

用三维数控机床实现快速成型的研究^①

李仲阳¹, 谢存喜²

(1. 湖南师范大学, 湖南长沙 410081; 2. 华南理工大学, 广东广州 510643)

摘要 单机形式的快速成型机由于价格昂贵、通用性差使得它的推广受到很大的限制, 为此我们提出模块化的 RP 思想, 研究用常用的三维数控机床实现快速成型的基本方法, 在建立起三维几何模型后, 通过对截面的分层, 规划出层面制作的填充轨迹, 进行数控指令的转换与终点判别完成层面的制作.

关键词: 数控机床; 快速成型; STL 文件

中图分类号: TH16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2002)01-046-04

0 引言

快速成型的成型学原理都是基于分层制作, 即通过 CAD 建立产品的几何模型并转换成“准标准”的 STL 文件, 然后对它进行实时分层, 生成相应层面的几何数据, 扫描头对该区域进行扫描制作出一个薄层, 薄层的逐层堆积形成了三维物理模型, 可见 RP 系统都有共同的几何-物理基础, 这使得它们在软件和硬件的实现上大部分是相同的. 因此我们提出了模块化的快速成型思想: 将快速成型系统划分为几何运动学模块、扫描头、辅助工艺装置以及伺服系统等几个独立部分, 其中几何运动学模块对于各种 RP 是基本相同的, 若我们将该模块安装在现成的通用的伺服装置上, 并配以相应的扫描头和辅助工艺模块, 则可以在普通的三坐标数控机床开发出 RP 功能, 有效地降低 RP 技术的成本并能完成多种工艺的 RP 技术的集成.

本文研究用常用的三维数控机床实现快速成型的基本方法: 在建立起三维几何模型后, 通过对截面的分层, 规划出层面制作的填充轨迹, 进行数控指令的转换与终点判别完成层面的制作.

1 扫描头与机床主轴的连接

我们设计了一个结构简单的辅助夹持器, 一端连接 FDM 熔融挤出扫描头, 它挤出直径为 0.1~0.75 mm 的融丝来填充物理层面, 夹持器的另一端与机床主轴连接, 主轴头的 X 和 Y 方向的二维联动形成物理层面的扫描轨迹.

2 STL 文件、分层过程与分层截面轮廓线的数据结构

STL 文件是三维 CAD 模型的数据文件, 它表现为一组三角形网格的集合, 每个三角形网格由它的三个顶点坐标和外法矢构成. 三角形的每一条边只为两个三角形所共享, 将这种关系称为相互毗邻, 在一个正确的 STL 文件里, 每一个三角形有且仅有三个毗邻三角形.

开辟一片连续的存储区域存储 STL 文件, 它的首地址为 $&T$, 指针 $f_p = &T$ 指向它的第 0 个三角形网格, 则 f_{p+1} 指向第 1 个三角形网格, f_{p+i} 指向了第 i 个三角形网格(见图 1), 其中 Δ_i 表示第 i 个三角形网格($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$).

我们提出并建立了一种拓扑关系来表示三角形网格之间的相互联系, 以实现对几何模型的实时分层^[2], 该拓扑关系表示为图 2 所示毗邻信息表, 从 STL 文件中建立拓扑关系的计算量非常大, 为了实时快

① 收稿日期: 2001-03-07;

第一作者简介: 男, 1962 年生, 副教授; 主要研究方向: CAD/CAM 快速成型技术.

速分层的需要, 我们进一步提出建立 STL 文件的分组表^[2], 使三角形毗邻信息的查找锁定在较狭窄范围内, 以较小的空间复杂度为代价, 实现毗邻信息的快速提取。

在图 2 中, 指针 $p = \&B$ 指向毗邻信息表的首地址, 则 $p + i$ 指向第 i 个三角形的三个毗邻三角形, 而 $p - l, p - m, p - n$ 则分别指向与之毗邻的 3 个三角形的序号. 若分层搜索到的三角形号码为 i , 则指针 $f_p = \&T + i$ 指向它, 取出数据后, 不难求出截平面与它棱边的交点, 置被处理标志 $flag = 1$, 指针 $p = \&B + i$ 指向它的三个毗邻三角形号码, 设为 l, m, n , 指针 $f_p = \&T + l, f_p = \&T + m, f_p = \&T + n$ 分别指向它们, 从中可确定唯一一个待处理三角形, 处理后, 再查询它的三个毗邻三角形 最终回到起始三角形, 一个截面轮廓求毕。

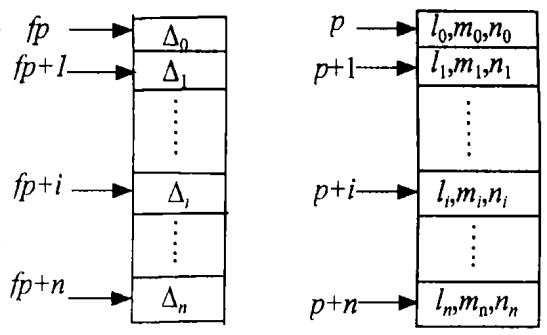


图 1 STL 文件中三角形的存储结构 图 2 毗邻信息表的存储结构

一条轮廓线是由微直线段构成的多边形, 可用双向循环链表表示它的存储逻辑结构, 数据域中记录端点的 X, Y 坐标值, 指针域中前趋指针指向上一点, 后继指针指向下一点 (见图 3), 根据 STL 文件的外法向量信息, 在链表的构造时, 可确定轮廓线的正方向^[2]。

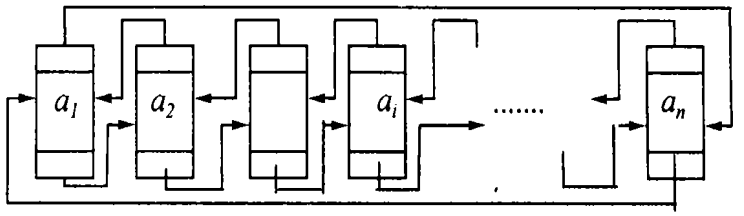


图 3 多边形轮廓的双向循环链表

对于复杂零件, 一次分层处理可能形成图 4a 所示的多个复连通域。

不被任何其他轮廓包容或者包容它的轮廓边界的个数为偶数的轮廓线称为外轮廓, 如图 4(a) 中编号为 1, 4, 5 和 3 的轮廓均为外轮廓. 反之, 若一个轮廓被其他轮廓所包容, 或包容它的轮廓边界的个数为奇数, 则称为内轮廓, 如编号为 2, 6, 7 的轮廓为内轮廓. 我们以图 4(b) 的树形数据结构来表达各条轮廓线之间的关系, 在该结构中, 每个结点表示一条轮廓线的编号, 结点之间从上至下的连接线表示上结点包容下结点, 沿用数据结构中树的概念和术语, 结点的层次从根开始定义起, 根为第一层, 显然, 位于树的偶数层的结点为外轮廓, 奇数层的则为内轮廓。

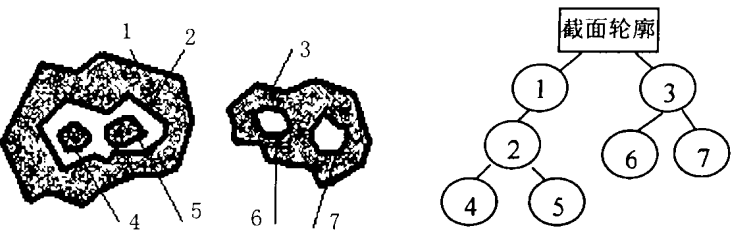


图 4 复杂的截面区域及其数据结构

图 3 的双向循环链表以及图 4(b) 的树的数据结构完整地描述了一个 CAD 模型截面区域。

3 分层截面的单调分割与层面填充的轨迹规划

3.1 平面单连区域的单调划分

一个复杂的截面, 各个多边形之间既可能有相互的包容关系, 也可能存在相互独立的关系, 前者表明了一个截面区域的多连通性, 后者表示该截面具有多分支。

目前快速成型的层面制作均采用行扫描方式, 若扫描线与区域边界线的交点只有两个, 则将该地区称为单调区域, 反之为非单调区域, 若扫描线与区域边界线的交点多于两个时, 就需要让扫描头跨过一段空程, 然后再继续扫描. 该种扫描方式造成填充部件的频繁启停并影响填充效率和层面制作质量, 为此我们

提出了单调区域划分的算法,以减少扫描头的空程损失.

必须指出,区域的单调分割是针对单连通区域而言,对于存在空腔的复连通区域,与复变函数的区域处理类似,将内外轮廓之间剪开后连通成一个单连通区域,从数值处理上表现为将一组双向循环链表合并为一个链表.

一个平面区域是否单调取决该区域边界的局部极值点的凸凹性态与数目.

如图 5(a) 所示的区域有 3 个凸极值点和一个凹极值点,若在凹极值点 b 处作水平线对其进行单调分割,形成 3 个单调子区域,在将单调子区域 I 分割出去以后,形成图 5(b) 所示剩余区域.

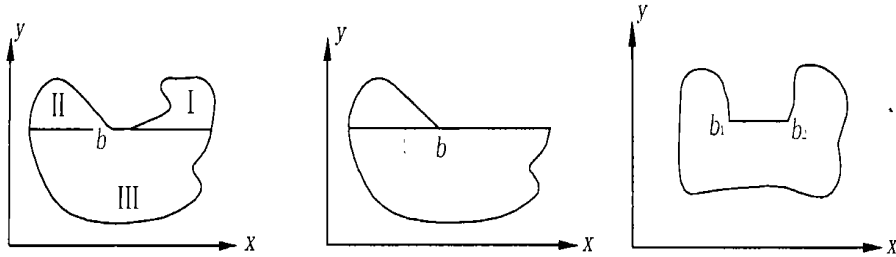


图 5 平面区域的单调子区域

图 6 一对非平凡凹极值点构成的区域

虽然 b 点仍为凹极值点,但对于行扫描而言,在该区域能从最高点开始生成一条连续的扫描轨迹,无需对它再进行单调分割,本文将这种仅有一个非平凡凹极值点的区域称为广义单调区域.对于图 6 所示区域,一对非平凡凹极值点对于单调分割而言,相当于一个平凡凹极值点,在 b_1 或 b_2 作水平线分割出一个单调区域后,剩余区域即为广义单调区域.

若平面区域的边界有 n_0 个平凡极值点和 n_1 对非平凡极值点,则可分割出 $n_0 + n_1 + 1$ 个子区域,在每一个子区域里能形成一条连续的扫描轨迹.

3.2 单调区域中扫描头的路径规划

单调区域的边界仍用双向循环链表描述,最大和最小 Y 坐标值 y_{max} 和 y_{min} 对应点为 a_{max} , a_{min} , 扫描线平行 X 轴,扫描间距为,扫描线的序号为 $j = 1, 2, \dots, k$.

从 a_{max} 开始,设其地址为 $\&a$,从 $\&a \rightarrow next$ 与 $\&a \rightarrow prior$ 分两路搜索求出扫描线与微直线的交点,将求得的交点按顺序构成队列,扫描线与单调域边界的交点有两个,若 j 为奇数,将 a_{max} 的后继方向直线段与扫描线的交点先送入队列,它的前趋方向直线段与扫描线的交点后送入队列,若 j 为偶数,则反之.队列是一种先进先出的数据结构,从队列中输出的点位数数据转换成数控指令即构成了机床主轴头的移动轨迹.

以图 7a 所示多边形区域为例,其单调分割和其中一个单调区域的填充轨迹见图 7b, c.

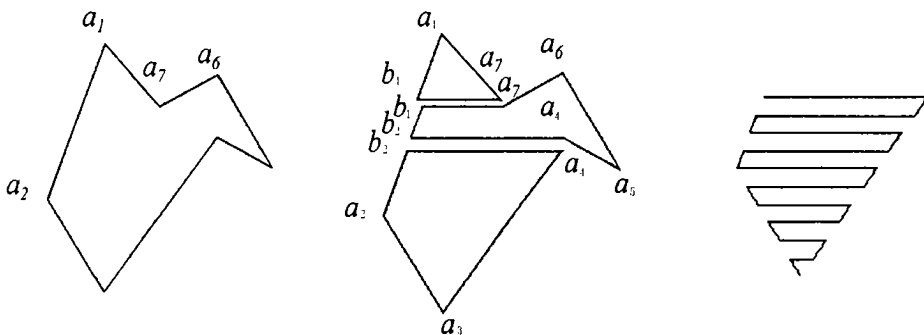


图 7 多边形区域的单调分割与填充轨迹

3.3 扫描头完成一个单调区域的扫描的终止条件

外轮廓可和它包容的低一层的内轮廓合并成一个单连通区域,若一分层面有 n 个单连通区域,第 i 个

单连通区域被划分成 m_i 个单调区域, 总的单调区域数为: $S = \sum_{i=1}^n m_i$.

扫描头完成一个单调区域的扫描的终止条件为: 队列中结点的后继指针为 null; 然后扫描头抬头, $S = S - 1$, 移到新的单调区域, 开始新一轮扫描. 当 $S = 0$ 时, 分层截面制作完毕, 机床工作台向下移动一个分层厚度, 开始新层面的制作, 直至完成整个物理模型.

4 结束语

在数控机床上添加快速成型模块能扩展数控机床的功能, 降低快速成型的成本, 我们研究了用数控机床实现快速成型的运动学原理, 结合所提出的分层算法及研制的成型软件, 进行了 CAD 模型分层, 对于较复杂的边界截面, 能自动实现单调分割并转换成相应的数控指令, 研究表明: 算法稳定可靠, 对于较复杂的截面区域, 能迅速生成数控机床所需的点位数据, 节省了主轴头跨越“岛屿”的空程浪费, 提高了截面填充效率.

参考文献:

- [1] 王运赣. 快速成型技术. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999. 86~ 87.
- [2] 李仲阳. 基于机器人的快速成型机理研究[D]: [博士论文]. 广州: 华南理工大学, 2000
- [3] 颜永年, 张人信, 郭海滨等. 快速成型技术的功能集成研究. 中国机械工程, 1997. 8(5). 13~ 15.

Study on the RP Realizing by 3D NC Machine Tool

LI Zhong-yang¹, XIE Cun-xi²

(1. Hunan Normal University, Changsha 410081 China; 2. South China University of Technology, Guangzhou 510640 China)

Abstract The RP machine has disadvantages of the expensive price, the lack of the flexibility and so on, which make it difficult to be popularized. This paper studied the method realized RP by 3D NC machine tool, and a suggestion of making RP as a module of NC machine tool was put forward, which developed a new function for the NC machine tool. Through constructing a 3D geometry mould and then slicing it, the scanning trajectory to the section of CAD mould can be planned, which was further converted to the NC instructs, at last a section of the physical mould can be manufactured.

Key words: NC; rapid prototyping; STL file