

EtherCAT 技术提升激光调高器通信的实时性

郭金龙

(南京超颖新能源科技有限公司 南京 211100)

摘 要 激光调高器在激光切割领域中是至关重要的部件, 它能使切割头与板材始终保持预定的高度。为了实现高精度、高灵敏度的跟随效果, 不仅需要对控制算法进行优化, 激光切割控制系统与调高器之间的通信延迟也不可忽视。本文描述了 EtherCAT 总线在激光调高器中的应用。测试数据表明, 相对于传统的 TCP/IP 协议, EtherCAT 通信 PDO 延迟降低 95%, SDO 延迟降低 71%。

关键词 EtherCAT; 激光调高器; 激光切割控制系统

中图法分类号 TP273 TP275 DOI:10.16707/j.cnki.fjpc.2022.02.016

Improving the Real-time Communication of Laser Torch Height Controller with the EtherCAT Technology

GUO Jinlong

(Nanjing Chaoying New Energy Technology Co., Ltd., Nanjing, China, 211100)

Abstract Laser height regulator is a very important component in the field of laser cutting. It can keep the cutting head and plate at a predetermined height all the time. In order to achieve high-precision and high-sensitivity following effect, not only the control algorithm needs to be optimized, but also the communication delay between the laser cutting control system and the height adjuster can not be ignored. **This paper describes the application of EtherCAT bus in laser height regulator.** The test data show that compared with the traditional TCP / IP protocol, the PDO delay of EtherCAT communication is reduced by 95% and the SDO delay is reduced by 71%.

Keywords EtherCAT; Laser Torch Height Controller; Laser Cutting Control System

1 引言

近年来, 随着国内激光器技术的进步和成本的降低, 激光切割行业也发展得如火如荼。

激光切割系利用经过聚焦的高功率密度激光束照射工件, 使被照射的材料迅速熔化、汽化、烧蚀或达到燃点, 同时借与光束同轴的高速气流吹除熔融物质, 从而实现将工件切开的一种热切割方法^[1]。其工作原理如图 1 所示。由于工件表面并非绝对平整, 在切割过程中需要利用调高器来控制喷嘴与板材的高度, 以使激光束始终聚焦在板材上。因此, 调高器的控制精度和灵敏度对激光切割的效果有

密切关系。尤其对于方管切割, 喷嘴和管壁的距离变化更快, 对调高器的跟随性能是个巨大的考验。

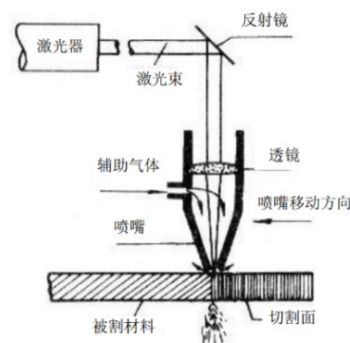


图 1 激光切割原理

目前,行业多采用基于标准以太网的 TCP/IP 协议与激光控制系统通信。这种方式不能实现很好的实时性,只适用于对实时性要求不高的工业过程自动化应用^[2]。

本文将 EtherCAT 技术应用在激光调高器上,使用高性能微控制器 (Microcontroller Unit, MCU) 和实时工业以太网总线技术,提升调高器和激光切割控制系统通信的实时性。

2 系统构成

系统包括控制模块和通信模块。前者为系统核心部分,主要用于运动控制并和通信模块进行数据交换等;后者用来与激光切割控制系统通信,具有硬实时特性。两者通过主机总线接口 (Host Bus Interface, HBI) 连接,系统构成如图 2 所示。

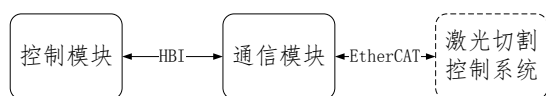


图 2 系统构成

2.1 控制模块

控制模块主要由微控制器、电容采样电路、伺服控制电路组成,如图 3 所示。

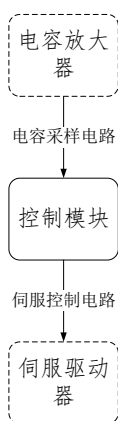


图 3 控制模块

(1) 采用基于 ARM M4 内核的低成本高性能微控制器 STM32F429,系统时钟高达 180MHz,提供可变存储控制器 (Flexible Memory Controller, FMC),用来与 EtherCAT 从站控制器 (EtherCAT Slave Controller, ESC) 通信。

(2) 电容采样电路用来测量电容传感器输入信号的频率。后者是通过震荡电路将切割头与板材间的电容转换成不同频率的脉冲,而切割头与板材

间的电容与两者间的距离有关,从而实现高度的测量。

(3) 伺服控制电路主要由数模转换 (Digital to Analog Converter, DAC) 电路和编码器采样电路组成,用来驱动伺服电机,从而控制切割头上升或下降。

微控制器通过电容采样电路获得切割头与板材间的距离 (即高度),通过伺服控制电路获得伺服电机位置和速度,经过运算之后进一步控制电机运动,使切割头和板材间的距离始终保持恒定,从而实现高度跟随。

2.2 通信模块

通信模块主要由 EtherCAT 从站控制器 LAN9252 和标准以太网接口 RJ45 组成,如图 4 所示。

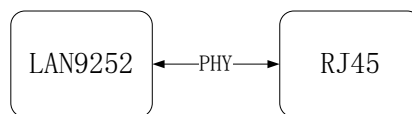


图 4 通信模块

EtherCAT 全称是以太网控制自动化技术 (Ethernet Control Automation Technology),是由德国倍福自动化 (Beckhoff Automation) 有限公司于 2003 在汉诺威工业博览会上推出的实时工业以太网技术^[3]。

LAN9252 是一款集成两个以太网 PHY 的 2/3 端口的 EtherCAT 从站控制器,每个以太网 PHY 包含一个全双工 100BASE-TX 收发器且支持 100 Mbps (100BASE-TX) 工作速率。LAN9252 可以通过类似 SRAM 的 8 位或 16 位并行总线与微控制器通信,也支持通过 SPI 或 QSPI 进行访问^[4]。

EtherCAT 从站控制器负责处理 EtherCAT 数据帧,报文数据的提取和插入都是由数据链路层的硬件完成,并使用双端口存储器 (Dual-port Random Access Memory, DPRAM) 实现 EtherCAT 主器件与本地应用之间进行数据交换。EtherCAT 主站使用标准以太网接口卡;而从站使用专用的 EtherCAT 从站控制器,在主从站之间使用标准的以太网物理层器件进行连接^[5]。

3 系统设计与实现

3.1 硬件设计

硬件电路主要包括电源转换电路、MCU 控制电路、电容采样电路、伺服控制电路、EtherCAT 通信电路等，参考相关芯片数据手册和参考电路等进行硬件电路设计。

(1) 电源转换电路主要为其他电路提供电源。不同元器件或模块工作时都需要特定的电源，模拟电路部分还需要单独的隔离电源以与数字电路分开。

(2) MCU 控制电路主要为 STM32F429 和其附加电路，以使芯片正常工作，如晶振、复位电路、BOOT 电路等。

(3) 电容采样电路主要对来自电容放大器的信号进行阻抗匹配、滤波、整形、电气隔离等。

(4) 伺服控制电路主要由模拟量输出电路和编码器反馈电路组成。

模拟量输出电路采用亚德诺半导体（Analog Devices，ADI）的 16 位单通道双极性数模转换器 AD5761，通过 SPI 接口与 MCU 通信 如图 5 所示。AD5761 可以输出±10V 电压，直接控制伺服驱动器，调节电机速度。

编码器反馈电路主要用于将来自伺服驱动器的编码器差分脉冲信号转换成单极性脉冲信号，然后通过计数得到电机运动速度及方向，如图 6 所示。

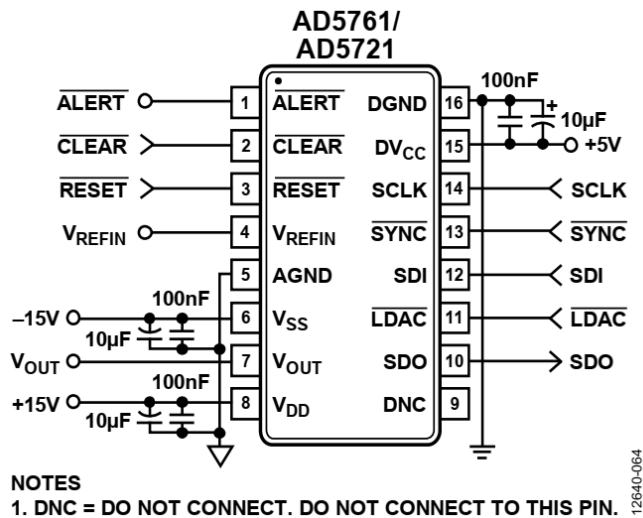


图 5 模拟量输出电路

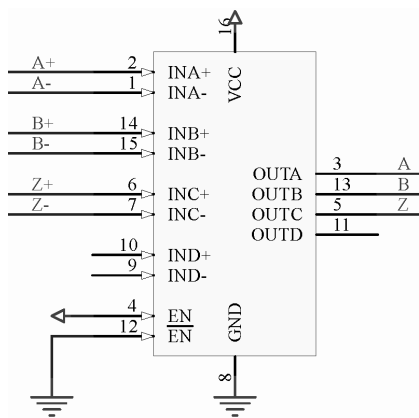


图 6 编码器反馈电路

和其附加电路。LAN9252 通过 HBI 总线（Index 模式，16 位数据，4 位地址）与 STM32F429 连接，如图 7 所示。

电路板实物如图 8 所示。

3.2 软件开发

软件开发的核​​心是运动控制和 EtherCAT 通信两部分。

(1) 运动控制部分主要是将来自电容放大器的脉冲信号换算成切割头离板材的高度，同时通过伺服编码器反馈信号获取电机的运动状态，经过一系列运算后控制模拟量输出电路驱动伺服电机运动，调节切割头到板材的距离为设定高度。运动控制流程如图 9 所示。

(5) EtherCAT 通信电路主要为 LAN9252 芯片

		A4/DIGIO12/GPI12/GPO12/MII_RXD0	27	A4
		A3/DIGIO11/GPI11/GPO11/MII_RXD1	26	A3
		A2/ALEHI/DIGIO10/GPI10/GPO10/LINKACTLED2/MII_LINKPOL/LEDPOL6	29	A2
		A1/ALELO/OE_EXT/MII_CLK25	25	A1
RD/RD_WR	31	RD/RD_WR/DIGIO15/GPI15/GPO15/MII_RXD3		
WR_ENB	30	WR/ENB/DIGIO14/GPI14/GPO14/MII_RXD2		
CS	28	CS/DIGIO13/GPI13/GPO13/MII_RXD1		
		A0/D15/AD15/DIGIO9/GPI9/GPO9/MII_RXER	33	D15
		D14/AD14/DIGIO8/GPI8/GPO8/MII_TXD3/TX_SHIFT1	15	D14
		D13/AD13/DIGIO7/GPI7/GPO7/MII_TXD2/TX_SHIFT0	16	D13
		D12/AD12/DIGIO6/GPI6/GPO6/MII_TXD1	21	D12
		D11/AD11/DIGIO5/GPI5/GPO5/MII_TXD0	22	D11
		D10/AD10/DIGIO4/GPI4/GPO4/MII_TXEN	23	D10
		D9/AD9/LATCH_IN/SCK	19	D9
		D8/AD8/DIGIO2/GPI2/GPO2/MII_MDIO	40	D8
SYNC	18	D7/AD7/DIGIO1/GPI1/GPO1/MII_MDC	39	D7
		D6/AD6/DIGIO0/GPI0/GPO0/MII_RXCLK	36	D6
SYNC0	34	D5/AD5/OUTVALID/SCS#	50	D5
		D4/AD4/DIGIO3/GPI3/GPO3/MII_LINK	49	D4
		D3/AD3/WD_TRIG/SIO3	35	D3
		D2/AD2/SOF/SIO2	12	D2
		D1/AD1/EOF/SO/SIO1	13	D1
		D0/AD0/WD_STATE/SI/SIO0	17	D0

图 7 EtherCAT 通信电路

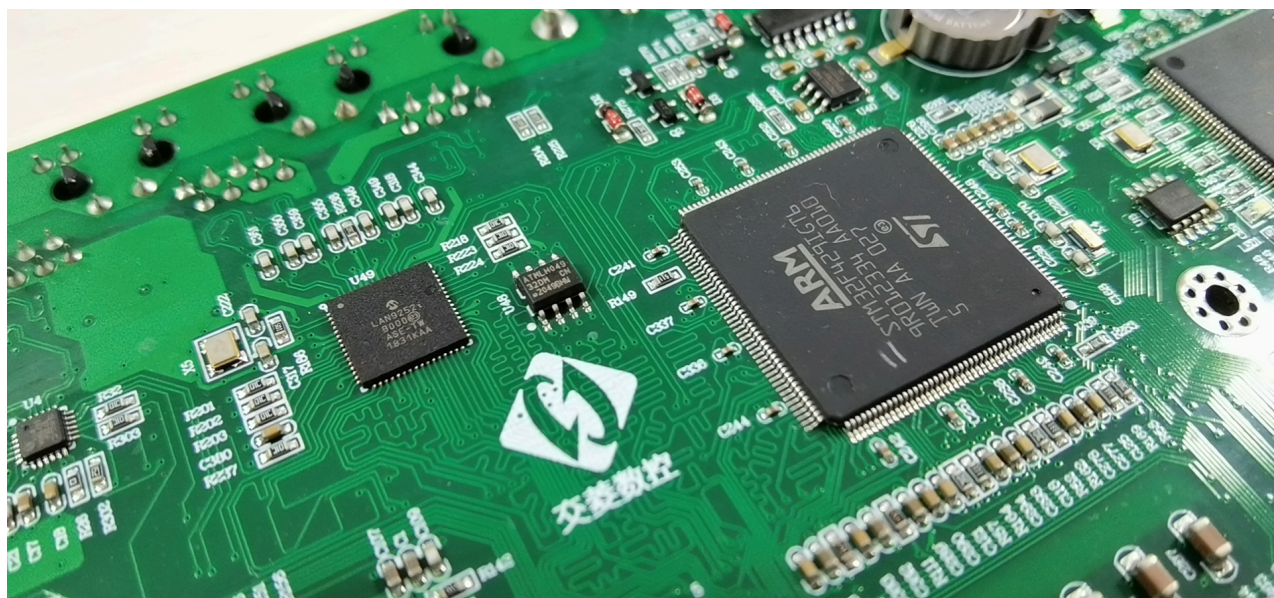


图 8 电路板实物

(2) 通信部分主要是在调高器搭建 EtherCAT 从站, 主要工作包括 LAN9252 驱动程序移植和 EtherCAT 从站设备对象的定义和实现。

倍福提供了 EtherCAT 从站代码配置工具 SSC Tool (EtherCAT Slave Stack Code Tool)，可以配置从站设备信息 (EtherCAT Slave Information, ESI) 并生成从站代码和对象字典。同时 Mircochip 公司提供了 LAN9252 的 SDK 文件，可以导入 SSC Tool 作为模板。参考 EVB-LAN9252-HBI+评估板用户手册完成 LAN9252 和 STM32F429 的驱动适配和应用。

程序开发^[6]。从站工作流程如图 10 所示。

而激光切割控制系统作为主站,根据前面定义的设备对象字典与调高器进行数据交换。调高器使用周期性过程数据通信(Process Data Object, PDO)发送自身运动状态、报警信息等;主站通过非周期性邮箱数据通信(Service Data Object, SDO)向调高器发送命令、修改参数及获取设备信息等。

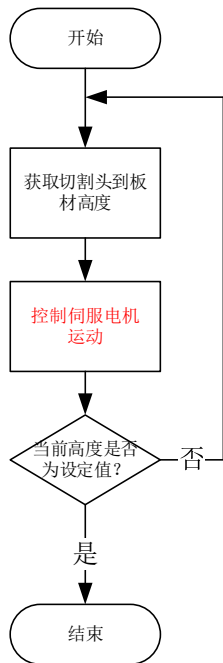


图9 运动控制流程

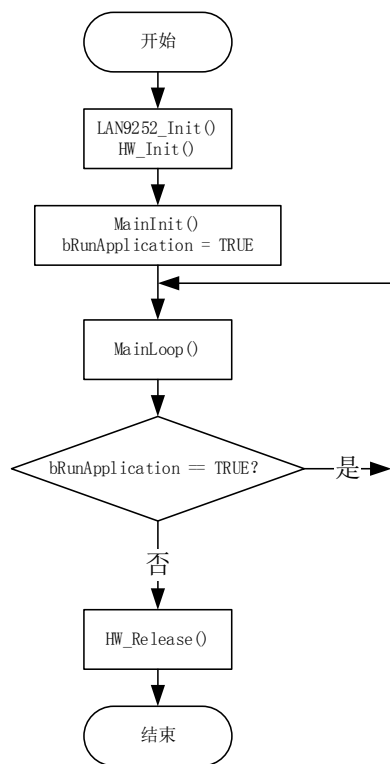


图10 EtherCAT从站工作流程

3.3 通信测试

倍福提供了 TwinCAT (The Windows Control and Automation Technology, 基于 Windows 的控制和自动化技术) 自动化软件, 可以将通用 PC 作为 EtherCAT 主站, 其在 Window 操作系统中内嵌一个实时内核, 用来实现数据通信的实时性^[7]。

此外, 也可以使用开源 EtherCAT 主站软件 SOEM (Simple Open EtherCAT Master), 可以运行在 Windows、Linux 及嵌入式实时操作系统 (Real Time Operating System, RTOS) 上。

测试一次读写的平均时间, 结果如表 1 所示。

表 1 通信延迟测试

通信方式	通信时间(us)	相对于 TCP/IP 缩短 (%)
TCP/IP	3315	-
EtherCAT PDO	149	95
EtherCAT SDO	953	71

4 结语

本文在分析了当前激光切割领域对调高器的功能需要前提下, 设计了基于 EtherCAT 通信的激光调高器。经过测试, 激光切割控制系统和调高器间通信延迟明显降低, 有利于增强切割过程中调高器跟随的精度和灵敏度, 提高了工作效率。

参 考 文 献

- [1] 邓英剑. 激光切割及其在切割陶瓷材料中的应用. 机械, 2004,31(3):55-60
- [2] 郇极,刘艳强. 工业以太网现场总线EtherCAT驱动程序设计及应用. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010
- [3] Potra, S., G. Sebestyen. EtherCAT Protocol Implementation Issues on an Embedded Linux Platform. IEEE International Conference on Automation IEEE Computer Society, 2006
- [4] 2/3-Port EtherCAT® Slave Controller with Integrated Ethernet PHYs. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/00001909A.pdf>, 2015
- [5] 郑林,何岭松,陈驰. 基于EtherCAT的机器人教学实验平台设计. 实验室研究与探索, 2021,40(5):6
- [6] EVB-LAN9252-HBI+ EtherCAT® Evaluation Board User's Guide. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002333C.pdf>, 2016
- [7] 王国河. 基于实时以太网EtherCAT的多轴网络运动控制系统设计[硕士学位论文]. 华南理工大学, 广州, 2012