

文章编号: 2095-4980(2016)02-0306-05

基于 TwinCAT 的数字伺服控制系统设计

牛宝良¹, 董 亨²

(1.中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621999; 2.绵阳睿控电子有限公司, 四川 绵阳 621000)

摘 要: 为研制高频响、可记录数字伺服控制系统, 以倍福的微型工控机和 AD, DA 模块为主要硬件, 以 TwinCAT 为实时操作系统, 以倍福的可编程控制器(PLC)为数字伺服控制编程语言, 基于 C#开发数字伺服控制系统界面。所设计的双路伺服控制系统具有良好的实时性、稳定性, 数据更新周期为 50 μ s, 输入输出延迟为 150 μ s, 可不丢点记录各通道数据。内含扫频信号源, 波形包括方波、三角波、正弦波, 也可以用来测试系统频响。基于 TwinCAT 开发的数字伺服控制系统频响高, 工作稳定, 可用于各类液压伺服控制系统, 也可用于系统特性测试。

关键词: 伺服控制; 实时控制; 液压振动台; TwinCAT 软件

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201602.0306

Design of digital servo control system based on TwinCAT

NIU Baoliang¹, DONG Heng²

(1. Institute of Systems Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China;

2. ADRK(Mianyang) Core Control Electronics Co., LTD, Mianyang Sichuan 621000, China)

Abstract: A digital servo control system with high frequency response and data record is proposed by using Beckhoff Company Industry Computer, AD module and DA module as main hardware, TwinCAT(The Windows Control and Automation Technology) as real-time operation system. The PID control program is based on TwinCAT Programmable Logic Controller(PLC) and the control interface and data record program are based on C# language. The designed servo control system works steadily with 50 μ s data update period, 150 μ s delay between output and input and can record data without data losing. It has sweep-frequency signals source with square, triangle, sine wave optional and can be used in system frequency characteristic test. Experimental results show that the designed control system based on TwinCAT has high frequency response and high stability which can be used in servo control systems and frequency characteristic test.

Key words: servo control system; real-time control; Hydraulic shaker; TwinCAT

数字伺服控制系统由于其显著的灵活性得到越来越广泛的应用, 液压振动台是一种比较先进的试验设备, 其控制系统也由模拟控制转向数字伺服控制, 但液压振动台相对其他伺服控制一个显著的特点是工作频带宽, 要求上限频率 200 Hz, 有些甚至 500 Hz 或者更高。这就要求实时控制系统的数据刷新频率高, 以最低 10 倍考虑, 数据刷新频率应在 5 000 Hz 以上。

文献[1-2]介绍了常用的实时操作系统, 如 QNX 和 VxWorks。VxWorks 的主从开发模式以及需要后台监控管理软件的上下位机运行模式, 具有开发周期长, 成本较高的缺点。IntervalZero 公司(原 Ardence 公司)的 RTX(Real-Time Extension for Windows)在不改变 Windows 内核的前提下, 提供一个附加的实时内核模块, 与 Windows 内核一起工作, 进行实时任务的调度与执行, 具有开发效率高, 实时性强等优点^[3]。近年来, LabVIEW RT 系统通过在普通的 LabVIEW 开发环境中增加的实时(RealTime, RT)模块, 也能构建实时系统, 应用也比较广泛, 功能强大, 在实时仿真测试系统成功应用^[4]。德国倍福(Beckhoff)公司的 TwinCAT 软件主要由 TwinCAT RealTime, TwinCAT System Manager, TwinCAT PLC 和 TwinCAT NC 这 4 部分组成, 在惯性约束核聚变的光学组件控制上成功应用^[5], 在电力系统^[6]和生产过程控制^[7]也都有广泛应用。TwinCAT RealTime 是提供一个附加的实时内核模块, 它与 Windows 同时运行在一台 PC 上, 既有非常好的实时性保证, 又能毫无障碍地运行 Windows 及其上面的各

收稿日期: 2014-11-21; 修回日期: 2015-03-09

种应用程序,给使用带来很大方便。TwinCAT 也是集成的实时控制系统开发调试平台,可以用高级语言和梯形图等多种语言编写程序。倍福公司还提供品种相当多的测量模块,自成体系的软硬件,给客户提供了兼容性非常好的系统构成元件。用户只需编写控制算法,简单设置板上输入输出变量与程序中变量的关联关系,无需考虑其他的关于板卡驱动、实时系统内部的管理调用,给实时伺服控制系统的开发带来极大便利。

本文介绍基于倍福公司 TwinCAT 实时内核和倍福硬件的伺服系统开发,所开发的数字伺服控制系统实现了高达 20 kHz 伺服控制数据更新频率,经实际连台使用,效果良好,除具备一般伺服控制器的功能外,还具备数据记录功能,为查找问题提供了便利;具备扫频信号源,结合数据记录功能,为系统特性测量提供了便利,文中给出了利用该系统辨识伺服阀频率特性的例子。

1 系统工作原理及技术指标

本伺服控制系统,以液压振动台为应用目标,同时希望设计成相对通用的数字伺服控制器。液压振动台的原理框图见图 1,包括 2 个控制环路:阀位移闭环控制、台位移闭环控制。方框中的部分为数字伺服控制器,是本文所要讨论的部分。台位移给定信号(ref0),来自振动控制器的输出,通过 AD 通道进入到伺服控制计算机,也可以来自伺服控制计算机内部程序。本系统设计了扫频信号源,波形包括方波、三角波和正弦,为系统调试、特性测量创造了条件。台位移反馈信号(fb0),来自位移传感器,通过 AD 通道进入到伺服控制计算机。阀位移给定信号(ref1),来自台位移控制器的输出。阀位移反馈信号(fb1)来自阀位移传感器,通过 AD 通道进入到伺服控制计算机。阀驱动信号(drv1)通过 DA 通道输出到功率放大器。

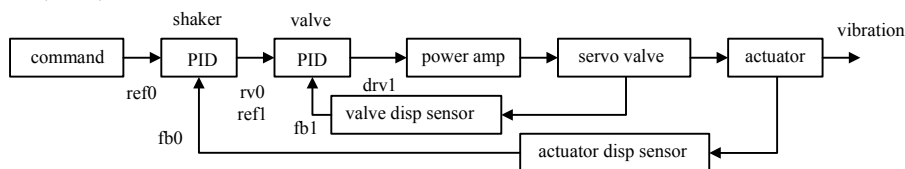


Fig.1 Block diagram of electric-hydraulic shaker servo control system
图 1 液压振动台伺服控制系统原理框图

从扩展用途的角度考虑,也希望它能由它构建双路独立伺服控制,因此按 2 路独立比例-积分-微分(Proportion-Integral-Differential, PID)伺服控制来构建整个系统。技术指标: a) 数据更新周期为 50 μ s; b) 输出通道: 2,16 位 DA, 输出电压: ± 10 V; c) 输入通道: 6,16 位 AD, 输入电压: ± 10 V; d) 工作频带: 0~1 000 Hz。功能要求: a) 可在线调整 PID 参数,且调整参数时不能引起被控对象的响应跳变; b) 可在线调整指令信号的波形,波形类型: 正弦、三角波、方波; c) 具有超限缓慢回中功能; d) 具有 8 通道数据波形实时显示功能; e) 不丢点保存 8 通道数据; f) 数据波形回放功能。

2 硬件组成

2.1 硬件总体构成

整个控制系统的硬件构成见图 2,包括计算机、总线耦合器、AD 模块、DA 模块、终端模块、电源、机箱、显示器。显示器是独立的,其他的集成到机箱里,机箱上有显示器 DVI 接口、USB 接口、模拟量用的 8 通道卡扣配合型连接器(Bayonet Nut Connector, BNC)接口。

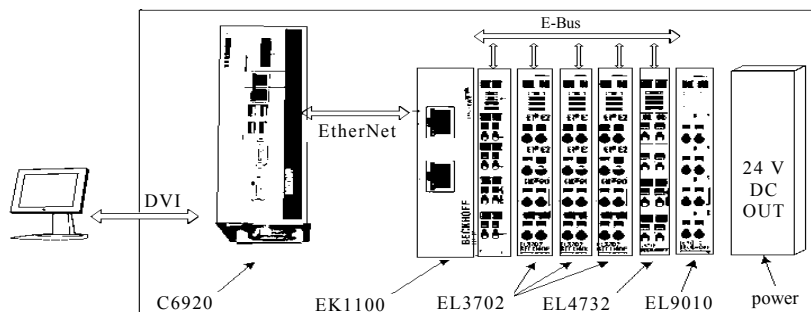


Fig.2 Hardware composition of digital servo controller
图 2 数字伺服控制系统硬件构成

2.2 计算机

倍福的 TwinCAT 可运行在 Windows/Intel 平台上,选用台式机、小型机都可以。为构建一个紧凑型的控制器,选用了倍福的 C6920 工业计算机。主要配置如下:CPU 为 Core 2 双核;存储容量为 80 GB;内存容量为 2 GB RAM;通信接口为 10/100 Mbit/s。

2.3 模拟量输入模块

选用倍福公司的 EL3702, 主要指标如下: 通道数为 2; 量程为 ± 10 V 单端电压信号; 最大采样率为 100 kSps; 分辨力为 16 bit。

2.4 模拟量输出模块

选用倍福公司的 EL4732, 主要指标如下: 通道数为 2; 量程为 ± 10 V 单端电压信号; 最大采样率为 100 kSps; 分辨力为 16 bit; 输出阻抗为 5 k Ω 。

3 软件设计

软件由 3 部分组成:

1) 核心的实时操作系统是倍福公司的 TwinCAT, 它能确保系统的实时性, 其他的软件都是在更低的优先级上运行, 不影响实时性。TwinCAT 其实包括几个模块, 这里只用到 PLC。传统的 PLC 基本上是逻辑量的控制, 而在这里可以把逻辑量、模拟量一起处理, 更主要的是它充分利用了计算机硬件的强大功能, 处理速度非常快, 最短的周期是 50 μ s, 实测模拟量采集进来再输出延迟约 150 μ s。

2) PID 算法以及辅助功能。参考信号(ref0)和反馈信号(fb0,fb1)通过 AD 进来, 先换算为 ± 10 V, 必要时进行误差补偿, 添加偏置, 然后进行 PID 运算, I(积分)和 D(微分)分别有饱和限幅。PID 运算结果再加上抖动信号(液压振动台专用, 其他伺服控制可不用), 输出饱和处理, 然后送到 DA 信号。这些在 TwinCAT 开发环境下, 用语句编程(它有指令、语句、功能块、梯形图等多种编程方式)^[8]完成。辅助功能包括扫频信号发生、波形类型选择、扫频速率设置、位移超限缓慢回中等相关功能。

3) 界面设计和数据传递、数据显示、数据采集、数据存储、数据回显。对下位内核变量进行连接前, 需在上位软件定义相应变量, 且与下位机上定义类型、字节长度一致。需要注意的是, 倍福下位内核程序中 int 类型为 16 bit, 2 字节, 而上位平台通常 int 类型为 32 bit, 4 字节。要实现上位高级语言与 PLC 端实时内核程序通信, 使用倍福提供 ADS(Automation Device Specification)类将非常方便。引用并实例化 adsClient 后, 连接 801 端口, 即可对内核程序定义的变量进行连接、读写访问操作。由于通过 ADS 通信上下位软件平台建立变量连接后, 上位机对下位内核变量的访问变得和同一上位平台变量操作一样便捷, 对参数的传递、设置, 数据的读写操作都能更方便地通过人机交互界面完成。最终的界面见图 3。这部分是基于 C#语言设计。

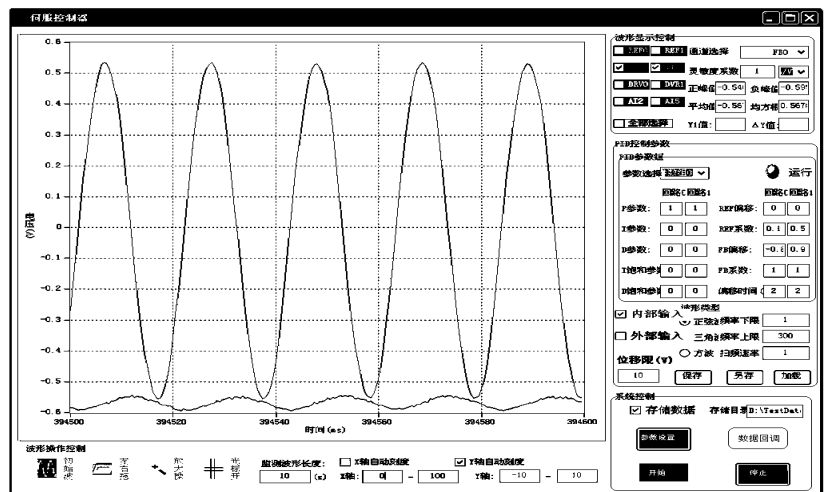


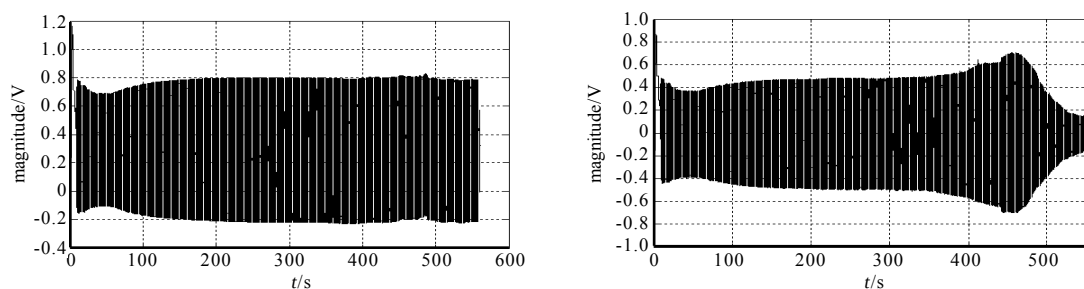
Fig.3 Interface of servo controller

图 3 伺服控制器界面

4 应用

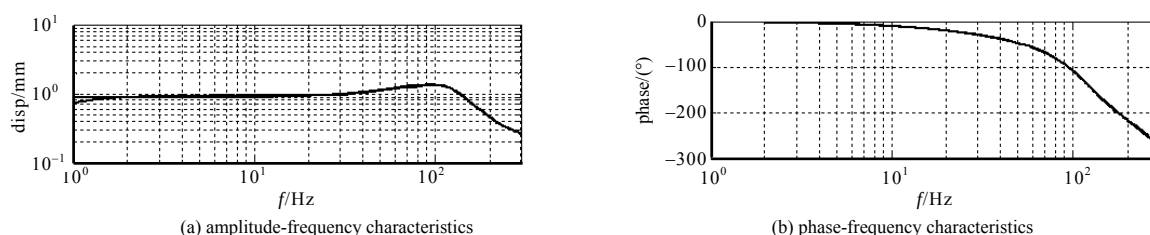
把伺服控制器与液压振动台连接, 进行简单的参数设置, 就可实现良好的伺服闭环控制。利用本控制器自带的扫频及数据存储功能, 对某 10t 液压振动台进行扫频试验。获得了 1 Hz~300 Hz 台位移、阀位移扫频数据。扫频试验获得的阀位移时域数据见图 4。由于数据在 x 轴上的压缩, 看不到正弦波形, 而是所有波形的峰值包络。经过对阀参考数据(ref1)和阀位移数据的处理, 得到了阀位移的频率特性。辨识的传递函数(幅频曲线、相频曲线)见图 5。

在界面上可以观察到 CPU 资源利用情况。本程序运行过程中, CPU 利用率在 30%左右, 运算量再加大一倍系统也是完全可以承受的, 足见程序的效率比较高。Matlab 程序对 CPU、内存的利用率很高, 在伺服控制程序运行时, 同时运行 Matlab 的 simulink, 未对实时控制产生任何不良影响, 可见 TwinCAT 实时核是非常稳定的。



(a) command signal of valve (b) feedback signal of valve
Fig.4 Measured time history signals of valve refer and valve feedback

图4 实测的时间历程信号



(a) amplitude-frequency characteristics (b) phase-frequency characteristics

Fig.5 Transfer function of servo valve

图5 伺服阀传递函数

5 结论

本文介绍了基于 TwinCAT 的数字伺服控制系统设计, 试验证明系统工作稳定可靠, 频带宽, 各种参数实时调整, 系统响应不出现跳变, 完全胜任工作频率高的液压振动台, 对于低频的控制系统更是不成问题。集成了扫频信号源、数据记录功能, 为系统问题诊断、特性测试提供便利。TwinCAT 强大的实时功能、方便的开发环境, 为数字伺服控制系统的开发提供了很大的便利, 加快了系统的开发速度。领域工程师不必再费力进行实时操作系统相关的编程、设置等, 只需编写需要控制的这些量的运算程序。TwinCAT 以往多用于逻辑量控制, 本文基于 TwinCAT 开发出采样间隔 $50\ \mu\text{s}$ 高频率的数字伺服控制系统, 对于相关领域数字伺服控制开发具有参考意义。

参考文献:

- [1] 何诗英,傅鹏,杨亚龙. 基于 QNX 的 EAST 极向场电源现场层实时控制的设计与实现[J]. 化工自动化及仪表, 2012, 39(1):44-47. (HE Shiyang,FU Peng,YANG Yalong. QNX-based real-time control system design for EAST PF power supply site equipments[J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2012,39(1):44-47.)
- [2] 扬州军,庄革,胡希伟,等. 基于 QNX RTOS 的 J-TEXT 托卡马克中央控制系统[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2009,37(6):20-23. (YANG Zhoujun,ZHUANG Ge,HU Xiwei,et al. Center control system of J-TEXT Tokamak based on QNX RTOS[J]. Journal Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2009,37(6):20-23.)
- [3] 高泽东,李建军,高教波. 基于 RTX 的实时伺服控制系统[J]. 计算机应用, 2011,31(z2):212-215. (GAO Zedong,LI Jianjun,GAO Jiaobo. Real-time servo control system based on RTX[J]. Journal of Computer Applications, 2011,31(z2):212-215.)
- [4] 李春雷,高峰,谢敏. 基于虚拟仪器的实时测试平台的研究与实现[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013,11(3):435-439. (LI Chunlei,GAO Feng,XIE Min. Implementation of real-time testing system based on LabVIEW[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013,11(3):435-439.)
- [5] 王洵. 基于嵌入式 PC 和 EtherCAT 实时以太网的分布式光学组件控制系统研制[J]. 中国仪器仪表, 2011(z):158-161. (WANG Xun. Development of distributing control system based on embedded PC and EtherCAT for optics module[J]. China Instrumentation, 2011(z):158-161.)
- [6] 向乾亮,辛志远,林继如,等. 实时以太网 EtherCAT 技术在电力系统中的应用[J]. 继电器, 2008,36(11):42-45. (XIANG Qianliang,XIN Zhiyuan,LIN Jiru,et al. Application of the real-time EtherCAT technology in power systems[J]. Relay, 2008, 36(11):42-45.)
- [7] 李健杰,易先清,张耀鸿,等. 基于 TwinCAT 的卷烟生产统一监控系统设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2010,23(7):14-16. (LI Jianjie,YI Xianqing,ZHANG Yaohong,et al. Unified HMI system in cigarette production monitoring based on TwinCAT[J].

Industrial Control Computer, 2010,23(7):14-16.)

[8] 德国倍福公司. TwinCAT 编程手册[Z], 2011. (Beckhoff. TwinCAT Programming Manual[Z], 2011.)

作者简介:



牛宝良(1963-), 男, 陕西省眉县人, 硕士, 研究员, 主要从事环境试验研究、振动环境试验设备研发.email:niubaoliang@163.com.

董 亨(1981-), 男, 成都市人, 本科, 主要从事工业自动化测量与控制研究.

2016 (第三届) 全国信号处理技术应用大会预告

由中国电子学会主办的“全国信号处理技术应用大会”已成功举办了两届, 得到了业界的广泛关注和支持。今年的第三届会议较前两届大会报告内容更加丰富, 更加全面, 热点更加集中, 旨在进一步加强信号处理技术应用领域中企业之间、高校与企业之间、研发工程师与应用工程师之间的交流和沟通, 有力推动信号处理技术的进步与应用水平的提高, 以满足各个行业的发展需求。大会将秉承“拓宽研发思路 提高应用能力”的宗旨, 邀请国内信号处理技术领域的著名专家, 就业界技术的应用和最新动态做特邀报告; 邀请相关科研单位和高科技企业, 宣传展示他们的研究成果、新产品和市场化内容; 发表的新成果、新产品、新技术及研究报告。

一、时间地点: 2016年7月23~24日 地点: 北京

二、大会组织机构:

主办单位: 中国电子学会

承办单位: 中国电子学会会员与组织机构服务中心

中国电子学会信号处理分会

三、大会名誉主席: 谢维信 原深圳大学校长

大会主席: 龙腾 北京理工大学信息与电子学院院长

四、大会交流

1. 特邀演讲: 大会将邀请国内信号处理技术领域的著名专家, 就信号处理技术的应用和最新动态做特邀报告。

2. 宣传展示: 邀请信号处理技术相关科研单位和高科技企业, 宣传展示他们在信号处理技术领域的研究成果、新产品和市场化内容。

3. 大会发表的新成果、新产品、新技术及研究报告。

五、邀请参会人员

1. 国内外知名企业研发和工程技术人员

3. 行业组织、研究机构、应用工程单位等

2. 国内外大、专院校科研技术人员

4. 新闻媒体代表

六、收费标准: 1980元/人, 会议期间食宿统一安排, 费用自理。

七、联系方式

联系人: 骆阳

电话: 010-8368-7512

手机: 15311186901

传真: 010-8368-7513

email: ly_job@163.com