

基于EtherCAT的直角坐标机器人控制系统设计*

黄科程, 文亦骁

(西华大学, 四川 成都 610039)

【摘要】为实现EtherCAT技术在直角坐标机器人中的应用,文章提出了一种使用德国BECKHOFF公司的EtherCAT从站开发板FB1111-0141和TMS320F2812单片机的设计方案。研究表明:EtherCAT技术可以实现直角坐标机器人更快、更稳定、更精确的位置控制。

【关键词】EtherCAT; 直角坐标机器人; TMS320F2812

【中图分类号】TP242.2 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-1891(2015)02-0048-04

DOI:10.16104/j.cnki.xccxb.2015.02.017

前言

在过去的几十年里,在工业自动化领域中,PLC(Programmable Logic Controller)得到了广泛地应用。但随着科技日新月异不断发展,PLC设备在许多方面都不能完全满足工业生产的需要,比如它渐渐暴露出在稳定性、实时性等多方面的短板。因为这个情况,德国BECKHOF倍福公司开发了一种名为EtherCAT(Ethernet for Control Automation Technology)的实时以太网技术,它是一项低成本、高性能、应用简易、拓扑灵活的工业以太网技术。它于2003年被倍福引入市场,并且在2007年正式成为国际标准。因此使运动控制系统得以在过去无法应用现场总线网络的应用场合中选用现场总线^[1]。

为使得直角坐标机器人具备更快通信速度、更好的实时性、更精确的位置控制,本文提出了一种采用EtherCAT技术和直角坐标机器人相融合的方案。下文从系统方案、系统主站和从站软硬件设计等方面进行了一一阐述。

1 EtherCAT 技术介绍

1.1 EtherCAT工作原理

一个EtherCAT网段可以视为一个独立的以太网设备。此“设备”可以接收和发送以太网报文。EtherCAT主站采用标准的以太网MAC(Media Access Controller),不需要额外的微处理器和以太网控制器,所以EtherCAT主站可以被任何集成了以太网接口的硬件所实现,而这与使用的应用程序和操作系统无关。

EtherCAT主站发起通信,主站设备把新的输出数据填充到单个EtherCAT数据帧,通过帧类型0x88A4识别EtherCAT协议,数据帧类型如图1所示,再通过自动的DMA(Direct Memory Access)方式,

此数据帧发送给介质访问控制器即可^[2]。EtherCAT从站的各个设备便会动态高速地读取到此节点的数据,并向报文中插入相关的用户数据,然后将报文逐次向下一个从站传递,直到最后一个从站设备。最后一个从站设备会发回经过一系列处理的报文,因为运行的全双工模式,发送出去的报文最后会返回到控制单元^[3]。工作原理如图2所示。

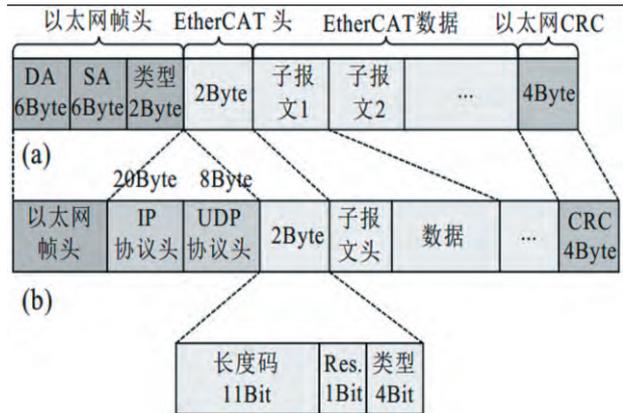


图1 EtherCAT数据帧结构

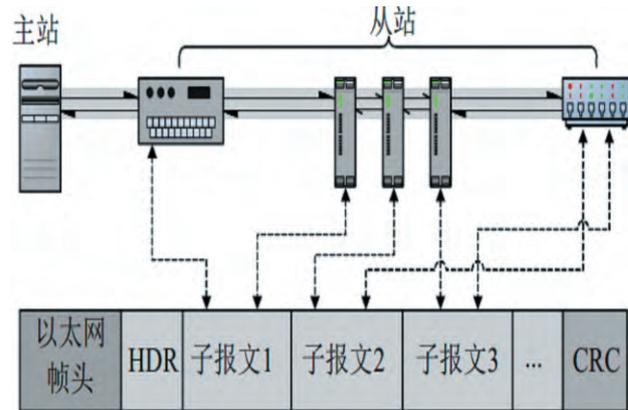


图2 EtherCAT运行机制

1.2 灵活的拓扑结构

EtherCAT支持许多类型的拓扑结构,比如星型、线型、菊花链型等。

收稿日期:2015-03-02

*基金项目:西华大学研究生创新基金(项目编号:yccj2014059)资助。

作者简介:黄科程(1990-),男,四川峨眉山人,硕士研究生,研究方向:自动化与数控技术。

EtherCAT的拓扑结构不会受限于集线器或者是级联交换机,因此即使上千个节点的线型拓扑结构的构成也可以成为可能^[1]。

EtherCAT还提供了许多灵活的电缆类型,每个网段能够根据具体要求从而选择相对应的电缆类型。

2 控制系统设计

2.1 EtherCAT整体结构

将EtherCAT技术运用于直角坐标机器人中,充分发挥EtherCAT实时以太网的优势,使直角坐标机器人的运行具有良好的实时性,更强的抗干扰性,更精确的运动控制等优点。系统的大体结构设计如图3所示,系统采用主从式结构,基于PC的主站一般用网络接口卡NIC(Network Interface Card)作为以太网控制器,并以100BASE-TX规范的UTP线缆作为传输介质^[4]。其中PC机与FB1111-0141开发板之间采用EtherCAT以太网实现通信,FB1111-0141和DSP之间采用SPI接口进行通信,最后由DSP和伺服驱动器控制直角坐标机器人X、Y、Z轴上面的三个伺服电机的运动。控制系统的整体结构如图3。

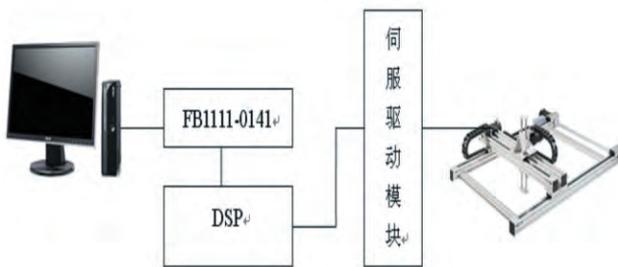


图3 EtherCAT控制系统的整体结构

2.2 控制系统硬件组成

基于EtherCAT的直角坐标机器人所构成的系统的主站选择的是PC机,此PC机具有RJ45网络接口,100BASE-TX规范的5类UTP线缆通常作为它传输介质。该系统的从站选用的是德国Beckhoff(倍福)公司的FB111-0141开发板和TMS320F2812 DSP单片机,FB111-0141通信开发板可以用于开发EtherCAT从站设备,ET1100则是EtherCAT从站控制器ESC(EtherCAT Slave Controller)的专用芯片,然后按照RJ45接口、网络隔离变压器、物理层芯片的顺序依次连接到EtherCAT网络,ESC和物理层芯片通过MII(Media Independent Interface)接口相连,最后通过FB1111-0141通信开发板上的PDI(Process Data Interface)连接器部分选择一种接口(32位Digital IO、SPI接口、8位或16位并行接口)和外部DSP相连。对于此系统,本文研究的直角坐标机器

人控制系统采用的是DSP连接SPI接口的方式。TMS320F2812DSP芯片是TI公司最新推出的数字信号处理器,器件上集成了多种先进的外设,为电机及其他运动控制领域应用的实现提供了良好的平台。松下MINAS A4系列AC伺服驱动器和直角坐标机器人组成了该系统的下位机结构。图4为从站整体结构。

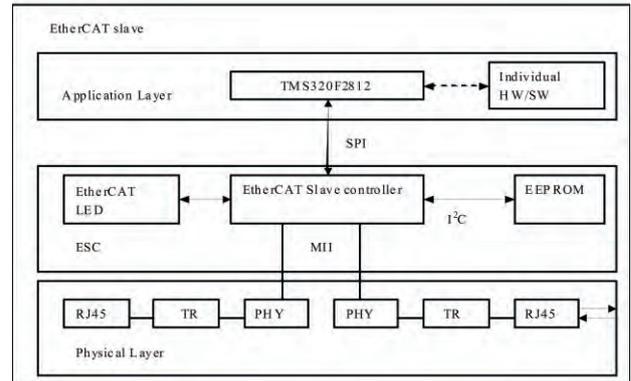


图4 EtherCAT从站的结构组成

2.3 FB1111-0141控制板

EtherCAT从站控制板FB1111-0141由端口0和端口1、PDI连接器、PDI配置区域、EEPROM、LED、ET1100从站控制器等构成。控制板上的每一个EtherCAT端口均和一个物理层器件、隔离变压器、RJ45连接器相联系。而控制板上的PDI配置区域是一系列电阻的集合。在PDI配置区域上的不同的电阻组合能实现在PDI连接器上的不同输入输出,FB1111-0141就是一个拥有SPI(Serial Peripheral Interface)通信协议的控制板。

2.4 控制系统软件

上位机选用TwinCAT(The Windows Control and Automation Technology)作为该系统的控制软件,它是由德国BECKHOFF公司基于PC平台和Windows操作系统所开发。在BECKHOFF基于PC的控制器上安装了TwinCAT运行核,它就是一个具备强大功能的运动控制器和PLC的结合体,它也可以充分利用PC所标配的硬件来实现更快速的逻辑运算和更精确的运动控制。实验中,TwinCAT作为上位机软件即可以向下位机发送控制命令和操作数据,还可以实时监控下位机数据和工作状态^[5]。

2.5 FB1111-0141控制板卡与DSP的电路设计

TMS320F2812芯片作为从站微处理器,芯片是176引脚,具有PGF薄型四方扁平封装(LQFP)。ET1100和DSP之间采用SPI通信方式,DSP作为SPI接口的主设备,ET1100作为从设备。SPI通行模式主要是应用6根引脚。

TMS320F2812 单片机的 SPI 通信模式下的同步时钟输出引脚 SPICLK, 此引脚接 ET1100 的时钟输入引脚 SPI_CLK。

TMS320F2812 单片机 SPI 通信方式下的数据输出引脚 SPISIMO, 此引脚接 ET1100 的数据输入引脚为 SPI_DI。

TMS320F2812 单片机 SPI 通信方式下的数据输入引脚 SPISOMI, 此引脚接 ET1100 的数据输出引脚为 SPI_DO。

TMS320F2812 单片机的片选信号引脚 SPISTE 的片选信号可以由外部中断 1 产生, 此引脚接 ET1100 的选择引脚 SPI_SEL。

TMS320F2812 单片机的第 43 引脚主要作用是如果此引脚它的电平极性为高电平, 就表示 PDI (Process Data Interface) 是活动状态, 此时 EEPROM 被正确装载^[6], 此引脚接 ET1100 的配置文件装载引脚 EEPROM_Loaded。

TMS320F2812 单片机的第 21 引脚主要作用是外部中断 1 产生中断信号, 此引脚接 ET1100 的中断引脚 SPI_IRQ。

FB1111-0141 控制板卡与 TMS320F2812 单片机的 SPI 通信连接如图 5 所示。

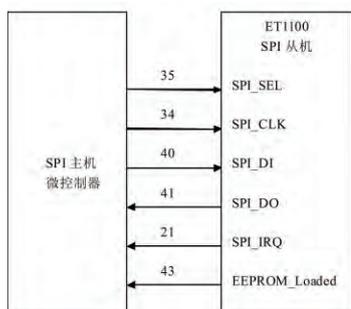


图 5 FB1111-0141 与 DSP 电路连接图

3 控制系统实验及分析

在基于 FB1111-0141 控制卡和 DSP 构建的 EtherCAT 从站接口的平台上, TwinCAT 作为上位机软件对整个控制过程进行检测。整个通信的操作过程主要分为以下几个部分。

第一: 从站软件 CCS4.2 向 TMS320F2812 单片机编写控制程序, 包括插补运算算法、位置控制程序、从站控系统接口程序等。

第二: PC 作为上位机, 主要完成处理过程的实时检测。DSP 主要实现数据的快速处理, 而直角坐标机器人的运动的实时信息则通过 RS232 总线传达给相应的人机交互界面, 触摸屏就可以对机器的运转进行监测。

第三: 编写与实验中从站相对应的 XML 文件

(Extensible Makeup Language), 随后通过 TwinCAT 软件烧录到 FB1111-0141 的 EEPROM 中, 使其满足 EtherCAT 通信协议, 以此保障信号的正确传送, 最后在 TwinCAT 中配置一系列相关的输入和输出变量。

第四: 运用 TwinCAT PLC 控制器编辑 PLC 程序, 让主站、从站的输入和输出地址相关联。

第五: 程序运行的过程中, 有很多参数的设定会影响系统的运行状态, 比如通信连接、运动控制、程序编号等, 所以必须提前正确设定这些参数。以直角坐标机器人为例, 三个轴的运行速率分别都设置为 20000 脉冲/s, 而把断电保持寄存器设置为默认值; 在电机运行时, 电机的加减速时间都设置为 20 ms^[7]。

4 控制系统测试

在完成对此控制系统的一系列设置之后, 接下来就要对控制系统进行调试, 包括对各板块硬件的电气调试、设置合适的系统参数、伺服系统的调试等等。

此控制系统是要对直角坐标机器人的三轴的运动坐标进行采集。电机本身的精度可以达到 0.11 mm, 因为在直角坐标机器人的三个轴的方向都加上了光栅尺, 而光栅尺的最小精度范围能够达到 0.005 mm, 因为存在该系统光栅尺, 所以此时系统构成了闭环返回电路, 所以该系统的测量精度就可以得到显著的提升, 此时便能够满足系统的测量性能要求^[7]。因为直角坐标机器人的移动精确度是 0.2 mm, 而此控制系统中, 人机交互界面的主要功能是数据的采集、保存、传输和监控, 所以人机交互界面会记录到直角坐标机器人所采集到的坐标位置, 而且会因此构成一个表格; 不仅如此, 在人机交互界面里也会出现电机的实时坐标位置。

此控制系统还要进行一些系统参数的设定, 以满足控制系统的要求。经过一系列调试, 直角坐标机器人可以按照触摸屏的操控进而实现精确地坐标移动, 设计基本可以达到预期的目标。实验实物图如图 6 所示。



图 6 部分实验室物

5 结语

EtherCAT工业以太网以其运行机制、网络性能、灵活的拓扑、使用简单、成本低廉等诸多优点必然广泛应用于机器控制、测量设备、汽车和移动等行业^[8]。此控制系统将直角坐标机器人与EtherCAT实时工业以太网相结合,从而设计出一套定位精确、延迟时间短、稳定性好、开放性良好且的伺服运

动控制系统,最后经过一系列调试检测后,本研究通过在直角坐标机器人平台上进行较长时间的测试研究,最终得到该控制系统运动控制精度高、稳定性好,达到了预期的控制效果要求,体现了EtherCAT实时工业以太网在未来工业应用中的种种优势。

注释及参考文献:

- [1]ETG.EtherCAT_Introduction[EB/OL].<http://www.ethercat.org>,2007.
- [2]汪亚楠.工业以太网EtherCAT通信系统的研究与仿真[D].北京:北京交通大学,2011.
- [3]廖学勤.论六种实时以太网的通信协议[J].自动化仪表,2005(4):1-6.
- [4]卞极,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,2010.
- [5]王进超.基于EtherCAT协议的从站分析与实现[D].沈阳:沈阳工业大学,2013.
- [6]胡世江.基于ET1100的EtherCAT实时工业以太网从站设计[J].可编程控制器与工厂自动化,2009(11):67-70.
- [7]金鹏.抛光用直角坐标机器人控制系统设计与实现[D].成都:西华大学,2013.
- [8]ETG.EtherCAT Communication[M].ETG,2008.

Design of Control System for Cartesian Coordinate Robot Based on EtherCAT

HUANG Ke-cheng , WEN Yi-xiao
(Xihua University, Chendu, Sichuan 610039)

Abstract: For the realization of the EtherCAT technology application in the cartesian coordinate robot, this paper puts forward a kind of schema that uses the designing development board FB1111-0141 and TMS320F2812 MCU(micro controlling unit).The results show that the EtherCAT technology can achieve cartesian coordinate robot faster, more stable, more accurate position control.

Key words: EtherCAT ; cartesian coordinate robot ; TMS320F2812