

基于运动控制卡的机器人智能切割系统

Intelligent robot cutting system based on motion control card

陈志国, 须文波

Chen,Zhiguo Xu,Wenbo

摘 要: 本文介绍了基于运动控制卡的机器人智能切割系统的软硬件设计。该机器人具有四个自由度, 采用三轴联动的工作方式, 第三轴可与选定的两轴的运动轨迹保持正切。实验表明该机器人切割系统工作稳定, 满足玻璃切割等行业的加工要求。

关键词: 机器人, 运动控制卡, 玻璃切割

中图分类号: TP242.2 (工业机器人) 文献标识码: B

Abstract: The software and hardware design of intelligent robot cutting system based on motion control card are discussed. Robot with 4-DOF adopts three axes coordinated motion, and a third axis can be controlled such that it remains tangent to the motion of the selected pair of axes. Experimentation verify the good stability and conformable precision in glass cutting etc.

Key Words: robot, motion control card, glass cutting

1 引言

工业机器人是一种仿人操作、自动控制、可重复编程、能在三维空间完成各种作业的机电一体化自动化生产设备, 特别适合于多品种、变批量的柔性生产设备。根据机器人的动作形态, 一般可分为下面五类: 圆柱坐标型机器人、球坐标型机器人、直角坐标型机器人、关节型机器人、并联机器人。切割机器人属于直角坐标型的工业机器人, 每种类型的切割机器人都对应着特定的加工材料和加工工艺, 如国内开发的高压水切割机器人, 型钢机器人切割系统等。对于玻璃等脆性材料, 由于需要采用带有金刚石的刀具, 这就要求刀头的角度必须始终与切割图形的轨迹保持正切, 以具有最好的刀印和开片效果, 正是基于这样的应用, 我们开发了这样的机器人智能切割系统。该机器人模型示意图如图 1 所示:

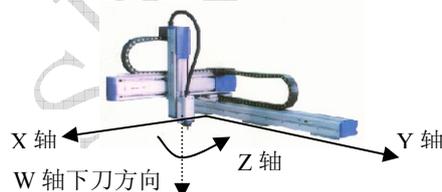


图 1: 切割机器人模型

2 机器人硬件系统组成

控制系统采用三套交流伺服系统和一套气缸设备, 实现机器人的四个自由度, 由 GALIL DMC-1842 运动控制卡和工业 PC 驱动机器人系统。X 和 Y 方向通过传动装置将旋转运动转换为直线运动, 实现在笛卡儿坐标系下的定位和轨迹插补; 切割头有两个自由度, 一个是 Z 方向的刀头旋转运动 (如图 1 所示), 切割时刀头方向始终和 XY 平面的轨迹保持正切, 另一个自由度是刀头上的气缸连杆设备控制着抬刀和下刀。另外, 采用一块 ISA 总线的 IPC 5372-2 数字量输入卡检测机器人伺服报警状态, 提高机器人的自诊断性。

2.1 运动控制系统及结构框图:

机器人运动控制采用美国 GALIL 公司的 PCI 总线的 DMC-1842 运动控制卡^[1], 该控制卡采用 32 位微处理器, 可控制 4 轴, 具有多轴直线插补、圆弧插补等功能, 为了得到最佳控制效果, GALIL 控制卡提供了含有速度、加速度前馈, Notch 及低通滤波的 PID 滤波器补偿功能, 所有滤波器参数均可调整, 以求伺服系统获得最佳性能。机器人交流伺服驱动系统的工作模式设定为速度模式, 以获得最佳的速度响应性能, 在所有伺服参数中, 速度指令电压幅值 VCMS 和速度环比例增益 K_{vp} 会串联到系统主回路中, 对系统性能的影响最大, 需要和

控制卡的参数联合整定。机器人运动控制系统结构框图如图 2 所示。

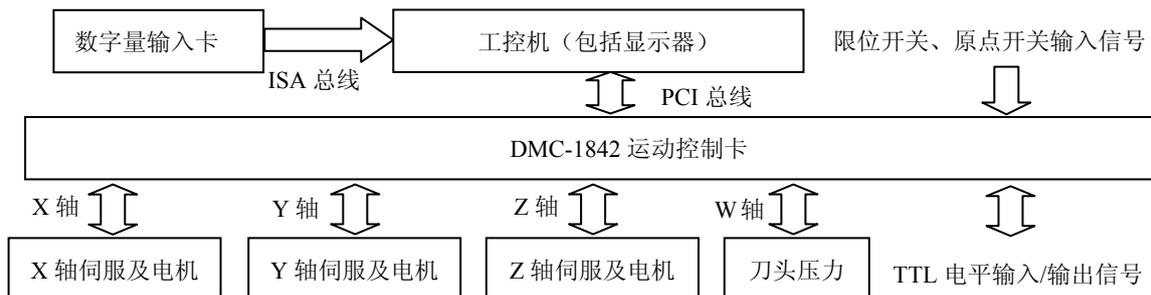


图 2: 机器人控制系统结构框图

2.2 机器人输入输出信号:

机器人输入信号包括: X、Y、Z 各轴伺服报警状态(每轴四路报警输入线, 共需采集 12 路信号); X、Y 轴正反向限位开关输入信号; X、Y、Z 各轴原点输入信号; 两路 TTL 输入信号(切割头下探保护信号 IN1, 激光器搜索到切割物体信号 IN2)。机器人输出信号是六路 TTL 输出信号(三路报警复位输出信号, 以及润滑剂开关、定位杆开关、激光搜索器开关三路输出信号)。其中, X、Y 轴正反向限位开关输入信号 FLSX、RLSX、FLSY、RLSY 和切割头下探保护信号 IN1 配置成中断信号, 利用控制卡命令 EI^[3]实现。刀头压力通过控制卡 W 轴的开环输出命令 OF 产生, 可以精确产生 +/-10V 的模拟电压信号。

3 机器人软件设计

3.1 机器人切割程序框图和人机界面:

机器人切割系统的程序框图如图 3 所示, 人机界面如图 4 所示:

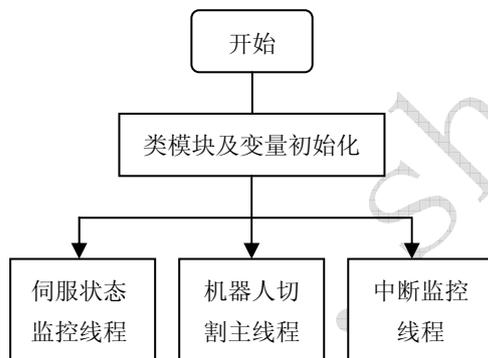


图 3: 机器人切割系统程序框图

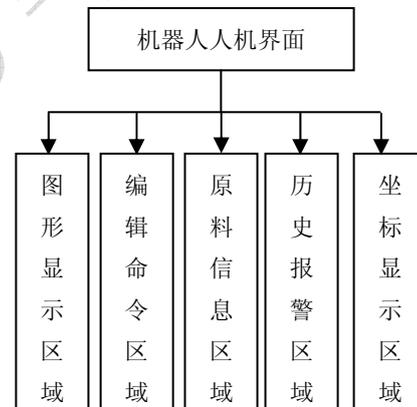


图 4: 机器人人机界面

3.2 线程实现:

伺服状态监控线程通过 CPU 扫描数字量采集卡的板卡地址而获得各轴伺服报警状态, 如果发生伺服报警, 该线程会和机器人切割主线程通讯, 以采取相应保护措施。

机器人切割主线程空闲时阻塞, 等待上层界面的“切割开始”信号。切割函数封装了运动控制卡的命令, 能根据传入的参数自动选择切割速度、加速度以及矢量速度平滑系数等切割参数。切割图形可由用户在编辑命令区域完成, 或者直接载入 CAD 文件。切割函数和人机界面的开发语言是 VC++6.0, 开发环境是 Windows98 第二版, 采用 OPENGL 作图, 读入的 CAD 文件类型是 AutoCAD R14 的 DXF 文件。机器人的主要运动控制函数定义如下:

```
int CutLine(double x0,double y0,double x1,double y1)//直线切割函数
```

```
int CutArc(double radius,double startangle,double anglewidth)//圆弧切割函数
```

```
int CutEllipse(double MajorLength,double MinorLength,double startAngle, double angleWidth, double rotation)//椭圆弧切割函数
```

```
int ContinuousCut(char *filename ,int cut_counts)//多义线切割函数
int CutLines(char *filename)//任意曲线切割函数
int SearchObject(double coordinate[3][2])//搜索切割物体的函数
```

对于中断监控线程，首先要配置运动控制卡的中断使能特性，用命令EI1024,1 配置成限位中断使能和输入 1 中断使能。应用程序通过处理WM_DMCINTERRUPT消息可以处理控制卡发出的中断，该消息定义在DMCCOM.H中^[6]。

3.3 位移分辨率的匹配:

由于X轴和Y轴可能出现位移分辨率不匹配的问题，即机器人两轴运行相同的脉冲数时，位移却不同，这时需要用ES^[3]命令来修正插补序列，如果X、Y轴的编码器线数分别为 2000 和 5000，电机每转的行走距离分别为 27.494mm和 27.489mm，此时：

设 $m=1000 \times 2000 \times 27.489/5000=1099.56 \approx 10996$

$n=1000 \times 27.494=27494$

此时，用控制卡的 ES m, n 命令，可以保证矢量插补时两轴位移分辨率一致。

3.4 传动件的消除:

传动机构存在间隙，也叫侧隙，由于DMC-1842 运动控制卡取消了辅助编码器接口，无法同时反馈轴端编码器信号和位置信号，一种软件消除传动件间隙的方法是：将控制卡固件升级到Rev s63b版本，该版本提供一个BK命令用来消除反向间隙。另外可以采用的硬件消除方法有：消除齿轮消除、柔性齿轮消除、对称传动消除、偏心机构消除、齿廓弹性覆盖层消除等方法^[4]。

3.5 坐标变换:

机器人切割系统采用两种切割方式：定位切割和搜索切割。涉及两个直角坐标系：机床坐标系、切割物体坐标系。所有的图形绘制都是基于切割物体坐标系的，切割时再转换到机床坐标系。机器人切割台上沿 X、Y 方向各有三个气缸，定位切割时气缸顶起来，切割物体靠在定位杆上，此时坐标变换相当于一个坐标平移；搜索切割是将切割物体大致放于切割区，由机器人自己去搜索切割物体（机器人切割头上装有一个激光搜索器，下方有反光物体时会产生一个输入信号），此时只需搜索切割物体 y 方向上的一个点和 x 方向上的两个点就可以确定切割物体平面（切割物体一般是矩形），此时的坐标变换相当于平移+旋转变换。

设切割物体坐标系为 $[O'; i', j']$ ，机床坐标系为 $[O; i, j]$ ，切割物体坐标系的原点 O' 在 $[O; i, j]$ 中的坐标是 $[x_0, y_0]^T$ ，如果M点在 $[O; i, j]$ 与 $[O'; i', j']$ 的坐标分别是 $[x, y]^T$ 与 $[x', y']^T$ ，S为正交矩阵，假设切割物体倾斜放置，可以理解为机床坐标系 $[O; i, j]$ 通过逆时针旋转 θ 角得到切割物体坐标系 $[O'; i', j']$ ，此时切割物体坐标到机床坐标变换公式为^[5]：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}, \text{ 其中 } S = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}.$$

4 实验结果:

机器人伺服采用SANYO公司^[2]的产品，各轴伺服系统的具体参数为：

X 轴：伺服型号：PY2A050A2 电机型号：P60B13150B

Kp: 45 Kvp: 160 Tvi: 20 VCMS: 200

Y 轴：伺服型号：PY2A030A2 电机型号：P50B08075H

Kp: 37 Kvp: 240 Tvi: 15 VCMS: 200

Z 轴：伺服型号：PY2A015A2 电机型号：P50B05020D

Kp: 37 Kvp: 200 Tvi: 15 VCMS: 200

控制卡参数：KP 12,8,8 KI 8,2,2 KD 30,10,10 BK 5,5 MT,-1 CE,,2 OE0,0

图 5 显示了机器人 XYZ 三轴联动时采集到的 XY 轴的运行轨迹：

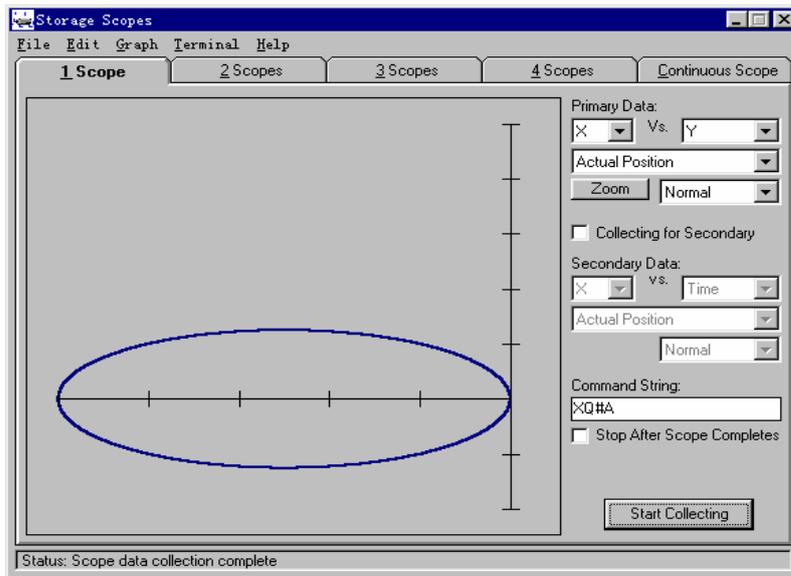


图 5：机器人运行轨迹

5 结束语：

本文从硬件到软件介绍了基于 DMC-1842 运动控制卡的切割机器人的实现过程，从工业现场的实际运行效果来看，该套机器人切割系统工作性能稳定，切割刀印光滑，具有较高的切割精度，切割速度快。机器人预留了 6 路 TTL 输入接口，可用于日后完善机器人的安全区域物体侵入检测等行为，增强机器人的安全性能。此外，该机器人还有一些可以改进的地方，比如设计更好的传动机构以达到更高的定位和切割精度，根据气温微调各轴分辨率以克服热胀冷缩对精度的影响，设计自动换刀机构以提高切割效率等等。

合作项目：该项目由武进吉鑫机械有限公司和江南大学合作开发，由江南大学完成电气系统和自动控制部分，该机器人切割系统已为企业创造经济效益 200 多万元。

参考文献：

- 1、DMC-18x2 USER MANUAL Manual Rev.1.0e, By Galil Motion Control, Inc.
- 2、AC SERVO SYSTEM BL Super P Series PY2, INSTRUCTION MANUAL, SANYO DENKI.
- 3、DMC-18x2 COMMAND REFERENCE Manual Rev.1.0c, By Galil Motion Control, Inc.
- 4、《机器人技术及其应用》 朱世强 王宣银 编著 杭州：浙江大学出版社 2001.7
- 5、《线性代数与解析几何》 杨奇 田代军 韩维信 天津：天津大学出版社 2002.10
- 6、C/C++ Programmers Tool Kit Reference Manual, By Galil Motion Control, Inc.

作者简介：陈志国，男，汉，1978 年 1 月生，湖北荆州人，在读硕士研究生；专业：计算机应用技术；主要研究方向：机器人运动控制，计算机控制系统。电子邮件：chenzg77@163.com。须文波，男，1946 年生，教授、博士生导师。主要研究方向：自动控制。

About author : Chen Zhiguo, Male, Born in Jan 1978, master's candidate with a major of Computer Applied technology. Main research field: the motion control of robot, computer control system. Cell phone:13063617383, Email:chenzg777@163.com. Xu Wenbo, Male, Born in 1946, Professor, Supervisor of Ph.D. Main research field: autocontrol.

(214122 江苏 无锡 江南大学 信息工程学院) 陈志国 须文波
(School of Information Technology, Southern Yangtze University) Chen,Zhiguo Xu,Wenbo

通信地址：

(214122 江苏省无锡市蠡湖大道 1800 号桂园公寓 10 号楼 519 宿舍) 陈志国