

基于 DSP 的光电编码器自动检测系统

孙树红^{1,2,3}, 梁立辉¹, 万秋华¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 总装备部沈阳军事代表局驻长春地区军事代表室, 吉林 长春 130033)

摘要: 传统的光电编码器的精度检测利用平行光管和多面体, 其缺点是检测时间长, 需要有经验的师傅; 编码器误码检测则通过旋转编码器, 使二进制灯排逐次进位, 同样监测效率低, 且容易错判。文中设计了一套光电编码器自动检测系统, 基准编码器、电机和被检编码器同轴连接, 其中 24 位基准编码器作为精度检测基准和位置反馈元件构成闭环系统, 以 DSP 为核心的控制器控制自动检测系统工作在两种模式下, 精度检测工作在位置模式下, 错码检测工作在速度模式下, 可以检测精度的同时对错码进行判别。采用该系统对两台 14 位编码器进行检测, 实验结果表明精度检测数据与采用平行光管精度检测数据一致。该系统可提高检测效率, 缩短编码器设计周期, 可以推广到其他型号编码器调试与检测中。

关键词: 探测器; 控制; 编码器; 检测

中图分类号: TP212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)09-2536-04

Automatic detection system for photoelectrical encoder based on DSP

Sun Shuhong^{1,2,3}, Liang Lihui¹, Wan Qiuhua¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Military Representative Office Stationed in Changchun Area by Shenyang Military Representative Bureau, General Armament Department, Changchun 130033, China)

Abstract: Traditional method is using a collimator and polyhedron for encoder accuracy detection with shortcomings of low efficiency, which requires experienced master. Encoder error detection adopts binary light bars, when rotated encoder forward, the light bars will carry normal. However, this method is inefficient, and also resulting in an error of judgment. The automatic detection system for photoelectrical encoder was designed. Motor fiducial encoder and certified encoder were coaxial. As position and speed feedback, fiducial encoder's resolving was 0.077". DSP was the control core, automatic detection system was working in speed and position mode. Precision demarcating was in position mode while error checking was in speed mode. The automatic detection system was used to detect two 14 Bits encoders, comparing with collimator detection system, experimental results show that the system works effectively and properly. The accuracy detection and error code checking can be performed simultaneously, improved

收稿日期: 2013-01-03; 修订日期: 2013-02-03

基金项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿项目

作者简介: 孙树红(1980-), 女, 工程师, 主要从事编码器质量监督与项目管理方面的研究。Email: voiceof@sohu.com

导师简介: 万秋华(1962-), 女, 研究员, 博士生导师, 主要从事光电位移转换技术方面的研究。Email: wanqh@ciomp.ac.cn

the detection efficiency and shorten the design cycle of the encoder. Other models encoder debugging and testing can be extended.

Key words: detectors; DSP; encoder; control

0 引言

光电轴角编码器^[1]是集光学、机械和电子学处理为一体的高精度角度传感器,以计量圆光栅为计量元件,经过光电变换、信号处理得到旋转角度。编码器在各种光电测控设备中应用广泛,是关键件,其性能很重要。传统的光电编码器精度检测是通过平行光管和多面体,需要有经验的师傅,耗时时间长,而误码检测是通过二进制灯排,需要正向慢转使灯逐个进位,检测效率低,尤其是某点超校正或码盘有小污点时,灯排进位错码仅仅闪一次,很容易导致错误判断,认为编码器进位正确,因此有必要研究编码器精度检测方法和错码检测方法,提高检测效率和检测的准确率。赵长海等分析了编码器的误码检测的原理^[2];佟丽翠等开发了基于 Labview 的自动检测软件,通信采用串口通信^[3];赵柱等设计了基于运动板卡的编码器检测系统^[4]。文中开发了基于 TMS320F28335 的编码器自动检测系统,同时开发了基于 VC 的上位机检测软件,检测系统可以自动生成精度检测 EXCEL 报表,并通过分析编码器速度信息可以判定编码器是否错码。该系统集参数设定、精度检测曲线绘制、精度数据保存、错码分析、数据读取与显示等功能于一体,大大提高了精度检测效率和错码检测准确率,同时缩短了编码器开发周期,降低了开发难度。

1 编码器自动检测系统组成

光电编码器自动检测系统中,基准编码器、电机和被检编码器同轴连接,其中 24 位基准编码器作为精度检测基准和位置反馈元件构成闭环系统,以 DSP 为核心的控制器控制电机工作在速度模式或位置模式下,同时采集基准编码器、被测编码器角度信息和速度信息,通过 USB 接口传输到 PC 机,上位机软件绘图可得到基准编码器和被检编码器的速度曲线、位置曲线。光电编码器自动检测系统示意图如图 1 所示。

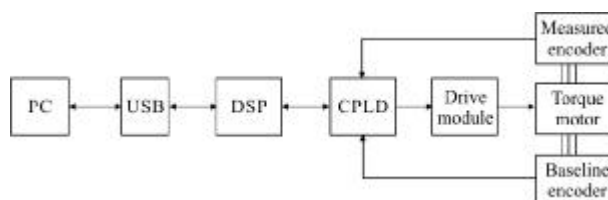


图 1 自动检测系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of automatic detection system

编码器检测系统设计时保证可以检测精码最低位是否错码,即电机的选择要保证编码器的二进制灯排可以逐次进位,则要求驱动电机可以保持低的转速、力矩波动小、输出转矩大,因此选择直流力矩电机 J130LYX04C,它除了有转速低和力矩波动小等优点外,无需减速环节而直接驱动负载,搭建的编码器检测系统避免减速器齿轮间隙对检测系统的不良影响,且能在长期堵转或低速运行情况下产生足够的转矩。其参数如表 1 所示。

表 1 J130LYX04C 参数列表

Tab.1 Parameter list of J130LYX04C

No.	Name	Parameter
1	Voltage	20 V \pm 12.5%
2	Peak stall	Current 11.7 A
3	Torque	10.5 Nm
4	Voltage	9 V \pm 12.5%
5	Continuous stall	Current 2.8 A
6	Torque	4.25 Nm
7	Maximum load speed	180 r/min
8	Armature resistance	2.87 Ω
9	Armature inductance	2 mH
10	Moment of inertia	0.005 8 kg \cdot m ²

检测系统的核心处理器采用 TMS320F28335,是 32 位浮点 DSP,浮点运算通过硬件单指令周期就可完成,而且系统时钟 150 MHz,指令周期时间达 6.67 ns,此外该款 DSP 还拥有大容量的存储单元,具有丰富的输入输出设备如 QEP 模块、CAP 模块、XINTF 模

块、UART 模块、PWM 模块和事件管理模块,以它作为主控制器单元,电路结构简单,只需辅以较少的外围硬件电路,就可以组成控制回路,简化了硬件电路设计,大大提高了控制系统的整体可靠性。自动检测系统采用半控 H 桥功率放大电路驱动力矩电机,可以在单电源供电时实现电机的正反转,控制策略^[5-9]选用二阶滞后超前控制,并采用分段控制策略,滞后-超前校正适用于对校正后系统的动态和静态性能有更多更高要求的场合。先施加滞后,再施加超前校正环节,主要是利用其超前部分增大检测系统的相位裕度,以改善系统的稳定性;利用其滞后部分改善检测系统的静态性能。

DSP 与 PC 机的通信选择 USB,USB 接口芯片选用 CYC68013,实现了在 USB 设备和主机之间大量数据的高速传输,从而充分利用了 USB2.0 的传输带宽,解决了串口通信波特率设置不能大于 115 200 的瓶颈。

2 自动检测系统软件

检测系统工作在两种模式下:速度模式和位置模式。精度检测工作在位置模式下,其原理简单根据上位机发送的精度检测指令,将基准编码器和被检编码器角度作差即得到被检编码器的精度。错码检测工作在速度模式下,根据编码器转动时,速度不能突变的道理,分析速度曲线可以判定编码器是否错码。检测系统动态结构图如图 2 所示。

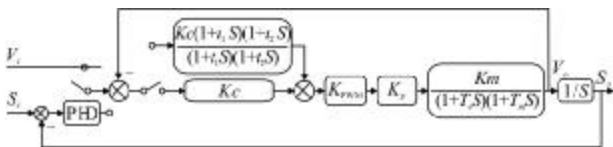


图 2 双模式系统动态结构图
Fig.2 Dynamic structure of dual-mode system

对于错码检测^[2],根据编码器速度不能突变的原理,检测系统正向匀速转动,被检编码器应得到平滑正向速度曲线,反之得到平滑反向速度曲线。被检编码器与基准编码器速度曲线比较,根据经验,速度曲线有以下几种情况:

- (1) 速度曲线平滑,测速正确,可以判定编码器完好。
- (2) 速度曲线平滑,测速不正确,可以判定编码

器通信故障。

(3) 速度曲线不平滑,跳点很多,可以判定为编码器错周期。

(4) 速度曲线不平滑,跳点有几处,可以判定为编码器轴卡滞或编码器码盘有污点。

上位机软件主要包括两部分:USB2.0 接口芯片 CYC68013 的驱动与开发和编码器检测系统,检测软件采用 VC 编写,EZ-USB FX2 系列的 USB 芯片是 Cypress 公司生产的,公司提供 Firmware 库和 Firmware 框架,采用 C 语言开发,驱动开发和固件设计时调用头文件和库函数就可以实现,速度曲线都采用两幅图像显示,采用乒乓操作,每幅图像显示 300 个点。

3 实验结果

基准编码器为 24 位编码器,分辨率 0.077",测角精度 1",基准编码器与被检编码器同轴联结。被检编码器选用两台外径 $\phi 40$ 的 14 位光电轴角编码器做试验,精度技术指标 $-60^{\circ} \leq \sigma \leq 60^{\circ}$,每隔 30° 测量一点,共测量 12 个点。依据贝塞耳公式计算误差 σ ,采用 21 面体和 21 平行光管每小时可以检测 2 台,采用自动检测装置后每小时可以检测 10 台以上,检测效率大大提高,图 3 和图 4 是两台编码器的精度检测对

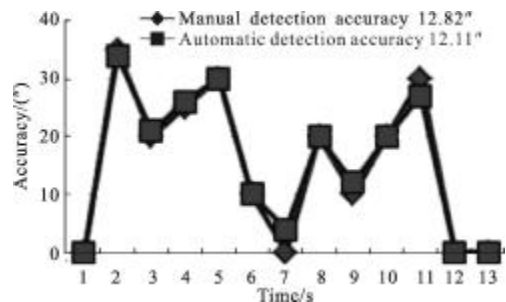


图 3 1 号编码器检测精度对比

Fig.3 1# encoder contrast curve of detection accuracy

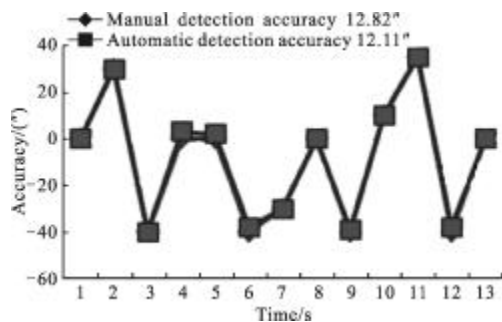


图 4 2 号编码器检测精度对比

Fig.4 2# encoder contrast curve of detection accuracy

比图。自动检测精度与光管检测精度稍有不同,这是因为自动检测平台此时工作在位置模式下,与平台的定位精度有关,还与编码器的安装有关,自动检测系统精度满足 $-60'' \leq \sigma \leq 60''$,可以证明搭建的自动检测系统可行。

做试验的两台14位编码器通信接口为串口通信,由于本检测系统的基准编码器和被检编码器通信接口与CPLD的IO相连,还可以推广检测以下接口的编码器:(1)串行通信绝对式光电编码器;(2)并行通信绝对式光电编码器;(3)SSI接口绝对式光电编码器;(4)其他自定义接口绝对式光电编码器。

可见检测系统使用广泛,可以检测目前常见的编码器。

错码检测自动检测系统工作在速度模式,编码器旋转速度为 $60 (^{\circ})/s$,1号被检编码器速度曲线采集如图5所示。

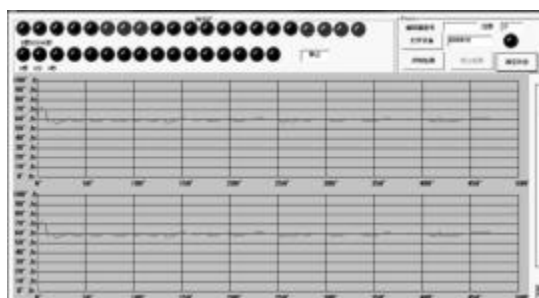


图5 1号编码器速度曲线

Fig.5 Speed curve for 1# encoder

分析可知速度曲线无跳点,可以判定编码器完好。

4 结论

文中设计的编码器自动检测系统可以自动检测编码器的精度,生成EXCEL精度报表,同时还可以对编码器的误码进行检测和分析,大大提高了编码器的检测效率和检测准确率,缩短了编码器设计周期,可以推广到其他型号编码器调试与检测中。

参考文献:

[1] Lu Xinran, Wan Qiuhua, Du Yingcai, et al. Design of satellite mounting high precision minitype multi-turn absolute photoelectric encoder[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(9): 848-852. (in Chinese)
卢新然, 万秋华, 杜颖财, 等. 星载高精度小型多圈绝对式编码器设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(9): 848-852.

[2] Zhao Changhai, Wan Qiuhua, Sun Ying, et al. Code error

detection system for photoelectric shaft encoder [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2012, 26 (5): 463-467. (in Chinese)

赵长海, 万秋华, 孙莹, 等. 光电轴角编码器的误码检测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(5): 463-467.

- [3] Tong Licui, Li Chenyang, Zhao Zhu, et al. Virtual instrument design of encoder automatically detection process [J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(2): 31-34. (in Chinese)
佟丽翠, 李晨阳, 赵柱, 等. 编码器自动检测过程的虚拟仪器化设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010(2): 31-34.
- [4] Zhao Zhu, Xu Zhijun, Wang Xianjun, et al. An automatic detection system of encoder error based on motion control technology [J]. Chinese Journal Optics and Applied optics, 2009, 2(2): 134-138. (in Chinese)
赵柱, 续志军, 王显军, 等. 基于运动控制技术的编码器自动检测系统[J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2(2): 134-138.
- [5] Ma Jianguang, Tang Tao. Review of compound axis servomechanism tracking control technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(1): 218-227. (in Chinese)
马佳光, 唐涛. 复合轴精密跟踪技术的应用与发展 [J]. 红外与激光工程, 2013, 42(1): 218-227.
- [6] Li Bangjun, Wang Luqiang, Luo Mianwei, et al. Design of the control system of the optical scanner based on TMS320F2812 [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(9): 2386-2389. (in Chinese)
李邦军, 王路强, 罗绵卫, 等. 基于TMS320F2812的光学扫描控制系统设计 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(9): 2386-2389.
- [7] Huang Haibo, Zuo Tao, Chen Jing, et al. Optimum design of servo bandwidth for fine tracking subsystem in compound-axis system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(6): 1561-1565. (in Chinese)
黄海波, 左韬, 陈晶, 等. 复合轴精跟踪系统伺服带宽的优化设计[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(6): 1561-1565.
- [8] Xiong Xiaogang, Chen Sihai, Wu Xin, et al. Linear control of laser scanner driven by voice coil motor[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(2): 375-378. (in Chinese)
熊小刚, 陈四海, 吴鑫, 等. 音圈电机激光扫描器的线性扫描控制[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(2): 375-378.
- [9] Zhang Zhiyong, Zhou Xiaoyao, Fan Dapeng, et al. Design and analysis of control system for seeker servo mechanism [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(2): 494-499 (in Chinese)
张智永, 周晓尧, 范大鹏, 等. 导引头伺服机构的控制系统分析与设计[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(2): 494-499.