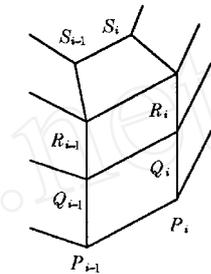


图 2 经向线和经向复合面

1.3 经向复合面的面类型识别和面分解

由于经向复合面可能不是单一类型的 1 个面,因此需进行判断识别和面分解,将它分解成多个单一类型的面。识别判断和分解复合面时,需首先识别经向复合面的左右经向线的线型,这是 1 个三维线型识别问题。线型可分为直线、圆弧(圆)和多义线 3 种。多义线是多条直线段、圆弧段的三维组合线。经向复合面的分解和识别判断方法是:

(1) 若左右经向线中至少有 1 条为直线型,则不分解,该复合面为单一面,并且,若上下两轮廓边为直线型,4 个角点位于同一平面,则为单一平面;若两轮廓边为圆弧形,则为 1 个垂直轴向上的回转面。

(2) 若两经向线中有 1 条为圆弧形,另 1 条为多义线,则不分解,该复合面为单一面。

(3) 若两经向线均为圆弧形,则不分解,但需判断这两个圆弧所在的圆面是否共面,若共面,则为单一面,并且可再判断它们是否可合并成 1 个整圆;若不共面,则认为是一水平轴向上的圆弧柱面。

(4) 若两经向线均为多义线,则需判断它们是否在同一平面上,若是,则不分解,为单一面;若否,则需进行分解,将该复合面分解成多个单一面。

1.4 单一面的合并

经向复合面的分解完成后,经向复合面都成为单一面。在这些面中,有些还能合并成 1 个面。主要有以下 3 种合并情况:

(1) 标志为 3 的节点使跟踪中断,并且是多个单一面的起始点,其中连接属性为四边域

或三角片的那个面可能与和它经向连接的低层单一面能合并成为1个面。合并时将标志由3改写为1;若不能合并,则将标志由3改写为0。

(2)由于跟踪生成的复合面都是经向的,1个完整的水平轴向的圆柱面就被纵向平分成了2个单一的半圆弧柱面,应将这2个半圆弧柱面合并成1个完整的圆柱面,同时将起始点和结束点标志都改写为1。对某些水平轴向的圆弧柱面也可用类似方法合并。

(3)不相容位置处有不能被连接的轮廓节点,从而使跟踪在这些点停止,这些节点中可能有这样的点,它所属的单一面与它所连接的经向低层单一面可合并成1个面。这实际上是多个相连接的面布尔和运算。在合并过程中,要改写某些轮廓节点的标志。

1.5 水平表面的生成

生成所有的经向表面后,还需生成水平表面,才能构成1个封闭的、完整的有效模型。遍历切片堆,寻找每个标志为0或2的轮廓节点,查询它的所有连接面,若这些面中有连接属性为四边域或上三角片的面,则该节点表示的轮廓段就是1段水平表面轮廓边。这些轮廓边中属于同一切片的轮廓边就围成1个水平表面。

以上步骤依次完成后,模型表面信息就全部得到了,表面模型也就建立起来了。这个模型可以转换用其它标准的或常用的模型格式表示,以适应实际应用的需要。这种三维模型重建方法可加以扩充以适用于更多种机加形体。

2 实验结果

采用ACT IS300工业CT机对样件进行了断层扫描,获得了切片数据,结果如图3、图4。

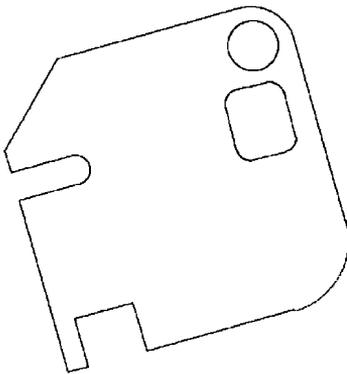


图3 二维边界轮廓线

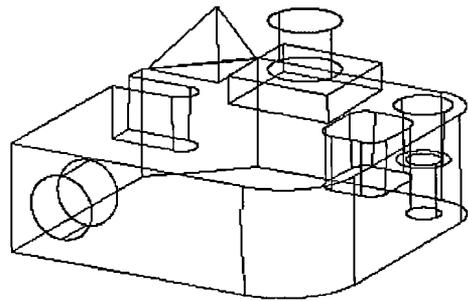


图4 三维重建模型

参 考 文 献

- 1 Fuchs H, Klemm ZM, Uhlir S P. Optimal surface reconstruction from planar contours. *Communications of the ACM*, 1977, 20(10): 693~ 702
- 2 William EL, Harvey EC. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. *Computer Graphics*, 1987, 21(4): 163~ 169
- 3 Walton D J, Meek D S. Point normal interpolation for stereolithography modeling. *Computer & Graphics*, 1995, 19(3): 345~ 353