

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.06.018

基于 DeviceNet 现场总线的主从站式 多轴电机控制系统研究*

吴郑思, 吴亦锋*

(福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350108)

摘要:针对控制系统中电机部分功能冗余及工业自动化流水线柔性化生产等问题,对工业机械手、包装机、浇注机等多电机协作的控制系统进行了研究,提出了一种基于 DeviceNet 现场总线的主从站式多轴电机控制系统。在控制系统中,采用 CJ 系列模块式可编程逻辑控制器(PLC),提高了系统的相对独立性、互换性和通用性,同时通过主站链接控制方式优化了系统控制,简化了主站设计、增加了系统可靠性。利用多轴电机控制系统平台以及 NB-Designer 软件仿真调试,对电机高低搭配运行的误差精度进行了重复测试。研究结果表明,在满足运行特性和精度要求的情况下,步进电机可替代伺服电机,完成不同的控制需要,这种不同电机高低搭配的系统经济性更好,在工业自动化生产中具有实际应用价值。

关键词:主从站;多轴电机控制;模块式控制器;DeviceNet 现场总线

中图分类号:TH39;TP271

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)06-0733-06

Control system for master-slave multi-axis motor based on DeviceNet field bus technology

WU Zheng-si, WU Yi-feng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Aiming at the problems of some functional redundancy of motor in control system and flexible production in industrial automation lines, and studying on the control system of multi motor coordination such as industrial manipulator, packing machine, casting machine, a control system for master-slave multi-axis motor based on DeviceNet field bus technology was put forward. Modular programmable logic controller (PLC) was used in control system to improve the relative independence, interchangeability and versatility of system. At the same time the system was controlled by master connection mode to optimize the system control, simplify the master design and increase system reliability. The multi-axis motor control system platform and NB-Designer were used to test precision errors repetitively for different motor running. The running results indicate that stepper motor can replace the servo motor to complete different control needs when it meet the operating characteristics and precision requirements. This system with different motors has better economic benefits, and it has practical application value in the production of industrial automation.

Key words: master-slave; multi-axis motor control; modular controller; DeviceNet field bus

0 引 言

在“制造 2025”的号召下,工业自动化是机械生产

的一个大趋势,电机的使用极为普遍,出于设计统一性和维修方便性考虑,在很多控制系统中选择同一品牌同种类型电机的现象较为普遍。然而在实际工业生产要求中,同一设备内由于每根轴对控制精度、额定转矩

收稿日期:2016-01-22

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2011J01300)

作者简介:吴郑思(1990-),女,福建福州人,硕士研究生,主要从事机电系统控制方面的研究. E-mail:827635813@qq.com

通信联系人:吴亦锋,男,教授,硕士生导师. E-mail:yifengwu@126.com

和动态响应等要求不一,某些轴选用步进电机就能够满足控制要求,如一些翻转和剪切动作,无需伺服电机的高精度控制,若全部采用伺服电机就容易造成功能性浪费^[1-3]。因而在越来越提倡绿色制造的当代,步进电机和伺服电机的搭配使用极具意义。由于电机配合控制的复杂性,尤其是控制多轴电机,将其分散控制有利于简化设计,在实际设计中多采用工业现场总线^[4]。CAN 总线具有抗干扰性强、安全性高、成本低和实时性好等特点,广泛应用于工业自动化、运输、医疗、通信和生活等领域中,是国际上应用最为广泛的总线之一^[5-7]。而 DeviceNet 是一种基于 CAN 总线的开放的现场总线,具有开放、廉价、高效、可靠等特点,在远程 I/O 控制、电机和变频器控制上应用广泛^[8]。DeviceNet 网络既可连接底端工业设备,又可连接可编程

操作终端这样的复杂设备,是分布式控制系统较为理想的解决方案^[9-11]。

本研究以基于 DeviceNet 主从站式多轴电机控制系统设计为例,介绍多轴电机控制方案的设计、硬件选型、硬件设计、软件设计及系统运行情况,阐述采用主从站方式控制多轴电机的设计方法和步骤,为该类系统进一步拓展优化设计提供技术参考。

1 基于 DeviceNet 多轴电机控制方案

本研究是以主从站方式分别控制步进电机和伺服电机,进而控制两轴机构完成相应的动作。整个控制平台主要由控制系统、驱动机构和执行机构组成,总体方案如图 1 所示。

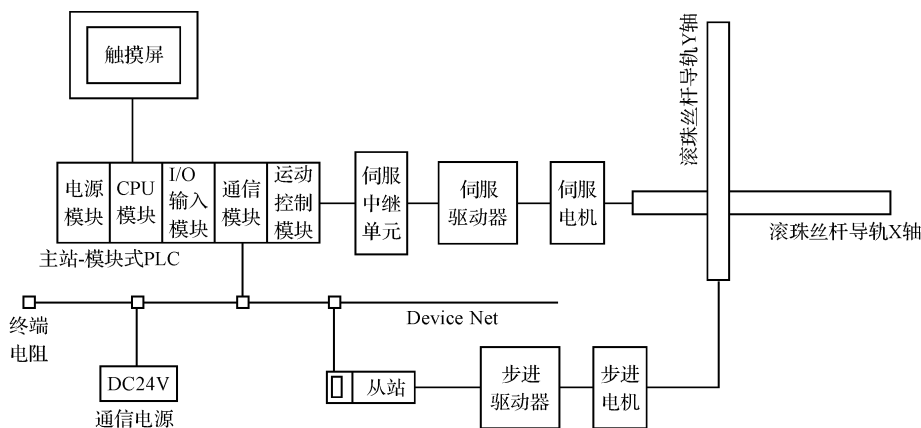


图 1 两轴电机控制平台总体方案示意图

本研究控制系统中的控制机构可根据实际需求进行调整,为了后期拓展优化的便捷性,控制系统中主站采用模块式可编程控制器。模块式 PLC 具有很好的相对独立性、互换性和通用性,可以方便地插入或移除模块进行功能拓展和简化,出现故障时也只需进行部分维修或替换,不会影响整个系统^[12]。本研究中 X 轴由伺服电机控制来完成较为复杂的运动,Y 轴由步进电机控制来完成简单的运动,因此伺服电机采用主站运动控制模块控制伺服驱动器的方式来控制,步进电机由智能从站中的晶体管远程 I/O 终端来控制。本研究驱动系统用伺服驱动器和步进驱动器各控制一个单轴,实现两种电机的高低搭配使用,拓展设计中还可根据需要搭配多轴使用。执行机构为两滚珠丝杆导轨搭建的 XY 平台。系统主、从站之间通过 DeviceNet 来完成数据交换。

2 主要设备选型

2.1 控制器选型

本研究中的主站 PLC 选用模块式可编程控制器,

所需选择模块种类较多,且可连接触摸屏。欧姆龙 PLC 是一种功能完善的紧凑型 PLC,具有功能全面的模块式可编程控制器,大程序容量和存储器单元,以及 Windows 环境下高效的软件开发能力,能满足本研究控制系统的要求^[13]。因此在本研究中主站选择欧姆龙的 CJ 系列的 CJ1G-CPU42H 作为 CPU 的模块式控制器,搭配基本 I/O 输入模块 CJ1W-ID211,搭建 DeviceNet 网络需要的通信模块 CJ1W-DRM21,以及用于控制伺服驱动器的运动控制模块 CJ1W-NC213。从站只需进行一些简单操作,主要计算由主站进行,为了提高工作效率且能输出脉冲,因此从站选择 OMRON 的 DRT2 系列智能从站中的晶体管远程 I/O 终端 DRT2-MD16。

2.2 滚珠丝杠导轨选型

考虑到需要较高精度,且可负载重载荷的滚珠丝杠导轨,因此初选 HIWIN 的 KK 型滚珠丝杠导轨。

假设工作平台所承载的物体最大质量 $m_{\max} = 35 \text{ kg}$,进给方向所能承受的载荷力 $F_x = 50 \text{ N}$ 。

由于:

$$F_z = m_{\max}g \tag{1}$$
$$F_m = KF_x + \mu(F_z + G) \tag{2}$$

则由式(1)得 $F_z = 35 \times 9.8 = 343 \text{ N}$ 。因为 KK 型导轨属于综合型导轨,根据经验式(2)得最大工作载荷 $F_m = 1.15 \times 50 + 0.18 \times 392 = 119.24 \text{ N}$,取 $K = 1.15, \mu = 0.18$ 。

由于:

$$F_Q = L_0^{\frac{1}{3}} \times f_w \times f_H \times F_m \tag{3}$$
$$L_0 = \frac{60nT}{10^6} \tag{4}$$

式中: L_0 —滚珠丝杆副的寿命; f_w —载荷系数,取 1.2 (该系统运行状态较为平稳, f_w 为 1.0 ~ 1.2); f_H —硬度系数,取 1.0 (当硬度大于 58 HRC 时,取 1.0); n —丝杆每分钟转速; T —使用寿命,对于一般机械 T 取 10 000 h。

则该系统可达到最高转速为 $n = 700 \text{ r/m}$ 。

可得滚珠丝杆副的寿命 $L_0 = 60 \times 700 \times 10\,000 / 106 = 420 \text{ h}$;

最大动载荷 $F_Q = (420)^{(1/3)} \times 1.2 \times 1.0 \times 119.24 = 1\,071.57 \text{ N}$ 。

在选择滚珠丝杆导轨时,应确保基本动额定负载 $C_a \geq F_Q$ 。因为滚珠丝杆副在运行时会长时间处于低速受载状态,其基本静额定负载 $C_{a0} \geq (2 \sim 3) F_m = 2\,143.1 \sim 3\,214.7 \text{ N}$ 。考虑到 X 轴的有效行程为 200 mm,且要留有空间安装极限开关,导轨的实际长度应大于 200 mm。根据 KK 型导轨的长度数据,应选择 KK6010 轨道长度为 300 mm 的滚珠丝杆导轨。

2.3 伺服电机选型

由于 X 轴的滚珠丝杆导轨受力较大,这里以 X 轴滚珠丝杆副在工作时的受力状态来分析。

工作物体的质量 $W = 35 \text{ kg}$,滚珠丝杆的长度 $B_l = 30 \text{ mm}$,滚珠丝杆公称外径 $B_d = 12 \text{ mm}$,丝杆导程 $B_p = 10 \text{ mm}$,机械效率 $f = 0.9$,工作台移动距离 $S = 200 \text{ mm}$ 。

由于:

$$J_C = B_w \times \left(\frac{B_p}{2\pi}\right)^2 \tag{4}$$
$$B_w = \frac{\rho\pi B_d^2 B_l}{2} \tag{5}$$
$$J_L = J_B + J_C = J_C + \frac{B_w B_d^2}{8} + \frac{WB_p^2}{4\pi^2} \tag{6}$$

由式(4~6),可得滚珠丝杆质量:

$$B_w = \frac{7.9 \times 103 \times \pi \times 0.0122 \times 0.3}{2} = 0.536 \text{ kg}$$

丝杆转动惯量:

$$J_C = 0.536 \times \left(\frac{0.01}{2\pi}\right)^2 = 1.36 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

负载惯量:

$$J_L = 1.36 \times 10^{-6} + \frac{0.536 \times 0.012^2}{8} + \frac{35 \times 0.01^2}{4\pi^2} =$$
$$0.99 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

根据计算结果选取 OMRON 的 R88M-K10030H 伺服电机,转动惯量 $J_M = 0.051 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。

负载/电机惯量比:

$$\frac{J_L}{J_M} = \frac{0.99 \times 10^{-4}}{0.051 \times 10^{-4}} = 19.4。$$

故惯量比符合 30 倍以下要求。

2.4 驱动器选型

驱动器的型号根据对应电机型号来选择,伺服电机选用 OMRON 的 R88M-K10030H 伺服电机,则伺服驱动器选择同品牌 R88D-KT01H 型号驱动器;步进电机选用 Microstep 的 17HS101 步进电机,步进驱动器选择同品牌的 SH-2H042Ma 型号驱动器。

3 控制系统硬件设计

该系统的大部分操作都可在触摸屏上进行,外部只设置急停、运行和复位 3 个按钮,此外还有 6 个光电检测开关。

I/O 分配如表 1 所示。

表 1 I/O 输入分配表

输入电器	输入点
急停按钮 SB0	0.00
运行按钮 SB1	0.01
复位按钮 SB2	0.02
X 轴前限位光电感应开关 SQ1	2 004.03
X 轴后限位光电感应开关 SQ2	2 004.04
X 轴原点光电感应开关 SQ3	2 004.06
Y 轴前限位光电感应开关 SQ4	3 300.04
Y 轴后限位光电感应开关 SQ5	3 300.05
Y 轴原点光电感应开关 SQ6	3 300.06

主站电气原理图如图 2 所示。

主站可编程控制器包括电源模块、CPU 模块、I/O 输入模块、通信模块 DRM21 和运动控制模块 NC213。OMRON 运动控制模块和伺服驱动器之间需要连接伺服中继单元,使用电缆 XW2Z-100J-A15 连接运动控制模块和中继单元,再用电线 XW2Z-100J-B25 连接中继单元和伺服驱动器。根据图 2 中所示连接中继单元和伺服电机。

从站的硬件连接主要是连接步进驱动器和步进电机以及 3 个限位开关的连接,将远程 I/O 端口和步进

择开关旋转至 00 位置,此时,位置控制器的单元号将被设置为 0,则公共参数区的起始字:

$$\begin{aligned} m &= D20\ 000 + 100 \times \text{单元号} \\ &= D20\ 000 + 100 \times 0 = D20\ 000 \end{aligned}$$

操作存储器区域的起始字:

$$n = 2\ 000 + 10 \times \text{单元号} = 2\ 000 + 100 \times 0 = 2\ 000$$

即公共参数区的起始字 m 为 PLC 内部数据存储区的 D20 000,操作存储器区域的起始字 n 为 CIO 区的 CIO2 000。

因为数据传送区的起始字是由操作数据区的字 I+1 与 I+2 确定,将操作数据区的起始字设置为 D00100,所以数据传送区的起始字由 D00101 与 D00102 来设置。将 D00101 设置为 000D 表示数据传送区将会设置在数据存储区(DM 区)。将 D00102 设置为 0258,这里的 0258 为十六进制数,将其转换为十进制数为 600。所以数据传送区的起始字为数据存储区的 D00600。

4.3 DeviceNet 网络搭建

工业网络控制多采用主从站方式,尤其是用于大型流水线控制中。采用主从站控制具有从站独立控制,各从站控制系统作为独立控制系统互不影响;主站或网络故障时能保证系统仍保有基本操作功能,主站或网络故障时,控制系统不至于瘫痪;简化主站程序设计,可将一些操作在从站中进行;故障排除方便,当个别设备出现故障时,无需整个系统进行停机等优点。

本研究主站采用 OMRON 的 CJ 系列控制器,从站采用 OMRON 的 DRT2 系列智能从站中的晶体管远程 I/O 终端 DRT2-MD16,主站通过 DRM21 模块搭建通信,使用 RS485 连接,通过 OMRON 的 CX-Integrator 软件完成主从站的网络配置。

操作人员先打开 CX-Programmer 梯形图软件,新建一个文件,选择主站 PLC 设备类型“CJ1G-H”,进入程序编写界面,双击左侧的“IO 表和单元设置”,在弹出的窗口中选择“主机架”,并在主机架的下方空槽中依次添加单元 CJ1W-ID211、CJ1W-DRM21、CJ1W-NC213,选择单元号 0~15,需与 DRM21 模块上设置的单元号一致)。

然后打开 CX-Integrator 软件,在菜单中单击“插入”,选择“网络”,在弹出的窗口中选择 DeviceNet,然后点击工具栏中的“插入组件”图标,依次插入 DRM21、DRT2-MD16,完成 DeviceNet 网络搭建。

双击 DeviceNet 网络中的 CJ1W-DRM21,在弹出的对话框中可以设置 I/O 地址的分配空间、从站的输入输出其实地址等,本研究设置 DRT2-MD16 输入起始

地址为 3 300 通道,输出起始地址为 3 200 通道。

5 实验及结果分析

配置完成后,本研究将参数配置、I/O 分配等传输到 PLC,X 轴完成指定距离的间歇运动,Y 轴完成简单的来回运动。将编写完的 PLC 程序和触摸屏程序分别传输,然后连接 PLC 和触摸屏。

运行要求,初始位置行至原点,X 轴每次移动位移为 2 mm,误差精度为 $\pm 0.5\ \mu\text{m}$,间歇 3 s,连续 15 次后返回。Y 轴每次移动位移为 35 mm,误差精度为 $\pm 0.05\ \text{mm}$ 。

操作人员设定完运行参数后按下“写数据”按钮,将设定的参数写入程序。系统开始运行前,若执行机构处于原位,则原位指示灯亮,否则需按下“回原位”按钮,X 轴 Y 轴按照程序流程图所示运行,到达原位后停止,原位指示灯亮。此时按下“运行”按钮,系统开始运行,工作指示灯开始闪烁,原位指示灯熄灭。此外还设置了单动运行模式以便系统的调试和维修。

本研究选用 17HS101 步进电机所配驱动器最大分频数 40 细分,对应实际步距角为 0.045° ,误差精度最小可达 $\pm 0.625\ \mu\text{m}$,能达到 Y 轴精度要求。Y 轴步进电机运行重复运行 35 mm 误差精度。

电机运行结果如图 4(a)所示,连续多次运行 35 mm 累计误差结果如图 4(b)所示。

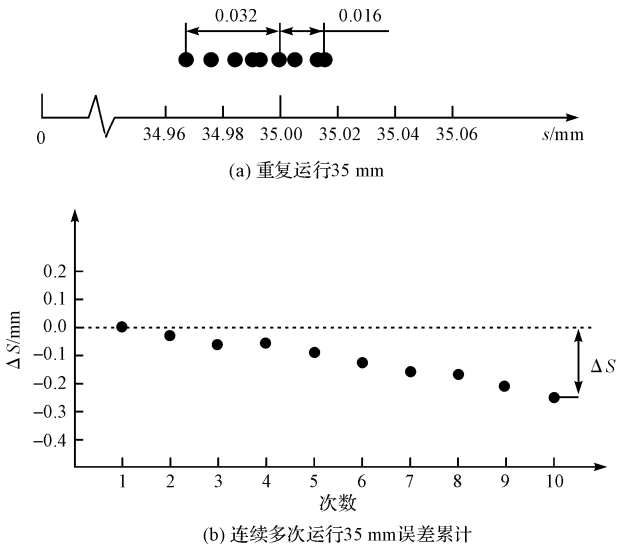


图4 步进电机运行结果图

如图 4(a)所示,最大上偏差 +0.016 mm,最大下偏差 -0.032 mm,满足 Y 轴精度要求。如图 4(b)所示,最大累计误差 $\Delta S = 0.25\ \text{mm}$,平均每次累计误差 $\Delta S_i = 0.025\ \text{mm}$,满足 Y 轴精度要求。

重复(b)实验,得到结果如表 2 所示。

表 2 实验(b)结果统计表

实验总次数	5	10	30	50
平均累计误差(mm)	0.24	0.27	0.26	0.26
平均每次误差(mm)	0.024	0.027	0.026	0.026

由此可见,在满足运行特性和精度要求的情况下,完全可以使用步进电机替代伺服电机使用,成本大为降低。

6 结束语

本研究介绍的基于 DeviceNet 现场总线的主从站式多轴电机控制系统设计简单,搭建方便,操作灵活;在实际工业生产中,在某些轴动作简单和精度要求能达到的情况下,采用步进电机替代伺服电机完全可行。且在本设计中选用模块式 PLC 具有很好的相对独立性、互换性和通用性;DeviceNet 现场总线控制能实时完成主、从站各设备之间的数据交换,有效控制生产流程,使整个控制过程更高效、稳定,有助于提高生产效率。

此外,该系统还可按照控制的需要进一步扩展和细化,根据实际需求增加电机和从站的数量和类型,具有较好的实用性。

参考文献(References):

[1] 孟国军,叶伯生,田茂胜. 工业机器人浇铸控制系统的设计与应用[J]. 微型机与应用,2011,30(6):95-98.
[2] 龚发云,朱小芹. 基于 PLC 的三伺服枕式包装机控制系

统的设计[J]. 湖北工业大学学报,2011,26(4):51-53.
[3] 马彩云,李振华,胡佳文. 基于 PLC 的大型螺杆抛光机控制系统研究[J]. 机电工程,2014,31(5):612-615.
[4] 吴剑英,吴亦锋,余尤好. PLC 网络技术在排涝站控制中的应用[J]. 机电工程,2010,27(1):34-37.
[5] 吴 剑. CAN 总线在机械制造中的应用[J]. 中国机械,2015(1):166-167.
[6] Xiao L L, Xiao ming L I, Yi feng H U. Design of multi-axis motion synchronization control system based on CAN bus [J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2009,26(11):9-12,57.
[7] 黄 汉. CAN 总线应用基础设计[J]. 武昌理工学院学报,2015(1):127-128.
[8] 胡艳萍,何 斌,谢 梦. DeviceNet 配置监控系统[J]. 计算机系统应用,2015,24(8):65-72.
[9] 王顺菊,武昌俊,薛盛智. 基于 DeviceNet 现场总线的 PLC 双轨小车控制系统[J]. 制造技术与机床,2013(11):73-75.
[10] 黄淑琴. 基于 PLC 的自动封塑灌装机控制系统设计[J]. 轻工机械,2014,32(3):63-65.
[11] 杨红亮,徐国宝,马金凤,等. 基于 PLC 控制的软袋落桶机的研发[J]. 包装与食品机械,2015(6):47-50.
[12] 蔡燕华. 分析模块化设计方法及其在机械设计中的应用[J]. 科技传播,2014,6(4):154,160.
[13] 戴一平. 可编程控制器技术及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

[编辑:张 豪]

本文引用格式: