

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.014

# 基于 EtherCAT 总线的涂胶机器人控制系统设计

耿英博, 杜向阳, 张克平, 尚 伟

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

**摘 要:**针对塑料产品由于涂胶不均匀导致成品粘合不牢固、不平整的质量问题,提出了基于 EtherCAT 总线的涂胶机器人控制系统。基于倍福公司 EtherCAT 技术设计了涂胶可控通信涂胶机器人的控制系统,采用 EtherCAT 总线实现实时通信;提出了基于 LinuxCNC 开发的硬件抽象层的主站部分软件体系;从站部分采用倍福公司的通信芯片 ET1100 和三星公司的从站控制芯片 S3C2440A。应用结果表明:该设计可方便进行设备升级,提高了系统的实时性。该系统大幅度提高了设备生产的良品率。

**关 键 词:**涂胶机器人;运动控制卡;LinuxCNC 技术;EtherCAT 总线

中图分类号:TQ320.67;TP242.2

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2018)01-0066-05

## Design of Coating Robot Control System Based on EtherCAT Bus

GENG Yingbo, DU Xiangyang, ZHANG Keping, SHANG Wei

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of the bonding of the finished plastic products due to the uneven adhesion of the finished product, the adhesive control system based on the EtherCAT bus was proposed. The control system of the glue-controllable communication glue robot was designed by using the EtherCAT technology of Beckhoff, and the communication principle of using EtherCAT to improve real-time was introduced. The software system of the master part of the hardware abstraction layer based on LINUXCNC was proposed. Slave section details Beckhoff ET1100 chip communication control chip and Samsung S3C2440A slave role and designed principles of this system. Application results show that this design not only facilitates the upgrading of equipment, but also improves the real-time system, which can greatly improve the yield of equipment production.

**Keywords:** coating robot; motion control card; LinuxCNC; EtherCAT bus

课题组研究的涂胶机器人是由 ABB 机器人架体、工业计算机、从站运动控制器、操作系统和应用软件以及外围设备共同组成,完成搬运、绘画、涂胶、上下料等相应工作。

涂胶机器人的控制系统具有多输入、多输出与非线性的特点,除此之外对系统的响应特性也有较高的要求。一个工业机器人的各个涂胶的伺服单元既有联动的要求,又有独立运行的要求,课题组通过 EtherCAT 技术和 LinuxCNC 技术的接合,解决了机器人各个涂胶的强耦合问题,同时,利用现代先进的工业计算机技术,解决高精度的复杂算法难以在运动控制

卡上实现较高实时性的问题。

硬件部分由工业计算机与 ET1100 运动控制板卡组成。硬件部分介绍多轴拓扑的扩展,分布式时钟,信息的转发原理,PCI 接口的运用以及 S3C2440A 芯片的原理。软件部分以 LINUXCNC 软件作为主站控制系统的基础下并开发相应的 HAL 模块。软件部分主要介绍 LINUXCNC 的软件结构在机器人控制系统中的运行原理以及 HAL 原理和作用。

### 1 系统结构

涂胶机器人控制系统是一个与机构学、运动学和动力学原理密切相关的、耦合紧密的、非线性和时变的

收稿日期:2017-06-12;修回日期:2017-09-20

第一作者简介:耿英博(1989),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要研究方向为复杂制造设备系统的智能控制。E-mail: 2501800890@qq.com

多变量控制系统。

机器人控制系统一般由计算机和伺服控制器组成。本次项目研究带反馈的涂胶机器人控制系统 I/O 作为独立模块与计算机链接,其主站发送指令到运动控制器,运动控制器处理后的信号经过驱动器放大作用于操作机的相应关节,其内部所需的信号由内部传感器反馈到运动控制器,与外部环境没有关系,外部传感器检测外部环境信号,然后将之反馈到计算机处理,内部的控制与联系如图 1 所示。

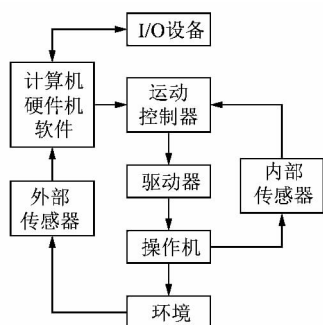


图 1 本体内部控制与联系

Figure 1 Internal control and connection robot

## 2 EtherCAT 总线

EtherCAT technology group<sup>[1]</sup>的主页里的 Showcase 介绍了 EtherCAT,这是目前在工业领域应用最广泛的网络总线之一。涂胶机器人以 EtherCAT 总线基础开发了一个具有高速网络数据传输高速以太网 I/O 网络,以光线或者双绞线为传输介质,利用目前应用最为广泛的以太网物理层以及通用的以太网网卡。

涂胶机器人利用 EtherCAT 的优点使其支持各种拓扑结构而且具有独特的数据传输方式。陈献铎等<sup>[2]</sup>在工业以太网的发展及其技术特点一文介绍了 EtherCAT 数据给每个从站的数据传输方式是在 FMMU(现场总线管理单元)控制下进行的,帧数据到达一个从站时,从站就会接收本站数据或者插入本站数据之后,进行下一个从站数据的接收和插入,最终的数据又转回涂胶机器人的主站中完成数据的传输。

除此之外该套系统采用的 EtherCAT 技术把以太网的快速传输的优点应用到工业领域中。Orebaugh 等<sup>[3]</sup>介绍了 EtherCAT 遵守可调速电子功率驱动系统的通用规范,支持 CANopen 协议,满足工业自动化的要求。CANopen 协议采用 IEC61800-7 规范,对控制系统与功率驱动提供了相应的标准。EtherCAT 协议兼容伺服驱动领域的 SERCOS 协议标准,是一种高性能的数字伺服通信的接口标准,其囊括各种行业的设备

规定和通信技术。

由于涂胶机器人内部采用 EtherCAT 总线技术,可以通过中断的优先级提高系统的实时性。EtherCAT 技术采纳了 IEEE1588 标准并设计的一套内部的分分布式时钟,使整个系统的时间同步,使提交机器人具有更加精确的控制力。表 1 中的数据可以看出该总线可以满足涂胶机器人在开关量控制、模拟量的控制、伺服轴的数量控制、位置和状态的更新方面的要求。

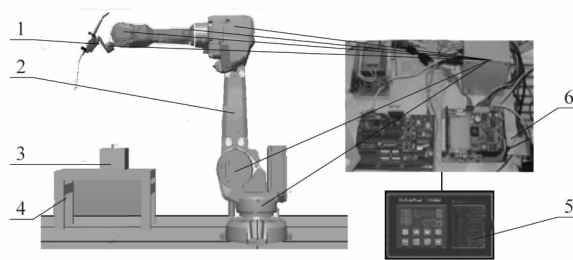
表 1 总线的实时性能参数

Table 1 Real time performance parameters of EtherCAT

| 过程数据                    | 更新时间/ $\mu\text{s}$ |
|-------------------------|---------------------|
| 256 个分布式 I/O            | 10                  |
| 1 000 个分布式数字 I/O        | 30                  |
| 200 个 16 位的模拟量 I/O      | 20 ~ 50             |
| 100 个 8 字节伺服驱动          | 100                 |
| 现场总线主站网关 1486 字节数据的输入输出 | 150                 |

## 3 硬件部分

本项目中控制系统的每个涂胶机器人的关节,由从站控制器实现涂胶的运动与信息的反馈。因为 EtherCAT 技术支持多种拓扑结构,所以控制系统可以轻易地实现涂胶机器人的扩展。涂胶机器人的功能主要由写入在工业计算机的算法与程序来实现,从而极大地减少了电器元件的成本,同时增加了机器人的控制能力和灵活性。图 2 是涂胶机器人的一套加工结构总图,由机器人架体、涂胶执行器、控制器、信息显示板、工件、加工平台等组成。



1—涂胶执行器;2—机器人架体;3—工件;4—加工平台;5—信息显示板;6—控制器。

图 2 涂胶机器人加工结构

Figure 2 Processing structure of coating robot

图 2 中,控制器 6 是本次研究的要点,其中 ET1100 芯片是通信协议芯片,通过该芯片修改了以太网的解压和压缩的 2 个步骤以及独特的结构,提高了系统的实时性。系统的通信是通过访问以太网数据链路层进行的,如图 3 所示。郇极等<sup>[4]</sup>介绍了在硬件上,运动控制器的通信是通过与 MII 接口相连的 PHY 芯

片进行数据的译码、编码和收发。机器人运动控制卡主要负责传送工业计算机发送过来的指令和对传感器采集的数据进行收集。用 ET1100 的通信控制器 ESC 与双端口的存储区完成对数据帧的收发处理,ESC 有 4 个数据收发端口可以扩展,按照 0 端口,1 端口,2 端口,3 端口,再回到 0 端口的顺序完成数据的传输。逻辑寻址是由现场总线内存管理单元实现,是数据逻辑地址空间到从站物理地址空间的映射。

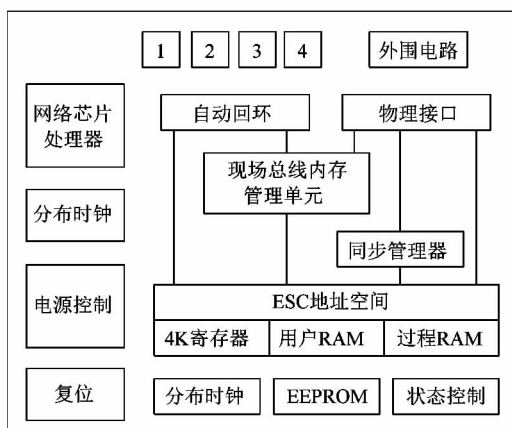


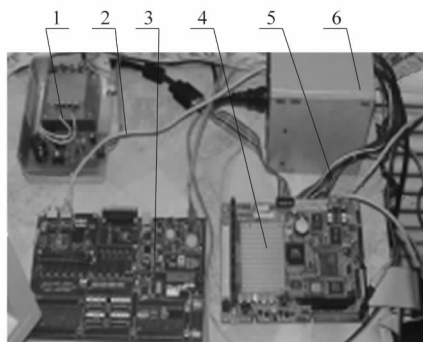
图3 EtherCAT 通信原理

Figure 3 Schematic diagram of motion controller

S3C2440A 芯片是涂胶机器人从站控制器的核心芯片,是 16/32 位 ARM920T 架构的精简指令集计算机。ARM920T 运用存储管理单元处理数据并且 AMBA 总线与哈佛结构提高了数据的处理能力,一般这种结构有 16 kB 指令和数据的高速缓存。曹晶<sup>[5]</sup>介绍了芯片 S3C2440A,提供 1 个通道 LCD 专用 DMA 与 4 个针对外部引脚请求的 DMA;提供 3 个异步串行接口通道(IrDA1.0, 64 字节发送 FIFO 和 64 字节接收 FIFO);提供 2 个 SPI 通道与 1 个 IIC 协议的通道;提供 1 个兼容 SD 主接口协议 1.0 版和 MMC 卡协议 2.11 版的音频编码器通道以及 AC97 编解码器与 2 个 USB 总线通道;提供 4 个定时器和 1 通道内部定时器/看门狗定时器的 PWM 通道与 8 个 10 位的数模转换器。除此之外该芯片还具有一个触摸屏接口,带有日历功能的 RTC,4 096 × 4 096 像素与 2 048 × 2 048 像素输入并具有缩放的摄像头接口,通用 I/O 口 130 个和外部中断源共 24 通道,具有掉电及待机模式和 PLL 片上时钟发生器。基于以上特点并利用 S3C2440A 的功能,使涂胶机器人系统设计变得简单稳定。

基于上面的说明设计出如图 4 所示的控制器,它是由 I/O 模块、通信电缆、主站控制板卡(图 1 中的计

算机部分),信号驱动器、伺服驱动线和从站运动控制器组成。从站运动控制器以及主站控制板卡必须保障系统的中断控制与输入输出数字开关的触发。LI Chunmu 等<sup>[6]</sup>介绍了 EtherCAT 分布式时钟的同步,可以通过补偿时钟的偏移和传输的延时来完成。



1—I/O 模块;2—通信电缆;3—主站控制板卡;4—运动控制器;5—伺服驱动线;6—信号驱动器。

图4 控制部分实物

Figure 4 Control part object

#### 4 软件部分

软件部分是主站以整个 LinuxCNC 软件系统如图 5 所示采用模块化设计,可分为 4 个部分:运动控制器,输入输出模块,图形用户接口和任务控制器。

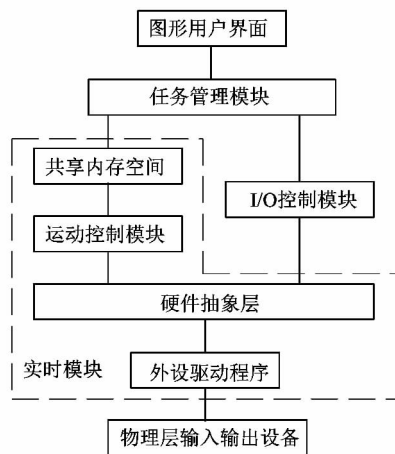


图5 软件架构

Figure 5 Software architecture

LinuxCNC<sup>[7]</sup>主页中的 GetingLinuxCNC 介绍了运动控制部分是一个实时模块,是从任务管理部分接收运动相关的命令后,完成轨迹规划、正/逆动力学运算并最终完成各个轴的位置计算<sup>[7]</sup>。

硬件抽象层(HAL)抽象出的引脚导出驱动以及软件 PID 模块,同时也实时地将机器人的运动状态反馈给任务管理器。I/O 模块和任务管理器之间有一个

错误通道,其内部建了错误处理机制,可以将错误传送到任务管理模块,做进一步的数据处理。

I/O 模块主要完成急停处理、冷却开关等辅助性控制,是一个周期循环的任务,其负责从任务管理部分接收命令,通过 HAL 引脚输出 I/O 控制和读取反馈的 I/O 状态。图形用户界面处理用户设定的数据并传送到任务管理模块,同时从任务控制器读取返回的数据并在界面上实时地呈现给用户。夏臻波<sup>[8]</sup>介绍了任务控制器是系统枢纽,其下发用户指定的数据到运动控制模块或者 I/O 控制模块,同时读取运动控制模块或者 I/O 模块的数据进行实时的监控。

## 5 控制流程

涂胶的控制过程是根据外部传感器反馈的外界环境实现的。高文龙<sup>[9]</sup>介绍了主站(LinuxCNC)确定任务,并利用相应的算法,计算目标任务在笛卡尔空间中的姿态,确定运动轨迹,将空间的位置姿态转变为每个涂胶所需的扭转角度,发出电信号给伺服电机,输出电机扭转的角度。根据涂胶扭转所需要的角度,旋转电机通过内部反馈实现角度的精确化,实现任务的执行;通过外反馈把末端变动的位置姿态送入计算机与目标值比较,并对误差进行补偿。

图6所示为涂胶机器人的控制运作过程,主要可以描述为3个层次。金林<sup>[10]</sup>介绍了作业控制器的组织层的主要功能是根据作业环境确定任务,计算环境目标在笛卡尔空间的位置姿态,最终确定运动轨迹。运动控制器的协调层负责运动空间角度的转换,以及电信号的产生。伺服控制器的执行层的功能是控制伺服电机与末端任务的执行。

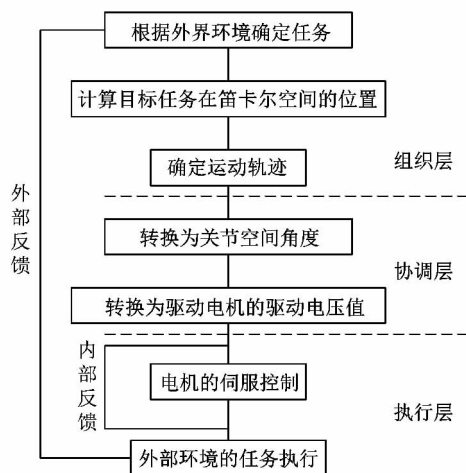


图6 机器人的控制过程

Figure 6 Robot control process

## 6 实验结果与分析

黏度与厚度对涂胶机器人所涂胶面的均匀度起着重要影响。涂胶面积与未涂胶面积的比值即为均匀度。在3 cm宽的木板上涂胶,均匀度区间在 $[0,1]$ 之间。在黏度 $\mu=0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时,实验得出了涂胶的均匀度 $K$ 与胶层厚度 $h$ 的关系;在厚度 $h=1.0$  mm时,实验得出了胶层的均匀度 $K$ 与黏度 $\mu$ 的关系。对上述2个实验进行比较,得出了该套系统上胶品质与涂胶的黏度与厚度的关系,如图7和图8所示。

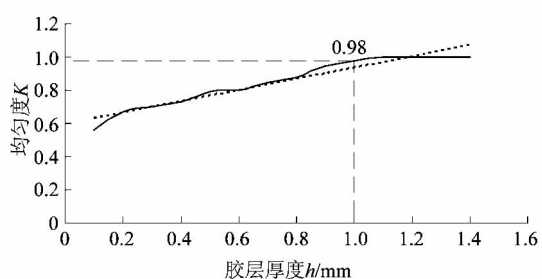


图7 厚度的影响

Figure 7 Thickness effect

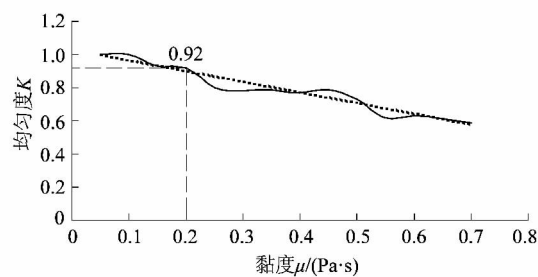


图8 黏度的影响

Figure 8 Effect of viscosity

从图7可知,厚度 $h$ 与均匀度 $K$ ,在一定的范围内呈正相关;图8所示动力黏度 $\mu$ 与均匀度 $K$ 呈负相关。因此,从图7~8中综合得出该套系统在接近1 mm时的均匀度最高。图中的曲线还可以证明在胶层厚度1 mm,黏度 $0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时系统可以稳定准确地工作。

## 7 结语

在本次设计的系统中,涂胶机器人在黏度 $0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,厚度为1 mm时得到的良品率最高。与此同时可以得出:ET1100芯片的加入可以提高系统的实时性;S3C2440A的加入使得本项目运动控制器变得简单、稳定、体积小、功能强;LinuxCNC应用于主站更加利于程序的修改。目前某自动化设备(上海)有限公司的SCA涂胶系统具有专用的系统的平台,涂胶稳定方便,相对于本次设计的涂胶机器人的控制系统是非开源系统,所以不改变硬件的情况下对系统的性能提升较为

困难。本次设计的涂胶机器人控制系统利用LinuxCNC技术可以对系统进行升级改造,减少硬件更换带来的不必要的损失。虽然设计的机器人涂胶系统具有较好的应用前景,但是本系统的涂胶厚度比较单一,还需作进一步改进。

### 参考文献:

- [1] EtherCat technology group. Showcases[EB/OL]. (2013-7-6) [2017-5-29]. <http://www.ethercat.com>.
- [2] 陈献铎,孙国锋,韩学岗. 工业以太网的发展及其技术特点[J]. 山东化工,2006,20(3):27-49.
- [3] OREBAUGH A, RAMIREZ G, BEAL J, et al. Wireshark & ethereal network protocol analyzer toolkit[M]. Burlington: Syngress Press, 2007.
- [4] 邹极,刘艳强. 工业以太网现场总线 EtherCAT 驱动程序设计及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- [5] 曹晶,方康玲,廖焕柱. 基于 S3C2440 的 EtherCAT 智能从站设计[J]. 计算机技术与发展,2010,20(12):229-231.
- [6] LI Chunmu, ZHANG Mingzhong, LI Yin, et al. The application of EtherCAT fieldbus in pure-software open CNC system[J]. Advanced materials research,2012,562/563/564:1935-1938.
- [7] LinuxCNC. Getting LinuxCNC[EB/OL]. (2008-1-5) [2017-5-29]. <http://www.linuxcnc.org/>.
- [8] 夏靖波,牛超. 基于 S3C2440A 处理器的 Linux 移植的研究与实现[J]. 计算机与数字工程,2011,39(11):12-39.
- [9] 高文龙. 基于 EtherCAT 工业机器人控制系统的研究与设计[D]. 上海:复旦大学,2012:20-22.
- [10] 金林. 基于 EtherCAT 总线焊接机器人控制系统研究[D]. 广州:华南理工,2013:15-45.

(上接第 61 页)

### 4) 日志模块

日志模块是软件运行过程的记录,对于日后的数据统计、异常分析至关重要。系统会将启动后各个运行参数、对应时间等参数保存在日志文件中,可以定时调用、分析日志文件对设备进行维护。

## 3 结语

课题组通过对系统整体结构和上位机控制系统软件设计的分析,提出了一种基于 ARM + Linux + Qt + TCP/IP 的电子提花机控制器上位机控制系统软件设计方案,与采用工控机现场控制的传统方案相比,操作更加简单、可扩展性更强、更加便于集中式管理,极大地提高了生产效率,解放了生产力,节约了企业生产成本。

### 参考文献:

- [1] 张建义,袁嫣红. 基于 ARM 的提花机控制系统设计[J]. 机电工程,2006,23(3):6-8.
- [2] 黄力利. 基于 CAN 总线的织机上位机单元设计[D]. 杭州:浙江大学,2014:25-26.
- [3] MATTHEW N, STONES R. Beginning Linux programming[M]. 4th ed. Toronto: Wiely Publishing, 2004:667-720.
- [4] 林峰,杨洁,许力. 基于 ARM 的提花机控制系统 GUI 的设计与实现[J]. 电工技术,2008(7):48-49.
- [5] JASMIN BLANCHETTE. C++ GUI Qt 4 编程[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2008.
- [6] 金元郁,王波,张洪波. EEPROM 数据指针的断电保护方法[J]. 微计算机信息,2009,25(26):28-29.
- [7] 赵益民,胡洁,花名众,等. 自适应电子提花机控制系统设计[J]. 上海纺织科技,2013,41(12):53-54.
- [8] 邹佩瑶,孙瑜,胡伯生,等. 基于 ARM 的电子提花机控制系统软件设计[J]. 工业控制计算机,2016,29(4):89-90.



www.QCtester.com  
因为专业,所以权威  
因为用心,所以收获更多

扫一扫 加入我们