

# 基于 GTS 卡的弯丝机器人数控系统设计\*

杨博<sup>1</sup> 范贤光<sup>1</sup> 姚斌<sup>1</sup> 姚博世<sup>2</sup>

(1. 厦门大学智能装备技术研究所, 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 陕西省汉江机床有限公司, 陕西 汉中 723003)

**摘要:** 为了解决三维复杂金属线材和弹簧类零件的快速制造与生产问题, 设计了一台具有 X、Z 两个移动轴和 Y、A、B 三个回转轴的五自由度弯丝机器人。采用 PC + 运动控制卡的开放式数控结构完成了系统硬件平台的搭建, 利用 MFC 与控制卡提供的动态链接库完成了数控系统软件的编写, 实现了系统的绝大部分功能, 并应用于课题组设计的弯丝机器人系统中。

**关键词:** 弯丝机器人; 数控系统; GTS 卡

**中图分类号:** TH16; TG65 **文献标识码:** A

## Design of CNC System for Wire Bending Robot Based on GTS Motion Controller

YANG Bo<sup>1</sup>, FAN Xian-guang<sup>1</sup>, YAO Bin<sup>1</sup>, YAO Bo-shi<sup>2</sup>

(1. School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Shaanxi Hanjiang Machine Tool Co. Ltd, Hangzhong 723003, China)

**Abstract:** In order to solve rapid manufacturing and processing problem of workpieces with 3D complex surface and springs which were made of metal wire or such other materials, a five degree of freedom CNC wire bending robot which had X, Z two parallel movement axes and Y, A, B three rotary movement axes was designed. The system hardware platform was build through an open-architecture NC system based on IPC and motion control card, the software was programmed by Microsoft Foundation Class and the dynamic link library which provide by Googol GTS card that achieved mostly system functions. The CNC system has been used to the wire bending robot which designed by research team.

**Key words:** wire bending robot; NC system; GTS motion controller

## 0 引言

传统的线材加工在对待特定的线材成形时需要用专门的模具设备来实现, 如果生产的产品批量大, 品种少, 这种加工方式具有一定的优势<sup>[1]</sup>。但是, 对于中小批量, 多品种的生产方式, 传统加工方法往往不具有优势<sup>[2]</sup>。为了解决上述问题, 课题组基于对柔性制造技术研究, 开发出了一台具有三个回转轴(Y轴、A轴、B轴)和两个移动轴(X轴、Z轴)的五轴数控弯丝机器人, 机械结构如图1所示。机器人工作顺序为: 盘圆过的线材→经载料机构展开→由校直机构校直→再经送丝机构送丝→到折弯机构折弯→最终由剪切机构剪断成品。对于线材中圆弧较多且半径变化较大的零件, 设计了自动换模机构, 采用折弯和推弯的加工工艺, 通过不同加工模位间的切换, 实现了对形状复杂的零件加工。

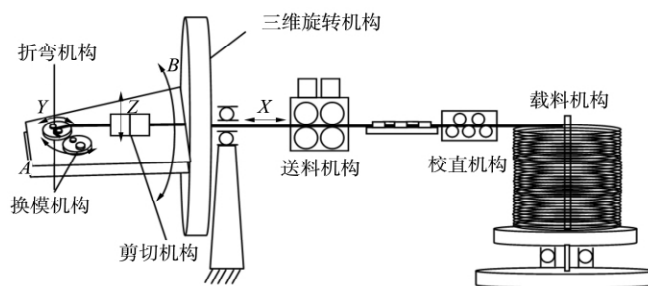


图1 弯丝机器人整体机械结构

## 1 数控系统硬件结构设计

### 1.1 系统硬件总体结构

控制系统的硬件结构如图2所示, 以 GTS-800-PV-PCI 运动控制卡为控制核心, 负责系统的实时性控制任务, 包括轨迹插补运算, 复杂曲线的加工; 伺服系统的控制、运行状态信号的采集与实时监控; 回

收稿日期: 2012-07-03

\* 基金项目: 国家科技重大专项(2010ZX04001-162)

作者简介: 杨博(1987—)男, 山东菏泽人, 厦门大学智能装备技术研究所硕士研究生, 主要从事数控系统开发研究, (E-mail) ybew193@163.com; 通讯作者: 姚斌(1963—)男, 湖北宜昌人, 厦门大学智能装备技术研究所教授, 博导, 研究方向为复杂曲面成形与先进制造技术, (E-mail) yaobin@xum.edu.cn。

零、限位及伺服报错等功能的实现。以 ADVANTECH-610L 型工控机为人机交互平台,负责系统的非实时性任务,如系统信息的管理、加工过程的仿真、数控代码生成与指令发送以及实时加工状态监测显示等功能;伺服系统采用安川(YASKAWA)Σ-II型交流伺服驱动系统,该系统由交流伺服驱动器放大器、交流伺服电机和光电编码器组成闭环控制<sup>[3]</sup>。

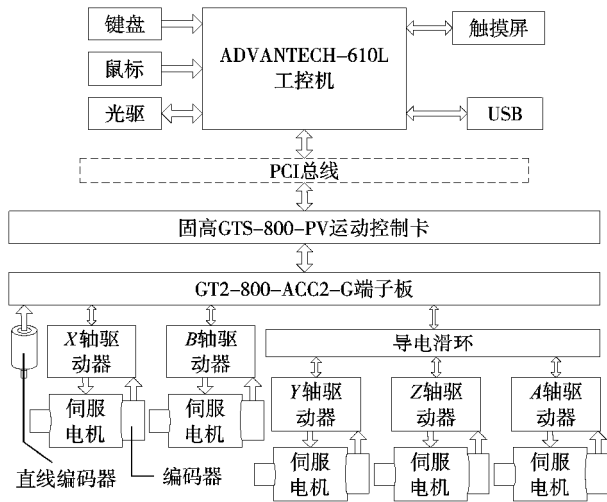


图2 控制系统硬件结构图

### 1.2 GTS 运动控制器介绍

深圳固高公司生产的 GTS-800-PV 高性能伺服运动控制卡,是基于 DSP + FPGA 技术的多轴运动控制卡<sup>[4]</sup>,具有相应速度快、精度高、开发周期短、编程和操作简单的特点,已广泛的应用于机器人、数控机床等多轴联动控制的高精度伺服装置上。该型卡可以同步控制八个运动轴,具有梯形曲线、S 型曲线, JOG 模式点位运动规划及电子齿轮同步运动规划功能,并同时具有三维直线插补和两维圆弧插补运动规划功能,特别适用于既有点位运动控制亦有插补运动控制要求的场合<sup>[5]</sup>。

### 1.3 伺服控制方式

伺服驱动器的控制方式一般由电流环、速度环、位置环这三个反馈控制环构成:最内层电流环为电机提供转矩;中间速度环用来控制速度;最外层位置环用来控制负载位置<sup>[5]</sup>。速度控制环包含了电流环和速度环,速度环对应驱动器的速度控制模式,该模式的优点是电机运行平稳,速度不随外界负载的变化而剧烈变化,同时为了满足对精度的控制要求,将电动机编码器检测的位置信号提供给运动控制卡,利用上位机的控制算法进行闭环控制运算,这样位置环便由驱动器移到了运动控制卡上,这样控制卡与编码器之间便构成闭环控制系统,同时调节控制卡的 PID 控制参数,进一步优化系统的性能。

## 2 控制系统软件结构设计

### 2.1 软件总体结构

数控系统能够正常工作,软件要包括:上位机端

的 CNC 用户程序、上下位机间通讯的通讯驱动程序<sup>[6]</sup>。GTS-PV 随卡提供了 windows 系统下的设备驱动程序 GT800.sys,同时提供了面向运动控制卡的高级函数库 GTS.dll,该函数库中封装了 GTS 卡的运动控制函数,用户只需通过调用相应的控制函数,便可以发出运动控制命令,控制器将根据控制命令的要求,自动完成轨迹规划、安全检测、伺服刷新等复杂运算,计算结果转换成模拟电压或脉冲控制电机运转。

弯丝机器人控制系统软件是一个多任务处理软件,既要负责数控代码的生成、校检、译码,又要负责机器人的运行控制,运动状态数字及图形显示,系统参数设置,调试诊断等任务。采用模块化编程原理,将软件任务整理归类并交由若干个功能模块承担,通过对各功能模块的操作便可以完成相应的软件任务。如图3所示,将系统划分为人机界面、系统配置模块、译码模块、数控内核(主模块)四大功能模块以及若干辅助功能模块。

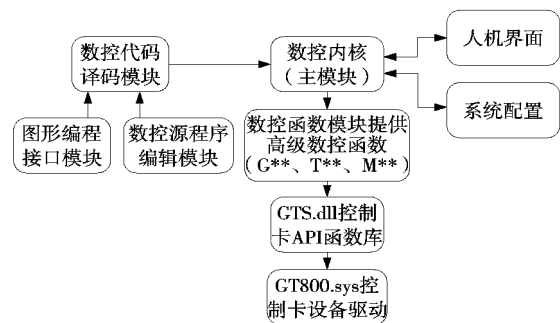


图3 软件结构

### 2.2 各模块功能设计与实现

在本系统软件中,人机界面主要负责完成人机对话交互、运行参数设定、系统状态显示、文件管理等功能;系统配置模块用于配置运动控制卡参数和机器人参数,并将配置好的参数保存在硬盘中,系统开机后自动加载;译码模块负责完成数控加工程序的解释、语法检测、下载等;数控内核是整个系统的控制核心,负责协调其它模块的运行,实现对系统的流程控制,同时负责异常状态的处理。这四个主要模块负责了系统的绝大部分功能的实现,下面将着重讨论这四个模块。

(1) 人机界面:系统的主要操作显示界面,系统的绝大部分信息交互都是在此界面上完成,主要负责设定系统工作模式,如自动、手动、点动、MDI(人工数据输入)、回参考点、各运动轴参数的显示、初始化程序状态、文件管理等。具体功能由以下3个类实现:

① CDlgMain。主对话框类,是系统的主界面对话框,承担人机交互功能,负责打开关闭其它功能模块窗口,并在系统第一次运行时加载配置文件,初始化程序状态。

② CDialogMonitor。监视界面类,利用运动控制卡提供的 API 函数,监视机器人运行状态,并实时显示各运动轴位置参数、状态参数、I/O 传感器状态。

③CSystemDebug。系统测试类,测试机器人运行性能,速度调节、手动点位控制与回参考点运动。

在 CDlgMain 类中,主要成员函数如下:

```
void OnLoadCfg(); //加载程序配置文件
void OnDialogMonitor(); //监视界面显示
void OnSystemDebug(); //系统测试显示
void OnMarachinePara(); //机器人参数配置
void OnGCodeCtrWnd(); //译码模块窗口
void OnOpenfile(); //文件管理
```

其次是 CDialogMonitor 类,它继承自 CDialog 类,主要成员函数如下:

```
void ShowAxisSignal(); //通用 I/O 信号显示
void UpdateAxis(); //电机轴状态显示
void AddRecordToStatusList( CString str ); //显示伺服系统的状态
```

CSystemDebug 类同样继承自 CDialog 类,主要成员函数如下:

```
void ConfigurationVelocityParameter( unsigned short nAxis ); //配置速度参数
short Home( unsigned short nAxis ); //回参考点运动
void OnJogRibbon(); //手动点动控制
```

其中 CDialogMonitor 类和 CSystemDebug 类在实现中都应用了 Windows 的定时器来周期性的读取控制卡的信息,并实时的显示到界面上。

(2) 系统配置模块:该模块包括运动控制卡参数配置和机器人参数配置,前者包括控制卡的 PID 参数、轴坐标映射、控制方式、限位、回零速度与回零方式、软限位位置、误差带大小等参数设置,这些参数直接决定了系统的性能。后者定义的是机器人的机械结构参数、加工模具参数、包含了机器人的全部特征,这部分参数主要影响了后续数控译码过程。

(3) 译码模块:此模块负责根据用户的系统配置,以及运动程序的语法规则对用户编写的运动程序进行语法检查,并进行解释译码,将源代码指令中给出的各种信息进行分离提取,转换成计算机便于处理的内部数据形式,并将程序段的内容分成位置数据和控制指令,以一定的格式存放在相应的存储区域。在译码过程中还要完成程序段的语法检查,若发现错误便进行停机并做报警显示。

译码模块的基本结构是要识别存储的变量存储在一个自定义的 CCNCData 类中,该类中存储有 G、M、T 代码类型,坐标轴信息、半径、进给速度等变量。因为数控程序不是定长的,所以要求用动态数组将变量信息动态的存储放在 CCNCData 类中,在这里使用了 MFC 的 CArray 类,它可以方便的管理操作数组元素,其类定义如下: typedef CArray < CCNCData, CCNCData& > CCncArray。系统利用译码函数 Compile( CString SourPath, CCncArray\* pAry, double \* angle) 对代码进行编译,译码结果利用宏命令动态的存放到 CCNCData 类中,供软件执行调用,其实现命令如下所示:

```
#define SAVE { pAry -> Add( gy ); } //宏定义命令
CCNCData gy; //数据结构声明
CCncArray* pAry; //动态数组声明
```

(4) 主模块:主模块是整个系统的核心,该模块在系统启动阶段读取配置文件同时初始化控制卡。在执行状态下主模块调用译码、插补等功能模块形成数控信息流,最后转入运动函数调度循环,在这个循环中,主模块监视控制卡的指令缓冲区、坐标状态寄存器、命令状态寄存器。根据缓冲区状况将数控信息流程合成控制卡函数流不断的发送运动控制指令,经由实时 FIFO 发送到插补模块执行,并反馈命令执行情况、系统坐标等状态信号供人机界面实时显示,该循环控制流程如图 4 所示。

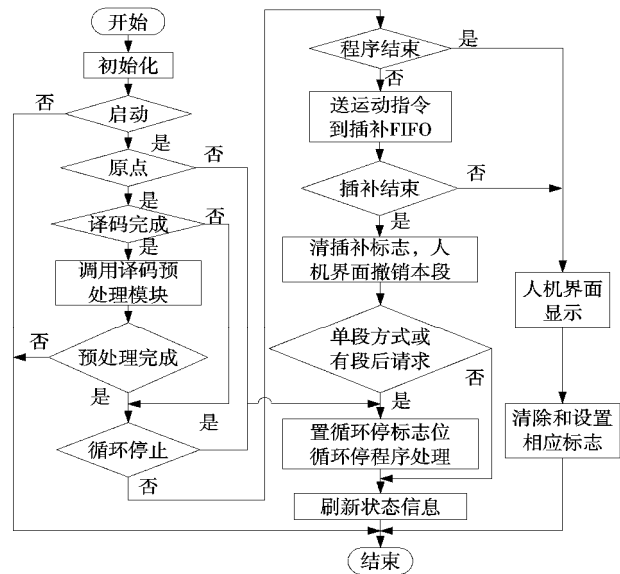


图 4 程序循环控制流程图

### 3 结束语

本文介绍了弯丝机器人的工作原理,利用 GTS800 - PV 卡与伺服电机搭建了弯丝机器人的硬件系统,研究了电机伺服控制方式;分析了软件的总体结构层次,采用模块化编程手法编写了系统软件,并简要说明了软件各主要模块的功能以及实现的方法,基本上实现了弯丝机器人数控系统的功能。目前该数控系统已在课题组与厦门某机床厂联合开发的弯丝机器人上得到了良好的应用,如图 5 所示。



图 5 采用本数控系统的弯丝机器人

(下转第 80 页)

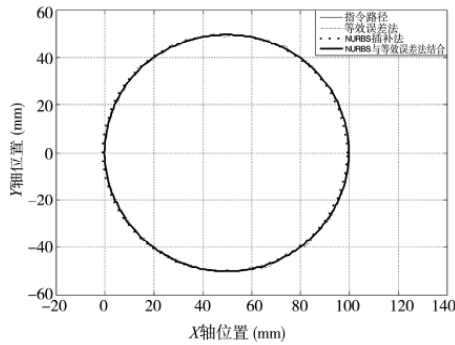


图 3 X-Y 平台圆形输出轨迹比较

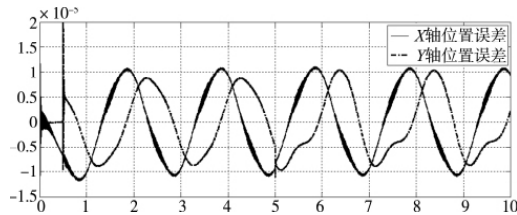


图 4 圆形轨迹的 X、Y 轴位置误差

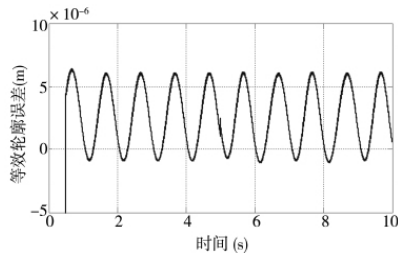


图 5 圆形轨迹的等效轮廓误差

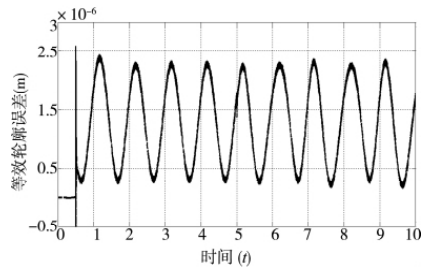


图 6 圆形轨迹的切线误差

### 5 结论

本文提出了基于 NURBS 插补与等效误差轮廓控制相结合的控制方法,对直线电机 XY 平台进行控制,建立可用于自由曲线跟踪且容易计算的 XY 平台等效误差非线性模型。设计的等效滑模控制器抑制了非线性因素对系统性能的影响,在采用此整合方

法后,在保留 NURBS 插补的平滑性及等效误差法的跟踪精度优势的基础上,进一步提升了加工精度,使得直线电机 XY 平台满足了高精加工的要求。仿真结果表明所设计的控制系统能有效地提高了 XY 平台的轮廓加工精度。

#### [参考文献]

[1] 郭庆鼎,王成元,周美文,等. 直线交流伺服系统的精密控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

[2] 刘海燕. 高精度 NURBS 插补技术的研究[D]. 北京:北京化工大学,2004.

[3] 赵国勇,徐志祥,赵福. 高速高精度数控加工中 NURBS 曲线实时插补算法研究[J]. 中国机械工程,2006,17(3):291-294.

[4] 王田苗,曹宇男,陈友东,等. 基于 de Boor 算法的 NURBS 曲线插补和自适应速度控制研究[J]. 中国机械工程,2007,18(21):2608-2610.

[5] 赵希梅,郭庆鼎. 为提高轮廓加工精度采用 DOB 和 ZPETC 的直线伺服鲁棒跟踪控制[J]. 电工技术学报,2006,21(6):111-114.

[6] Yan Zugen, Sun Lining, Huang Bo. Research of a novel XY-table based on error compensation[C]. The IEEE International Conference on Mechatronics & Automation, Niagara Falls, 2005.

[7] 王波,梁迎春,董申. 超精密机床模糊轮廓控制技术研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,37(6):830-832.

[8] Sun Dong, Shao Xiaoyin, Feng Gan. A model-free cross-coupled control for position synchronization of multi-axis motions[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2007,15(2):306-314.

[9] Chen S L, Wu K C. Contouring control of smooth paths for multi-axis motion systems based on equivalent errors[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2007,15(6):1151.

[10] 王丽梅,金抚颖,孙宜标. 基于等效误差法的直线电机 XY 平台二阶滑模控制[J]. 中国电机工程学报,2010,30(6):88-92.

[11] H. T. Yau and M. L. Kuo. NURBS machining and federate adjustment for high-speed cutting of complex sculptured surfaces. International Journal of Production Research, 2001,39(1):21-41.

[12] T. W. Sederberg, D. C. Anderson and R.N. Goldman. Implicit Representation of parametric curves and surfaces. Comput. Vis. Graph and Imag. Process, 1984,28:72-84.

[13] 刘金焜,孙富春. 滑模变结构控制理论及其算法研究与进展[J]. 控制理论与应用,2007,24(3):407-418.

(编辑 赵蓉)

(上接第 76 页)

#### [参考文献]

[1] 王同海. 管材塑性加工技术[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

[2] 叶志坚. 基于 PMAC 数控弯丝机的研发[D]. 厦门:厦门大学,2009.

[3] 郑魁敬,高建设. 运动控制技术及其工程实践[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

[4] GTS 系列运动控制器用户手册(版本 1.1). 固高科技

(深圳)有限公司,2011.

[5] 董正凯. 基于运动控制器的开放式数控平台的研究[D]. 深圳:哈尔滨工业大学深圳研究生院,2010.

[6] Lin Rongkun, Yao Bin, Chen Minghui, Li Fei. Application Analysis of Servo-Control System Based on PMAC with Feed-forward Control[J]. 2010 3<sup>rd</sup> International Conference on Machine Vision, December 28-30, 2010 Hong Kong:607-610.

[7] 张剑,殷苏民. 基于运动控制卡的开放式数控系统研制[J]. 机床与液压,2003(3):170-173. (编辑 李秀敏)