

光学自由曲面金刚石车削 CNC 仿真程序编译系统*

呼 焱, 徐明旭, 王瑜蕾, 周晓勤*
(吉林大学 机械科学与工程学院, 吉林 长春 130025)

摘要:为了解决光学自由曲面金刚石车削(DTOFS)NC 代码的验证问题,保证 NC 代码的正确性和合理性,将计算机仿真技术应用到 DTOFS 加工中。利用面向对象的编程语言 Visual C++ 为平台,结合 OpenGL 库函数,开发了 DTOFS CNC 仿真程序编译系统。根据所提取的刀具坐标信息,建立了刀具运动轨迹方程,以实现刀具的插补过程。研究表明,该系统能够对数控加工程序进行检查,提前发现程序中的错误并及时地进行修改。与传统插补方法相比,本系统极大地提高了仿真精度。

关键词:光学自由曲面;数控加工程序;编译系统

中图分类号:TH122;TP273

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)09-0011-04

Compiler system of CNC simulation for diamond turning of optical freeform surfaces

HU Ye, XU Ming-xu, WANG Yu-lei, ZHOU Xiao-qin

(School of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: In order to verify the NC code of diamond turning of optical freeform surfaces(DTOFS) and make sure its accuracy and rationality, the computer simulation was used for DTOFS. Using object-oriented programming language VC++ and combining with OpenGL(Open Graphics Library), a compiler of CNC simulation program was developed for DTOFS. Based on the coordinate values of the tool extracted from the CNC program, the equation of the motion trajectories of the cutting tool was set up to complete the interpolation of the tool. The results show that the CNC code can be checked by the compiler, and then the error can be found out and modified. Compared with the traditional interpolation, the simulation precision of the interpolation can be improved greatly.

Key words: freeform optical surface; CNC machining code; compiler system

0 引 言

光学自由曲面被称为非回转对称(Non-Rotational-Symmetric,以下简称 NRS)的光学曲面,即一种没有任何对称轴的光学曲面^[1],在诸多工业领域中具有十分广泛的应用需求^[2-3]。早期的光学系统大多是由多片球面镜组成的。但是球面镜存在像差,即通过球面镜的光线不能成为同心光线。为了克服像差,在高精度光学系统中,必须采用多块球面镜的组合。而非球

面的曲率随着孔径高度而变化,非球面光学元件可以有效地消除像差,并以较少的元件个数获得与多个球面元件同样的成像效果,因而能简化结构、减轻系统质量和体积、减少光能损失,还可以降低整个光学系统的成本^[4-6]。这些零件表面轮廓非对称、形状复杂,精度要求高,传统加工方法如靠模仿形加工、研磨抛光、电化学腐蚀、光刻等难以兼顾加工效率、加工精度一致性,以及成本等^[7]。

上世纪 80 年代以来,单点金刚石车削(SPDM)技

收稿日期:2010-05-26

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2008AA04Z125);教育部博士点科研基金资助项目(20070183104);吉林省科技发展计划重点资助项目(20080357, 20090337)

作者简介:呼 焱(1964-),男,辽宁法库人,主要从事机电控制一体化方面的研究. E-mail: huyanyiren@gmail.com

通信联系人:周晓勤,男,工学博士,教授,博士生导师. E-mail: xqzhou@jlu.edu.cn

术取得了长足的进步,SPDM 可以加工出具有高精度几何形状和表面粗糙度的光学表面。然而,随着自由光学曲面元件需求的增加,NRS 曲面的金刚石车削加工变得越来越重要^[8]。随着驱动和控制技术的发展,三轴金刚石车削加工出现了快速刀具伺服(Fast Tool Servo)和慢速刀具伺服(Slow Tool Servo)两种加工方式^[9]。一些商用的 CAD/CAM 软件(如 MasterCAM、Unigraphics 等),大多是针对通用数控机床或加工中心,适合对端面铣削或球头铣刀加工进行数控编程,而不适合于基于 FTS 的金刚石车削。在 CNC 系统中,计算机无法直接根据数控程序进行加工,必须通过编译程序提取机床状态和刀具位置信息,并将其转换为计算机可以执行的程序,以供计算机进行仿真加工或控制机床加工实际零件。目前,日本 AikoAlpha 公司的 SuperVERIFY 是一个很好的 NC 代码编译和检验软件,它不仅能验证 NC 程序的正确性,同时也可对代码进行优化^[10],CGTech 公司开发的 VERICUT 软件可以对铣削、车削、钻削及 EDM 加工的 NC 代码进行验证,并可对加工过程进行仿真^[11]。香港理工大学先进光学制造中心开发了一套光学自由曲面刀具轨迹生成软件,该软件可用于超精密 5 轴数控机床上加工光纤通讯元件、微透镜阵列和 f-theta 透镜等光学自由曲面^[12]。然而,这些软件针对普通零件的加工或者多轴(多于 3 轴)加工进行仿真。为此,本研究开发了一套针对基于 3 轴 FTS 的 DTOFS 仿真系统编译系统。

本研究提出的系统是在 Windows XP 操作系统平台上,采用面向对象的 VC++6.0 集成开发工具,并结合 OpenGL 库进行设计,针对基于 FTS 的 DTOFS 加工程序进行编译。系统的成功开发,可以对 DTOFS 加工 CNC 程序进行验证,从而缩短加工时间,满足光学自由曲面的加工要求。

1 程序编译系统的功能分析

编译系统所读取的是基于 FTS 的 NC 指令,这些 NC 指令与普通 NC 代码类似,不能直接驱动虚拟机床和刀具的运动。同时,无论是手工编写还是自动生成的 NC 代码,都有可能存在一定的错误。所以,在实际加工零件之前必须对现有的 NC 代码进行检查,并对加工过程进行仿真。编译系统需要实现以下功能:

(1) NC 代码的读取和修改,如果发现代码有误,对其进行修改;

(2) 程序格式的转换,由于数控程序文件是 TXT 格式,读取出来的信息是统一的 CString 格式,所以必须把不同的信息转换成相应的数据格式;

(3) NC 代码的错误检查,包括非法代码的使用、指令之间或者是指令与数据之间的错误匹配、刀具的错误选择等;

(4) 根据 NC 指令,忽略原有数控程序中的注释语句和行号,提取与机床状态和刀具坐标有关的信息。计算刀位路径,判断插补离散化类型,并对刀位路径进行离散化,求出一系列离散点的三维坐标值;

(5) 根据所选刀具的刀尖圆弧半径,进行刀具补偿,并计算刀尖轨迹;

(6) 最终生成驱动虚拟机床模型的程序代码,实现仿真加工。

2 程序编译过程

根据 FTS 的加工特点(即简单的三轴联动,与车床类似)可知,此类加工程序与普通数控车床的加工程序类似。但是,本系统所要加工的是光学自由曲面,当主轴转动时,需要实现对主轴转动角度的反馈,根据反馈的转动角度信息对刀具的运动轨迹进行控制^[13]。因此,所加工出的自由曲面是主轴转动角度与刀具运动轨迹的合成,主轴转动角度与刀具运动轨迹是相对应的,或者说是具有一定函数关系。这是与普通数控车床加工最大的区别,因为普通数控车床的主轴转动与刀具移动是不具有严格对应关系的。

由上述分析可知,基于 FTS 的数控加工,对刀具的控制更加严格,对数控程序的准确性和合理性要求非常高。因此,在实际加工之前,必须对现有的数控程序进行检查和仿真加工。该程序编译系统的流程图如图 1 所示。

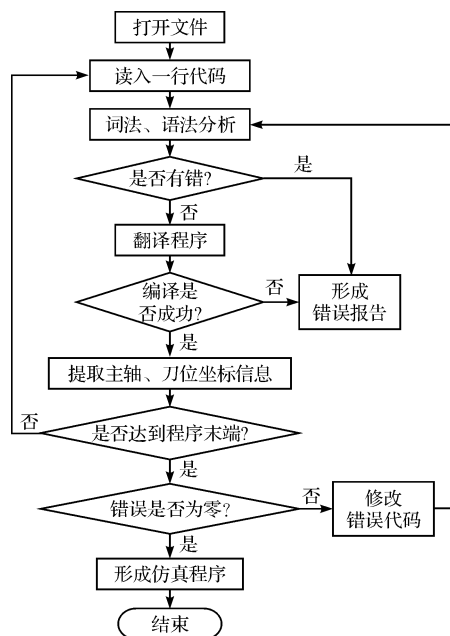


图 1 编译系统流程图

系统建立了一个派生于 CView 类的解释类 CInterpreterView,用于实现数控程序的读取和编译等。CInterpreterView 类的主要成员变量及成员函数如下:

```
class CGCodeView: public CView
{ // Operations
public:
    //公有成员函数
    void Gtreat(); //G 代码处理函数
    void Mtreat(); //M 代码处理函数
    void Streat(); //主轴转速处理函数
    void Ftreat(); //进给量处理函数
    void Ttreat(); //刀具选择函数
    ...
// Implementation
public:
    //公有成员变量
    int N; //行号
    int ReadCount; //文件大小
    char * buff; //临时缓冲区
    int Error; //错误个数
    double x, y, z, i, j, k, u, v, w, r; //坐标参数
    ...
protected:
    //保护类成员
    /// { AFX_MSG( CGCodeView )
    afx_msg void OnFileRead(); //程序读入函数
    afx_msg void OnTimer( UINT nIDEvent ); //加工仿真函数
    /// } AFX_MSG
```

现有的数控加工程序是以 TXT 格式存储的,这里利用 G_Code.Open(pFileName, UINT OpenFlags) 函数来打开文件,其中 G_Code 是 CFile 类的一个对象。调用 G_Code.Read(Buffer, sizeof(Buffer)) 函数读取打开后的文件,并将文件内容存储到缓冲区 buff 中,然后,对缓冲区里的代码进行正确性与合理性检查,并提取机床状态与刀具坐标信息。根据提取的信息调用 SetTimer(UINT iIDEvent, UINT uElapse, TIMERPROC lpTimerFunc),在默认情况下 SetTimer() 函数会自动调用 OnTimer(UINT nIDEvent) 函数。在 OnTimer(UINT nIDEvent) 函数中,实现加工过程的仿真。

3 插补计算分析

根据刀具坐标的变化进行直线插补和圆弧插补。现有数控插补原理可以概括为:以脉冲当量为单位,进行有限分段,以折代直,以弦代弧,以直代曲,分段逼近,相连成数控加工轨迹。所以,现有的直线插补都存在一定的误差^[14],而在本系统中进行的仿真可以通过 OpenGL 库中的函数来实现刀具的直线移动,从而可以消除因分段逼近而带来的误差。现有系统与本研究中的直线插补原理的对比如图 2 所示。

本研究直线插补原理的实现方法如下:根据所读取的刀具坐标,包括刀具的起点坐标(x_{Start} , y_{Start})和终点坐标(x_{End} , y_{End}),建立刀具运动的

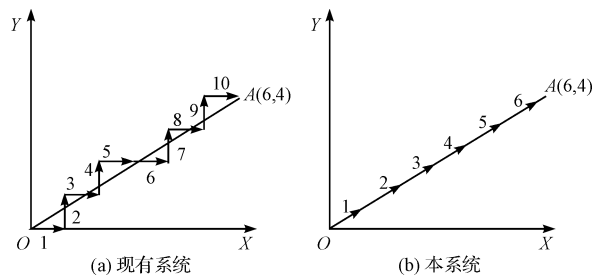


图2 两种系统直线插补原理对比

直线方程,即:

$$\frac{y - y_{Start}}{x - x_{Start}} = \frac{y_{End} - y_{Start}}{x_{End} - x_{Start}}$$

且: $x \in [x_{Start}, x_{End}]$, $y \in [y_{Start}, y_{End}]$ 。

然后调用 glTranslated(GLdouble x, GLdouble y, GLdouble z) 函数,来实现刀具的直线插补过程。

圆弧插补的原理实现方法如下:根据刀具的起点坐标(x_{Start} , y_{Start})、终点坐标(x_{End} , y_{End})、圆弧半径 R 求出圆弧所在圆的方程:

$$(x - m)^2 + (y + n)^2 = R^2$$

其中: (m, n) 为圆心坐标,且 $x \in [x_{Start}, x_{End}]$, $y \in [y_{Start}, y_{End}]$ 。

同样要调用 glTranslated(GLdouble x, GLdouble y, GLdouble z) 函数,即以弦代弧的方法来实现刀具的圆弧插补过程。现有系统与本研究中圆弧插补原理的对比如图 3 所示。由图 3 可知,本研究的插补方式极大地提高了仿真精度。

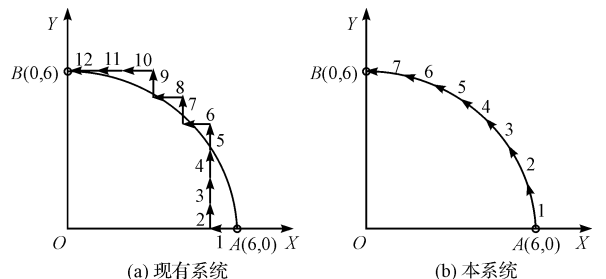


图3 两种系统圆弧插补原理对比

4 结束语

本研究以 VC++ 为平台,结合 OpenGL 开发了光学自由曲面数控加工程序解释系统。本系统针对基于 FTS 的数控加工,能够对 DTOFS 数控加工程序进行检查,提前发现程序中的错误并及时地进行修改。通过提取刀具坐标信息,建立了刀具运动轨迹方程,来实现刀具的插补过程。本系统插补方法与传统插补方法相比,极大地提高了仿真精度。

(下转第 36 页)

- [3] 邹卫军. 制导控制系统的实时多线程软件设计[J]. 计算机工程, 2008, 34(9): 268 - 269.
- [4] 何伟, 陈彬. DSP/BIOS 在基于 DM642 的视频图像处理中的应用[J]. 信息与电子工程, 2006, 14(1): 60 - 62.
- [5] 丁宜栋, 华芸. 基于 DSP/BIOS 的软件系统设计[J]. 舰艇电子工程, 2001(5): 52 - 55.
- [6] 谭小林, 黄洪全. DSP/B IOS 多任务环境下电机保护装置的开发生[J]. 电气开关, 2009(3): 20 - 22.
- [7] 杨尚罡, 黄席樾, 李宝林, 等. 基于 DSP/BIOS 的隧道视频监控生系统[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006, 29(7): 81 - 84.
- [8] Texas Instruments Incorporated. TMS320 DSP/BIOS User's guide[EB/OL]. [2006 - 01 - 01]. <http://www.Ti.com>.
- [9] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 Chip Support Library API Reference Guide[EB/OL]. [2006 - 01 - 01]. <http://www.Ti.com>.
- [10] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 DSP/BIOS AP I Refenerce guide (Rev. F) [EB/OL]. [2006 - 01 - 01]. <http://www.Ti.com>.
- [11] Texas Instruments Incorporated. TL16C752B. 3.3-V Dual UART with64-Byte FIFO[EB/OL]. [2006 - 01 - 01]. <http://www.Ti.com>. [编辑: 张翔]

(上接第 10 页)

真中各模块之间的衔接问题, 使设计人员从繁重的编写代码的工作中解脱出来, 专心致力于优化算法的开发和系统性能的提高。同时, 降低了开发成本, 缩短了开发周期。

参考文献 (References):

- [1] The Math Works Inc.. Real-time Workshop for User with SIMULINK[M]. The Math Works Inc., 1999.
- [2] 王中华, 王兴松, 徐卫良. 实时控制系统的快速成型及在运动控制中的应用[J]. 自动化仪表, 2001, 22(12): 41 - 43.
- [3] 达正花. 电压空间矢量脉宽调制原理[J]. 甘肃科学学报, 2004, 16(3): 65 - 68.
- [4] 王晓明, 王玲. 电动机的 DSP 控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [5] PROFUMO F, BOGLIETTI A, GRIVA G, et al. Space vector and sinusoidal PWM techniques comparison keeping in account the secondary effects[C]//3rd Africon Conference, 1992: 394 - 399.
- [6] KUNG Y S, HUANG P G. High performance position controller for PMSM drives based on TMS320F2812 DSP[C]//Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Control Applications, 2004: 290 - 295.
- [7] 王焕文. 基于 DSP 的数字式逆变控制器仿真系统研究[J]. 华中科技大学学报, 2005, 33(2): 103 - 105.
- [8] HERCOG D, CURKOVIC M, EDELBAHER G, et al. Programming of the DSP2 board with the Matlab/Simulink [C]//IEEE International Conference on Industrial Technology, 2003: 709 - 713.
- [9] TENG F C. Real-time control using Matlab Simulink [C]//IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2000: 2697 - 2702.
- [10] 李真芳, 苏涛, 黄小宇, 等. DSP 程序开发: Matlab 调试及直接目标代码生成[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003. [编辑: 张翔]

(上接第 13 页)

参考文献 (References):

- [1] GARRARD K, BRUEGGE T, HOFFMAN J, et al. Design tools for freeform optics [C]//Proceedings of the SPIE, 2005: 95 - 105.
- [2] YIU K L, TAM H Y. An alternate approach to free-form surface fabrication[J]. **Materials Processing Technology**, 2007(192): 465 - 469.
- [3] 李荣彬, 李建广, 张志辉, 等. 虚拟精密加工系统开发的研究[J]. 机械工程学报, 2001(6): 66 - 71.
- [4] 张以谟. 应用光学(下册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [5] LERNER S A. Optical Design Using Novel Aspheric Surfaces[D]. University of Arizona, 2000: 13 - 17.
- [6] 辛企明. 投影显示系统中的非球面技术[J]. 现代显示, 2003, 37(3): 20 - 23.
- [7] 吴丹, 谢晓丹, 王先逵. 快速刀具伺服机构研究进展[J]. 中国机械工程, 2008, 19(11): 1379 - 1386.
- [8] KIM H S, LEE K I, LEE K M. Fabrication of free-form surfaces using a long-stroke fast tool servo and corrective figuring with on-machine measurement[J]. **Machine Tools & Manufacture**, 2009, 6(11): 1 - 7.
- [9] 房丰洲, 张效栋. 一种金刚石超精密车床自由曲面加工路径生成方法: 中国, CN 101187807A[P]. 2008 - 05 - 28.
- [10] 任松涛. NC 代码编译器的设计与实现[D]. 西安: 西北工业大学机械电子工程学院, 2007: 3 - 5.
- [11] 魏林. 基于 VERICUT 的数控加工仿真系统的研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学机械工程学院, 2008: 7 - 9.
- [12] 李荣彬, 杜雪, 张志辉, 等. 光学曲面的超精密加工技术及应用[J]. 制造技术与机床, 2004(1): 17 - 19.
- [13] HU Yong, XU Ming-xu, ZHANG Jun. Research on machining simulation system for optical free-form surfaces [J]. **Advanced Materials Research**, 2010, 101(97): 3020 - 3023.
- [14] 赵燕伟, 朱双胜, 卢东, 等. 基于直线插补的字体边缘识别技术[J]. 机电工程, 2009, 26(5): 52 - 55. [编辑: 张翔]