

· 结构与工艺 ·

应用 Tcl 语言实现非正交五轴联动数控机床后置处理

刘东杰

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:针对非正交五轴联动数控机床,即转动工作台与主轴成 45° 倾角的特殊双转台五轴联动数控机床,进行了机床结构分析,通过对机床运动学求解,提出了刀位点后置处理坐标变换的计算方法,推导出相应的坐标变换公式,并将该算法成功应用到 Tcl 语言编程中,实现了非正交五轴联动数控机床后置处理程序编制.该后置处理程序稳定可靠,并已成功应用于工程实际中.

关键词:Tcl 语言;后置处理;五轴联动

中图分类号:TG502.1;TP312

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2010)01-0075-04

Achieved Post Processing for Non Orthogonal 5-axis Linkage CNC Machine by Programming with Tcl Language

LIU Dong-jie

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract:After analyzing the structure and kinematics features of 5-axis linkage CNC machine with two rotary tables and one of the rotary axis fixed at angle of 45° to the spindle, the algorithms for the post processing method of cutter location data are proposed and the corresponding formulate of coordinate conversion are deduced, the post processing for non orthogonal 5-axis linkage CNC machine by programming with Tcl language is achieved. The post processor is stable and reliable, and put into practical application.

Key words:Tcl language; post processing; 5-axis linkage

数控加工设备的结构形式逐步趋向紧凑化、集成化、复杂化、多样化,现代数控加工机床的加工程序编制仅仅依靠手工编程的方式,在准确率和编程效率上已经不能满足复杂、精密零件的加工要求,甚至一些复杂加工程序是无法用手工编程的方式来实现的.随着计算机技术的不断发展,计算机辅助制造

(CAM)技术日臻完善,CAM 软件已经被广泛应用于航空、航天、医疗、汽车、电子等诸多领域.其中,西门子的 UG NX 辅助设计制造软件是目前主流的计算机辅助 CAD/CAM/CAE 集成设计软件之一.利用 UG NX/CAM 编制数控加工程序,一般包括前置处理和后置处理 2 个过程,如图 1 所示.

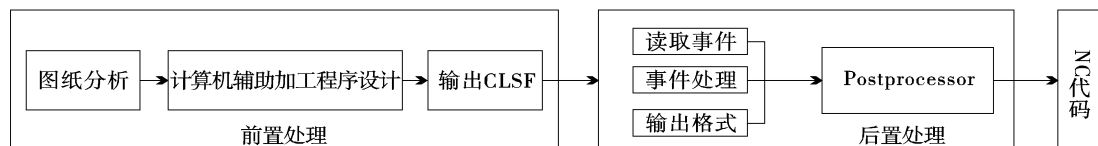


图 1 程序处理过程

前置处理是指在计算机辅助制造过程中,将 CAD 设计的模型,通过 CAM 软件模块计算产生的

刀位轨迹的整个过程.前置处理产生的是刀位轨迹源文件(cutter location source file),要将其转换成机

床能够识别的 G 代码就必须通过后置处理来完成。因此,后置处理是数控加工中的一个重要环节,其主要任务是将 CAM 软件生成的刀位轨迹源文件转成特定机床可接收的数控代码(NC)文件^[1]。不同的数控机床,因控制系统的不同,对其数控程序要求的代码格式辅助命令等使用不同。因此要针对不同的数控系统生成不同的后置处理生成器^[2]。到目前为止,机床后置处理算法研究基本成熟,但如何运用已有的成熟算法解决实际加工中具体机床的 NC 程序后置处理问题,用于实际零件加工,仍然具有重要的工程应用价值^[3]。以德马吉非正交五轴联动数控机床 DMU50V 为例(即转动工作台与主轴成 45° 倾角的特殊双转台五轴联动数控机床),分析机床结构,建立了机床结构运动学数学模型及算法。并介绍了如何将数学模型及算法写入 Tcl 语言,完成后置处理程序的编制。

1 机床运动学算法分析

DMU50V 数控机床结构采用双轴数控回转摆动工作台,机床运动坐标包括 X、Y、Z 3 个移动坐标和转动轴 C 及与 Z 轴成 45° 夹角的转动轴 B,如图 2 所示。其中,C 轴为任意角度,B 轴的运动范围是 0°~180°。机床第 4 轴 B 轴与 Z 轴交点与机床原点之间的距离 H 是机床的一个重要参数,如图 3 所示。该参数影响工作台旋转后的坐标^[4]。

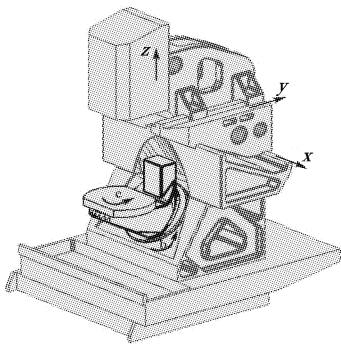


图 2 DMU50V 机床坐标系

假设工件坐标系 O_wxyz 与机床坐标系 $OXYZ$ 平行,且 O_w 在机床坐标系 $OXYZ$ 中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) ,工件坐标系中任意点的刀具中心位置即刀位点为 (x_w, y_w, z_w) ,假定刀轴矢量为单位向量 n , $n = a_x i + a_y j + a_z k (a_z \geq 0)$ 。从而,确定加工点 (x_w, y_w, z_w) 时,机床运动坐标 X、Y、Z、B、C 的值^[5]。

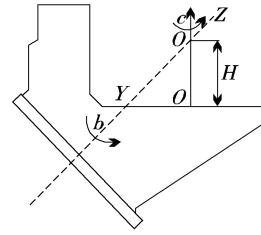


图 3 旋转工作台坐标关系

1.1 确定机床 B、C 轴旋转角度

将任意刀轴矢量 ON 的起点移到机床坐标系的原点,并平移 B 轴使之过 O 点。在实际加工中,B、C 轴的运动方向都是刀具相对工作台的运动方向,与工作台的实际运动方向相反,因此问题可转化为任意刀轴矢量 ON 如何转化成 ON_0 (如图 4 所示),即如何将刀轴矢量旋转到与机床坐标系 Z 轴方向一致的位置。要达到上述要求需进行 4 次旋转:(1)将刀轴矢量 ON 绕 Z 轴顺时针旋转一周,形成一个圆弧;(2)将单位矢量 ON_0 绕 B 轴旋转形成一个半圆弧 $(0^\circ \leq B \leq 180^\circ)$,2 个圆弧产生交点 M;(3)将刀轴矢量 ON 绕 Z 轴旋转角度 C 至 OM ;(4)将 OM 绕 B 轴顺时针旋转角度 B 至 ON_0 。从而,使任意刀轴矢量与 Z 轴重合。

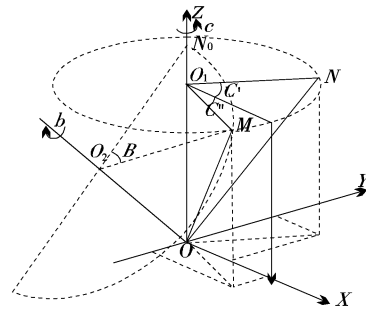


图 4 旋转工作台角度计算

根据图 4 中向量关系可推导出

$$\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OO_1} + \overrightarrow{O_1M} = a_z k + \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \cdot (\cos C'' i + \sin C'' j) \quad (1)$$

$$\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OO_2} + \overrightarrow{O_2M} = \frac{1}{2}(-j + k) + \frac{\sqrt{2}}{2} \times (\frac{\sqrt{2}}{2} \cos B(j + k) + \sin B i) \quad (2)$$

由式(1)、式(2)可得

$$\cos B = 2a_z - 1$$

$$C'' = \arcsin\left(\frac{1 - a_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}\right)$$

得出机床的旋转坐标为

$$B = \arccos(2a_z - 1) \quad (3)$$

$$C = \arcsin\left(\frac{1 - a_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}\right) + C' \quad (4)$$

其中, C' 为向量 ON 与 X 轴的夹角, 根据向量所在象限的不同, 具体取值随之变化. 令 $\sqrt{a_x^2 + a_y^2} = a_{xy}$, 则旋转角度 C 可表示为

$$C = \begin{cases} \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} + \arctan \left| \frac{a_y}{a_x} \right| & \begin{cases} a_x > 0 \\ a_y > 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} + 90^\circ & \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y > 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} + \arctan \left| \frac{a_y}{a_x} \right| + 180^\circ & \begin{cases} a_x < 0 \\ a_y > 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} + 180^\circ & \begin{cases} a_x < 0 \\ a_y = 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} + \arctan \left| \frac{a_y}{a_x} \right| - 180^\circ & \begin{cases} a_x < 0 \\ a_y < 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} - 90^\circ & \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y < 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} - \arctan \left| \frac{a_y}{a_x} \right| & \begin{cases} a_x > 0 \\ a_y < 0 \end{cases} \\ \arcsin \frac{1 - a_z}{a_{xy}} & \begin{cases} a_x > 0 \\ a_y = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

1.2 求解旋转后的直角坐标值

求解工作台旋转后的任意刀位点 (x_w, y_w, z_w) 在机床坐标系 $OXYZ$ 中的坐标 (X, Y, Z) , 根据机床的运动顺序进行如下空间变换

(1) 将工件坐标系 O_wxyz 原点平移到机床坐标系 $OXYZ$ 原点 O , 平移距离为 $(x_0, y_0, z_0 - H)$, 其中 (x_0, y_0, z_0) 为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值, 变换矩阵为

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & z_0 - H & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

(2) 工件绕 B 倾斜轴旋转 B 角, 变换矩阵为

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 45^\circ & -\sin 45^\circ & 0 \\ 0 & \sin 45^\circ & -\cos 45^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} \cos B & 0 & \sin B & 0 \\ -\sin B & \cos B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 45^\circ & \sin 45^\circ & 0 \\ 0 & -\sin 45^\circ & \cos 45^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

(3) 工件绕 Z 轴旋转 C 角, 变换矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} \cos C & \sin C & 0 & 0 \\ -\sin C & \cos C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(4) 将工件坐标系原点平移到新工件坐标系 $O_1x_1y_1z_1$ 原点处的坐标变换矩阵为

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & -z_0 + H & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

因此, 工作台旋转后的刀位点的齐次坐标 $[X, Y, Z, 1]$ 表达式为

$$[X, Y, Z, 1] = [x_w, y_w, z_w, 1] T_1 R_1 R_2 T_2 \quad (10)$$

2 后置处理的 Tcl 语言编程实现

Tcl 是“工具控制语言 (tool control language)”的缩写, 是一种交互式解释性计算机语言, 几乎可以在所有的平台上解释运行, 有强大的功能和简单的语法, 具有很强的可扩充性和可移植性. 嵌入 UG NX 系统中, 通常用于 CAM 中的后置处理程序和加工文档处理程序.

应用 Tcl 语言编制后处理程序主要开展 2 项工作: (1) 完成事件定义文件的编写; (2) 完成事件处理文件的编写. 事件定义文件用来控制事件处理后输出的数据格式, 事件处理文件用来控制加工过程中的每个事件的处理方式. 为了快速搭建后置处理程序框架, 可以通过 NX/Post Builder 建立事件定义文件和事件处理文件的程序框架, 根据实际情况, 在程序框架中通过 Tcl 语言, 添加相应的用户化内容.

2.1 编写子程序完成 B 、 C 角度和刀位点坐标计算

在事件处理文件框架中新建 3 个子程序为:

```
proc MOM_before_motion {} ;proc rotate_c {c pos_in
pos_out};proc rotate_b {b pos_in pos_out}.
```

通过 3 个子程序分别完成 B、C 旋转角度的计算、坐标变换矩阵和刀位点在新坐标系中的坐标计算。

子程序 proc MOM_before_motion {}, Tcl 语言源代码示例(部分):

(1) 定义全局变量

```
global mom_tool_axis      定义刀轴矢量;
global mom_pos           定义基于机床坐标系下的运动坐标值;
```

```
global mom_prev_pos      定义前一个运动事件的坐标系;
global mom_motion_event  定义当前运动事件的类型;
.....
```

(2) 确定机床工作台状态及 B、C 旋转角度

```
if { $tmpz=1 } {      机床主轴矢量垂直于工作台;
set ud_pos(b) 0.0    B 轴旋转角度为 0;
rotate_c $ud_pos(c) mom_pos ud_pos
rotate_c $ud_pos(c) mom_pos_arc_center ud_cpos
.....
```

上述程序段为子程序 proc MOM_before_motion 的部分程序段示例,由于篇幅关系不再展开叙述.通过 Tcl 语言进行一系列事件的逻辑判断、数学计算,最终完成 B、C 旋转角度的计算、坐标变换矩阵和刀位点在新坐标系中的坐标计算。

2.2 后置处理程序与 UG/CAM 系统的集成

将定义好的事件处理文件和事件定义文件存储在相应的后置处理程序存放的根目录下,如:(E:\Program Files\UGS\NX 3.0\MACH\resource\postprocessor).并在该根目录中找到 template_post.dat 文件,打开该文件并对文件进行如下修改.DMU50V

(上接第 59 页)

了 DSP 计算庞大数据的高效性和 FPGA 精于并行处理的优点,系统具有集成度高、存储量大、处理速度快和方便传输等特点.另外系统也有很好的通用性,不仅能够用于目标识别,还可实现压缩、分类等其他信息处理,具有广泛的应用前景。

参考文献

[1] 赵建平,李捍东.基于 DSP 的图像处理系统的应用研

究[J].自动化技术与应用,2008,27(11):45-48.

后置处理器 \$ {UGII_CAM_POST_DIR}DMU50V.tcl, \$ {UGII_CAM_POST_DIR}DMU50V.def.

通过上述编辑完成了后置处理程序与 UG/CAM 系统的集成,用户通过 UG/CAM 系统直接对 DMU50V 机床后置处理进行调用。

3 结束语

以上通过结合非正交五轴联动数控机床(DMU50V)的结构特点,介绍了后置处理算法,并将该算法成功应用到 Tcl 语言编程中,实现了非正交五轴联动数控机床后置处理程序编制并已成功应用于工程实际中.后置处理作为 CAD/CAM 系统中的关键环节,决定了 CAD/CAM 软件的应用效果和复杂零件加工的质量、效率等.文中提出的机床运动学算法的推导对同类型设备和标准五轴联动数控机床的后置处理程序开发具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 张磊. UG NX4 后处理技术培训教程[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [2] 李海泳,张森棠,赵明,等. UG NX 数控加工技术[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [3] 成群林,侯正全,宋健,等. 特殊五坐标数控机床后置处理技术研究[J]. 航天制造技术,2007(6):20-22.
- [4] 葛振红,姚振强,赵国伟. 非正交五轴联动数控机床后置处理算法[J]. 机械设计与研究,2006,22(2):79-81.
- [5] 丁勇,耿小强,陈刚. 一种特殊结构的五轴数控机床的后置处理算法与软件实现[J]. CAD/CAM 与制造信息化,2005(1):77-78.

究[J]. 自动化技术与应用,2008,27(11):45-48.

- [2] 贾俊涛,张桂林. 基于 USB2.0 的图像传输系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2006,27(17):3239-3242.
- [3] 李方慧,王飞,何佩坤. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2003:1-2,9-11.
- [4] 谷延锋,刘颖,贾友华,等. 基于光谱解译的高光谱图像奇异识别算法[J]. 红外与毫米波学报,2006,25(6):473-477.