

文章编号 1000-5013(2002)02-172-05

分层索引模型的 NC 程序碰撞检测新方法

蒋英兰^① 王大镇^② 韩荣第^③ 李吉平^④

(① 集美大学轮机工程学院, ② 集美大学机械工程学院, 厦门 361021;

③ 哈尔滨工业大学机械工程学院, 哈尔滨 150001; ④ 天津大学机械工程学院, 天津 300100)

摘要 以加工设备最大加工空间分层索引模型为基础, 提出数控加工程序碰撞检测新方法. 该方法将三维物体间的碰撞问题, 转化为判断平面内一点与一封闭轮廓曲线位置关系的问题. 由此, 降低了碰撞检查的复杂程度, 因而提高了碰撞检测的效率. 文中同时给出以微机为硬件基础的算法实例.

关键词 碰撞检测, 分层索引, NC 程序

中图分类号 TG 659 TP 271⁺. 206⁺. 1 TH 161⁺. 5

文献标识码 A

在数控加工过程中发生碰撞, 不但会造成毛坯的报废和设备的损坏, 严重的还可能威胁到操作者的人身安全. 因此, 为避免加工过程中碰撞的发生, 科研人员在无干涉刀位路径生成方面进行了大量的研究^[1]. 但是, 由于这些研究主要是从刀具和加工面的角度考虑, 而不是考虑整个加工环境, 因而其成果具有一定的局限性. 在实际加工前, 对数控程序进行全面的碰撞检测, 具有非常重要的现实意义. 特别是在 5 轴加工中心上进行复杂曲面的加工时, 更是如此. 目前, 大多数碰撞检测方法都是通过物体的描述模型, 直接针对三维物体进行的, 如八叉树结构、离散表达和 Voxel 表达等等^[2,3]. 然而, 这种在三维物体间直接进行碰撞检测的计算量较大, 有时为实现碰撞过程的可视化, 不得不借助于高性能的图形工作站. 它极大地影响了 NC 程序的碰撞检测效率和推广应用的范围. 本文以复杂曲面 NC 程序检验为目的, 以 PC 机为硬件基础, 以降低碰撞过程的复杂程度为目标, 从加工环境的角度出发, 开展了数控加工程序碰撞检测新方法的研究.

1 基于空间分层索引模型的碰撞检测方法

在复杂曲面加工过程中, 双转台结构的 5 轴加工中心刚度较好, 在实际中应用比较普遍, 如图 1 所示. 本文以此为例, 研究碰撞检测方法.

1.1 机床最大加工范围的分层处理

Shaffer 针对双臂机器人在工作中的避碰问题, 提出了相应的数据结构和更新算法. 该数据结构是八叉树结构的一个变体, 表示的是机器人的运动空间. 在碰撞检测过程中, 空间八叉

树结构需要根据机器臂的运动不断更新. 受 Shaffer 思想的启发, 本文提出并建立了机床最大加工范围分层索引模型, 如图 2 所示. 模型的建立方法是, 将机床最大加工范围用形状为长方体的最小包容合包围, 包容合坐标轴方向与机床坐标轴方向一致. 然后, 用垂直于刀轴的平面

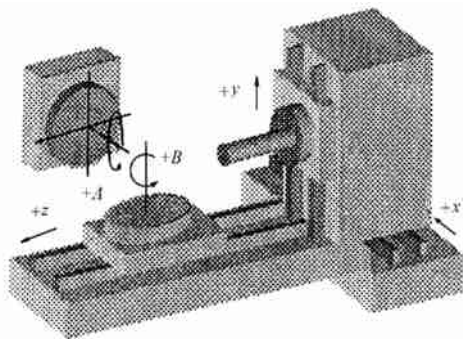


图 1 5 轴数控加工中心

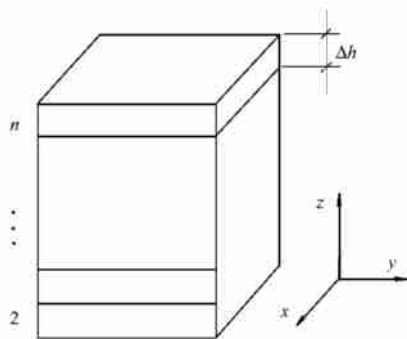
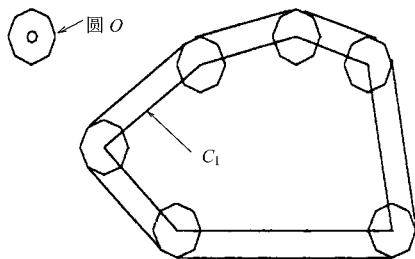


图 2 机床最大加工范围的空间分层索引模型

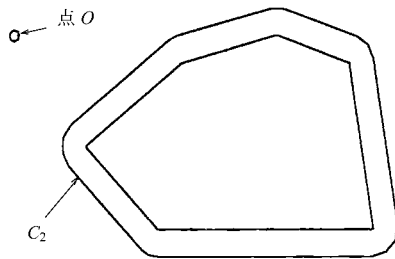
(图 1 中刀轴方向与 z 轴方向平行), 按高度 Δh 依次划分, 其中 1 到 n 为各层的 ID 号. 建立机床最大加工范围的空间. 分层索引模型的有两个主要目的. (1) 通过物体在模型空间中的位置, 判断可能发生碰撞的空间(该空间由若干 ID 号标示). 这样有效地避免了对各层的穷尽搜索, 加速了碰撞检测的进程. (2) 当 Δh 足够小时, 可将各层当平面看待. 这样, 三维物体的碰撞问题可以转化到各平面层内解决, 降低了碰撞检测的复杂程度.

1.2 各层内的碰撞检测

在数控加工中, 刀具、刀柄和主轴箱前端部, 都可能与工件、卡具或工作台发生碰撞. 为使碰撞检测能兼顾加工环境中的各种因素, 同时也为了叙述上的方便, 本文提出了“刀具联体”和“工件联体”概念. 即将刀柄和主轴向前端部看作刀具的一部分, 共同参与碰撞检测中. 就复杂曲面的数控铣削加工而言, 铣刀联体可看作一回转体, 其回转轴为刀轴. 在数控加工过程中, 当刀具联体和工件联体占据同一层 n 时, 可能有碰撞发生. 这可以通过刀具联体和工件联体在 n 层界面之间的位置关系判断. 如果两截面相交, 则在该层内有碰撞发生; 否则, 无碰撞发生. 具体的判断方法, 如图 3 所示. 在图 3(a) 中, 圆 O 和曲线 C_1 分别是刀具联体和工件



(a)



(b)

图 3 碰撞检测示意图

联体在 n 层内截面的轮廓曲线. 图 3(b) 中, 圆 O 收缩成刀轴上一点 O , 曲线 C_1 相应的放大成 C_2 . 放大方法是让圆 O 的圆心在 C_1 上运动, 将圆 O 的外包络线 C_2 作为 C_1 放大后的曲线. 通

过这种措施, 可将圆 O 和 C_1 的碰撞问题, 转化成刀轴和 n 层的交点 O 与轮廓线 C_2 之间的碰撞问题. 这样, 只需判断点 O 的坐标 (x, y) 是否在曲线 C_2 内即可, 进一步降低了碰撞检测的复杂程度.

1.3 平面内一点与封闭曲线之间位置关系的确定

为充分保证数控加工的安全性, 规定只要点和曲线发生接触, 就有碰撞发生. 为了保证判断的效率和安全性, 将计算过程分为粗判和精判两步进行.

1.3.1 粗判 该步的目的是为了减少不必要的精确计算, 加速碰撞检测的进程. 其判据为

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, \quad y_{\min} \leq y \leq y_{\max}. \quad (1)$$

式中 (x, y) 为点 O 坐标, $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$ 为轮廓线 C_2 在 n 层内的极限值.

如果满足条件 (1), 则进行精判; 否则, 该层内无碰撞发生.

1.3.2 精判 如图 4 所示, 一般情况在 xy 平面内有一点 $O(x_0, y_0)$ 和一封闭曲线 C , p_0 到 p_k

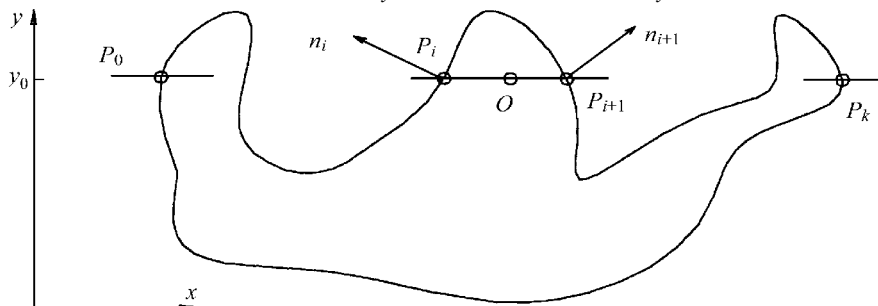


图 4 同一平面内点与封闭曲线的位置关系

为直线 $y = y_0$ 与曲线的交点. 其中 p_i 和 p_{i+1} 为距离点 O 最近的两点, n_i 和 n_{i+1} 为相应的曲线外法矢. 如果点乘积满足条件

$$n_i \cdot p_i O \leq 0, \quad n_{i+1} \cdot p_{i+1} O \leq 0, \quad (2)$$

则表明点 O 位于曲线 C 上或曲线的封闭范围内, 即有碰撞发生; 否则, 无碰撞发生. 特殊情况下, 直线 $y = y_0$ 与曲线无交点, 没有碰撞发生. 直线 $y = y_0$ 与曲线有且只有一个交点, 即直线与曲线相切时, 发生碰撞.

2 基于空间分层索引模型的碰撞检测算法的描述

在机床最大加工空间分层索引模型的基础上, 开发了数控加工碰撞检测算法, 如图 5 所示. 图中, $t-z_{\max}$ 为刀具联体在 z 方向上的最大值, $w-z_{\min}$ 为工件联体在 z 方向上的最小值, z_{\max} 与 z_{\min} 表示机床在 z 方向上的加工范围. 其具体碰撞检测算法, 可用伪码描述为

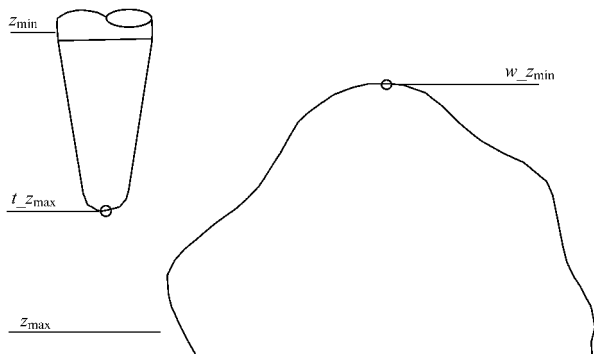


图 5 刀具联体和工件联体共享空间 ID 号的计算

```

int IDmin; 可能发生碰撞的最小 ID 值
int i
if(  $t - z_{\max} < w - z_{\min}$  )
    无碰撞发生;
if(  $t - z_{\max} \geq w - z_{\min}$  )
{
    IDmax = 整数部分(  $(t - z_{\max} - z_{\min}) / \Delta h$  ) + 1;
    IDmin = 整数部分(  $(w - z_{\min} - z_{\min}) / \Delta h$  ) + 1;
}
for (  $i = \text{ID}_{\min}; i \leq \text{ID}_{\max}; i++$  )
{
    计算刀思与第  $i$  层的交点  $O$ ;
    将工件联体在第  $i$  层内的截面按节 1.2 的部分所述放大为  $C$ ;
    if(  $O$  与  $C$  满足条件(1) )
    {
        if(  $O$  与  $C$  满足条件(2) )
            第  $i$  层内有碰撞发生;
        else 第  $i$  层内无碰撞发生;
    }
    else 第  $i$  层内无碰撞发生;
}

```

至此, 可以根据算法的计算结果, 判断加工过程中任意时刻是否有碰撞发生. 关于算法有两点说明. (1) 为实现整个加工过程的碰撞检测, 需将相邻两行数控指令中的刀轨位置, 细化成多个刀具联体和工件联体的运动位置(步长 $\Delta\alpha$ 可调). 然后, 对细化后的每个刀位, 应用上面的算法进行碰撞检测. (2) 通过调整分层高度 Δh 和细化步长 $\Delta\alpha$, 可以方便地改变碰撞检测的效率和精度.

3 基于空间分层索引模型的碰撞检测算法实例

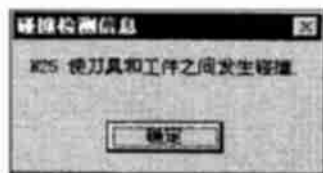
以上述碰撞算法为基础, 利用 Visual C++ 在 P4 个人电脑(256 M 内存)上, 开发了相应的实用化的数控加工程序碰撞检测软件系统, 如图 6 所示. 该软件作为国防科工委研究项目“开式叶轮数控加工技术的研究”中的子课题, 运行后取得了较好的效果. (1) 其加工设备为瑞士 Bevilard 公司的 5 轴加工中心 WAHI 200, 结构如图 1 所示. (2) 工件为开式叶轮, 刀具为球头锥铣刀(球头半径 3 mm). 在图 6 中, 碰撞检测需要的数据有机床最大加工范围: x 方向为 900 mm, y 方向为 800 mm, z 方向为 900 mm; 层高度为 1 mm; 细化步长为 3 mm. 另外, 发生碰撞的数控代码为

N24 G01 X2.376 Y0.563 Z1.893 A0.000 B0.000

Z25 X24.612 Y-10.126 Z-13.349 A25.000 B40.000



(a)



(b)

图 6 基于空间分层索引的数控加工碰撞检测实例

碰撞发生在由 N 24 到 N 25 的过程中, 图 6(a) 为碰撞的图形显示, 图 6(b) 为碰撞信息的报告。

4 结束语

本文从加工环境角度出发, 介绍一种基于微机为硬件基础的新型 NC 程序碰撞检测方法. 经应用于复杂曲面 NC 验证系统, 证实是检测结果可靠、高效, 且有利于推广应用。

参 考 文 献

- 1 Takeuchi Y, Watanabe T. Generation of 5-axis control collision-free tool path and postprocessing for NC data[J]. Annals of the CIRP, 1992, 41(1): 539 ~ 542
- 2 Takeuchi Y, Idemara T. 5-axis control machining and grinding based on solid model[J]. Annals of the CIRP, 1991, 40(1): 455 ~ 459
- 3 Alejandro G, Serrano N, Flauer J. Solving the collision detection problem[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1994, (5): 3 ~ 43

A New Method Based on Stratified Index Model for Detecting the Collision of NC Programs

Jiang Yinglan^① Wang Dazhen^② Han Rongdi^③ Li Jiping^④

(^① College of Marine Eng., Jimei Univ., ^② College of Mech. Eng., Jimei Univ., 361021, Xiamen;

^③ College of Mech. Eng., Harbin Indust. Univ., 150001, Harbin;

^④ College of Mech. Eng., Tianjin Univ., 300100, Tianjin)

Abstract A new method based on spatially stratified index model of machining equipment to the maximal range of work is presented for detecting the collision of NC programs. The method changes the problem of collision between 3D objects into the problem of judging positional relation between a point on a plane and a closed profilogram, by which the complexity of collision detection is reduced and the efficiency of collision detection is increased. Examples on algorithm with microcomputer as basis of hardware are given.

Keywords stratified index model, NC program, collision detection