

doi: 10.7690/bgzd.2016.03.009

基于 LABVIEW 的坦克炮伺服控制系统测试平台研究

黄丹平^{1,2}, 明亚波³, 汪俊其^{1,2}, 郭康^{1,2}

(1. 四川理工学院测控系, 四川 自贡 643000; 2. 人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000;
3. 东北林业大学机电工程学院, 哈尔滨 150000)

摘要: 针对坦克炮伺服控制系统中存在环境干扰、被控对象内部参数不确定性的问题, 研发了一套坦克炮伺服控制测试平台。描述了该测试平台的工作原理和系统结构, 设计以火控计算机、数据采集卡为系统核心的电流环、速度环、位置环三闭环控制系统, 采用神经网络 PID 控制算法对参数进行实时整定, 利用 LABVIEW 软件实现上位机的数据采集、各模块通信与神经网络 PID 控制, 并进行了测试实验。实验结果表明: 该测试平台能满足坦克炮伺服控制系统测试要求。该系统具有较强的适应性和鲁棒性。

关键词: 坦克炮伺服控制; LABVIEW; 神经网络 PID 算法; 测试平台

中图分类号: TJ38 **文献标志码:** A

Research on Test Platform for Servo Control System of Tank Gun Based on LABVIEW

Huang Danping^{1,2}, Ming Yabo³, Wang Junqi^{1,2}, Guo Kang^{1,2}

(1. Department of Test & Control, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China;

2. Artificial Intelligence Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong 643000, China;

3. College of Mechanical & Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Haerbin 150000, China)

Abstract: According to problem of environmental disturbance and internal parameter uncertainty of controlled object in servo control system of tank gun, a set of tank gun control system test platform is researched. The working principle and system structure of the testing platform are described. Three closed-loops control system, which includes the current loop, speed loop and position loop, is designed with fire control computer and data acquisition card and the parameters are set in real time by neural network PID control algorithm. LABVIEW software is used to realize the data acquisition, communication and neural network PID control of the host computer. The test platform is tested at last. The experimental results show that the test platform can meet the requirements of the tank gun servo control system and the system has strong adaptability and robustness.

Keywords: tank gun servo control; LABVIEW; neural network PID control algorithm; testing platform

0 引言

随着现代控制技术、信息化技术和微电子技术的发展以及现代战争对火炮的要求逐渐提高, 也对坦克炮随动控制系统的性能指标提出了更高、更新的要求^[1-2]。坦克炮伺服控制系统的优劣, 直接关系到坦克在行进和静止射击过程中命中率的高低^[3-4]。为满足坦克炮随动控制系统的性能参数测试需求, 笔者研发并设计了一套基于 LABVIEW 的坦克炮伺服控制测试系统。该系统是一种图形化、数据流、多线程的编程语言, 与其他编程环境相比较, LABVIEW 易于控制测控系统的研发与测试^[5]。该测试系统主要由计算机、高性能模块化硬件和灵活的软件操作平台等组成, 并使用计算机图形构成测试系统的人机操作界面, 完成测试系统中被测参数的采集, 控制算法分析与改进等功能。

1 坦克炮伺服控制系统测试平台工作原理与系统结构研究

坦克炮伺服控制系统主要控制 2 种旋转运动形式: 一种为控制坦克炮在 xy 平面内绕 z 轴旋转运动, 即水平方向转动(如图 1 所示), 该运动与炮塔一起转动; 另一种为在 zy 平面内绕 x 轴旋转运动(如图 1 所示), 即坦克炮的竖直方向转动, 2 种运动为独立工作。坦克炮的质量一般为 2 t 以上, 而炮塔的质量则为 3~4 t, 由此可知: 伺服控制的被控对象系统动态响应速度较慢, 而要求伺服控制系统具有低速准确的跟踪的性能和较高的位置定位精度; 因此, 研发一台坦克炮伺服控制系统测试平台, 其结构图如图 2 所示。

由图 2 可知: 该伺服控制测试平台分别由计算与控制单元、高速数据采集单元、功率驱动单元、

收稿日期: 2015-11-29; 修回日期: 2016-01-08

基金项目: 人工智能四川省重点实验室资助项目(2013RYY03)

作者简介: 黄丹平(1969—), 男, 四川人, 博士后, 副教授, 硕士生导师, 从事测量技术、控制技术、机器视觉技术研究。

坦克炮水平方向转动执行机构、坦克炮垂直方向转动执行机构、坦克炮水平方向转动数据采集和坦克炮垂直方向转动数据采集组成。其中计算与控制单元承担上位机的功能，根据所采集的各类信号，通过相关控制算法输出对应信号给执行单元。

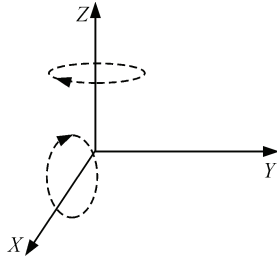


图 1 坦克炮旋转运动原理

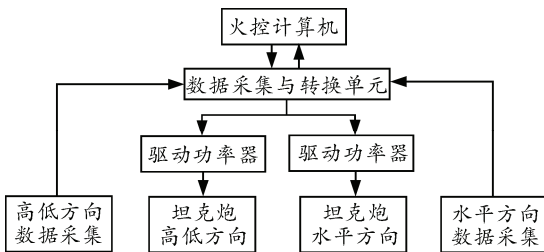


图 2 伺服控制系统结构

该测试系统的硬件框架如图 3 所示，图 3 中计算与控制单元选用一工作站，其配置为：CPU 为 Intel Xeon W3565，主频为 3.2 GHz，四核心八线程，内存 10 GB，采用高速 SCSI 硬盘(其硬盘的转速是 12 000 转，传输速率 320 Mb/s)。模数与数模转变采用美国 NI 公司 PCI 数据采集卡 NI PCI-4472B，其性能为 8 路振动优化模拟输入，同步采样率可达 102.4 kS/s 24 位分辨率 ADC，110 dB 动态范围，SMB-120 电缆的输入范围：±10 V 或 ±31 V。车载设备过去通常采用旋转变压器来测量被控对象位置信息，由于坦克炮工作环境恶劣，需承受较大振动冲击；因此，为提高测试系统的控制精度与稳定性，采用光电周角编码器来采集坦克炮塔的位置信息与旋转角速度信息。该传感器选用具有 24 位 0.077° 分辨率。根据车载设备要求，由于交流异步伺服电机正常工作时，发热量与体积较大效率较低；因此，该测试平台选用交流永磁伺服电机。

由于该测试平台的工作环境在存在严重噪声、污染、强电流和电压等问题；所以主控单元与一次元件之间使用光电隔离技术，并采取故障诊断与保护措施避免测试设备受损(如图 3 所示)。坦克炮伺服控制系统测试平台信息流程与工作原理如下：首先该系统获得目标位置信息采集模块、坦克炮速度信息采集模块和坦克炮位置信息采集模块所传送的

信息，将所有信息由模拟量转换为数字量，并通过 PCI 总线传递给计算与控制单元；计算与控制单元将所有信息进行去噪处理后，经单元内相关控制算法运算；将运算结果通过 PCI 总线、数据采集卡、光电隔离和功率驱动器传递给三相交流伺服执行单元，由该单元驱动坦克炮运动。计算与控制单元将所采集信息通过无线网络技术，传送到远程显示与处理单元，进行显示与监控，并且远程显示与处理单元在必要时，也可直接发送运动控制指令给三相交流伺服执行单元，使其按该要求进行运动。

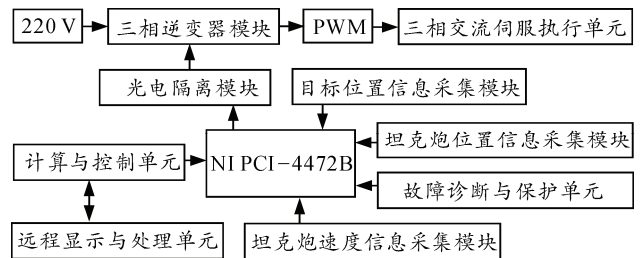


图 3 伺服控制系统硬件结构

2 坦克炮伺服控制系统测试平台算法与软件研究

在研究坦克炮伺服控制系统测试平台中跟定为目标位置信息，且该位置信息为变量，由此可知该伺服控制系统也为随动控制系统。该测试平台中水平方向与垂直方向的伺服控制系统均采用电流环、速度环和位置环三闭环系统结构，其结构框图如图 4 所示。其中该伺服控制系统的第 1 层为内环即电流环，主要功能是控制执行机构电流，使其稳定具有恒定力矩输出；第 2 层内环为中间环即速度环，其作用是加强测试平台伺服控制系统按照系统所要求速度快速、稳定地运动到目标值；第 3 层为外环即位置环，该环接受编码器反馈输出的信号，信号精度如前所述由编码器的分辨率决定，主要功能是该测试平台的伺服控制系统动态跟踪目标位置的能力得到改善以及消除系统静态误差。

图 4 中测试平台的伺服控制系统是以坦克炮的水平位置和垂直位置为被控对象，当被跟踪目标的空间位置随机发生变化时，系统的各种反馈信号将引回到系统的每个输入端，与伺服控制系统所采集目标位置信息相比较并得到的偏差信号，将所得偏差信号分别通过位置环、速度环、电流环闭环的控制器所包含的控制算法计算后，再将计算结果输入到功率放大器，传给交流伺服电机，达到减少偏差或者消除偏差的目的。其中测试系统的伺服控制算法将是能否消除偏差的关键因素。

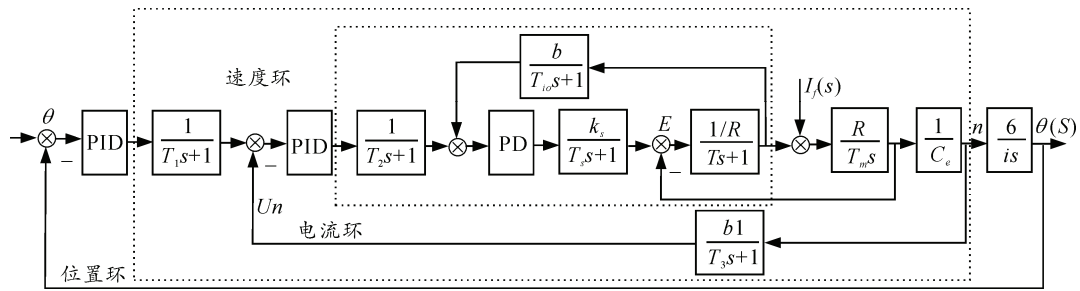


图4 测试平台伺服控制系统传递函数方框图

考虑到测试系统中电流环为稳定电流、电压作用和工作环境影响等因素，电流环调器选用 PI 控制算法。而针对坦克炮伺服控制系统中的速度环和位置环工作的特点，国内的算法设计主要依靠操作人员实际经验，并且为方便研发控制系统一般认为该系统为线性系统，而作为坦克炮被控对象实际应是一非线性系统^[6]；因此，当其受外界干扰时，将产生较大的控制变差。目前，欧美国家采用操作人员经验并以参数形式输入到专家数据库，与传统 PID 控制相结合，从而使控制单元根据实际运行环境调整控制参数，在一定程度上改善了伺服控制系统的性能。由此可知，该测试平台采用 BP 神经网络 PID 算法作为速度环和位置环控制算法^[7-8]。其中 PID 采用数字增量式 PID 数字控制算法，如下式：

$$\Delta u(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

采用增量式 PID 控制算法的原因有：控制算法输出的误动作小，无扰动切换实现较容易。若坦克炮伺服控制系统测试平台由于环境因素，出现故障时，可以保持上个时刻的输出（即故障前的输出），由加权处理后较易满足坦克炮被控参数的实际要求。该神经网络采用 3 层网络，其中输入层的节点数为 4 个，如下式^[9]：

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= e(k) - e(k-1) \\ x_2 &= e(k) \\ x_3 &= e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \\ x_4 &= u(k-1) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

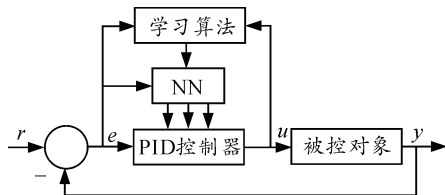


图5 测试平台神经网络 PID 算法

网络中间层选用 5 个节点，输出层选用 3 个节点，分别为 K_D , K_I , K_P 。为实现 PID 参数自整定功

能，采用神经网络结构来获取^[10]，如图 5 所示。

该控制平台通过 LABVIEW 来实现数据采集与传递，其中数据采集部分代码如图 6 所示。图 7 为该测试平台输出到驱动模块部分软件代码。

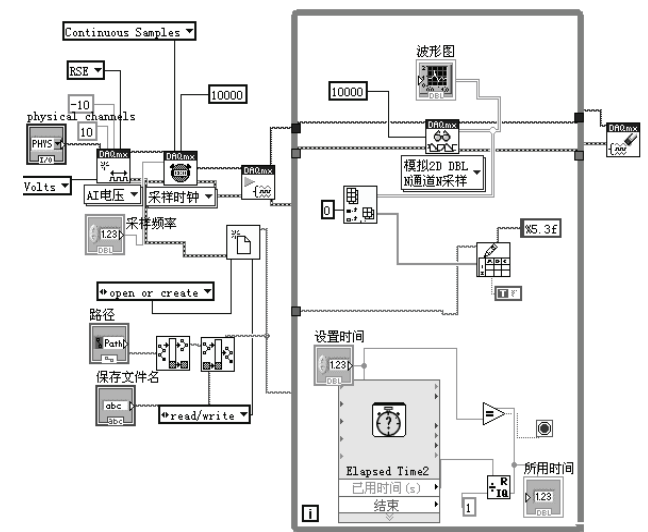


图6 测试平台数据采集系统软件实现

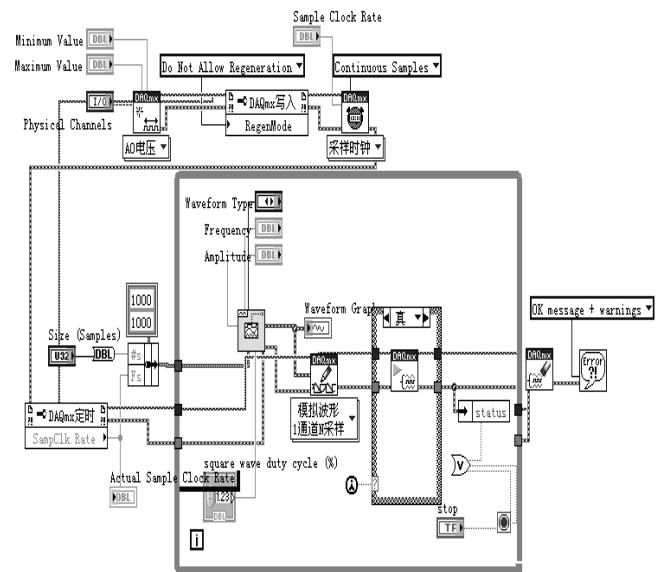


图7 测试平台数据输出软件实现

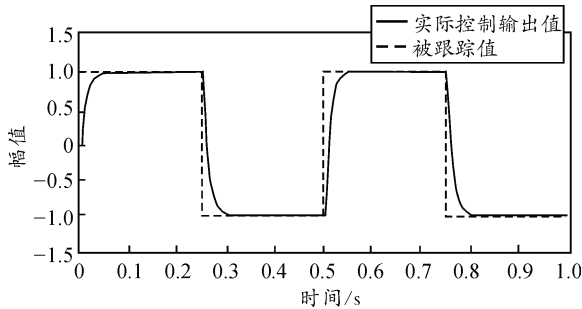
3 坦克炮伺服控制系统测试平台测试实验

针对坦克炮的特性，为使实验平台仿真实验结

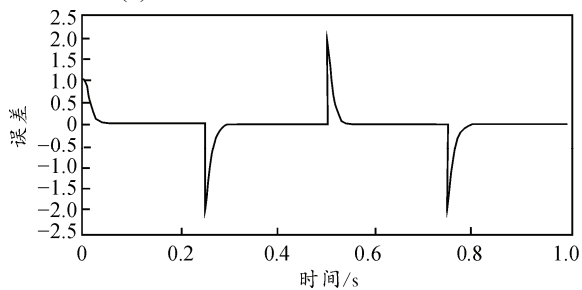
果具有代表性,取化简后坦克炮传递函数,如下式:

$$P(s) = \frac{k}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2} \quad (3)$$

取幅值为 1 的方波信号作为给定。在坦克炮伺服控制仿真实验中,用 BP 网络 PID 算法进行阶跃响应控制实验。得到的曲线见图 8。

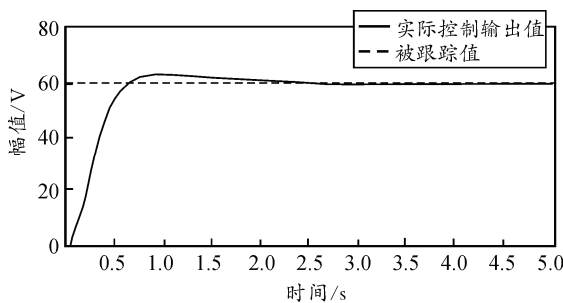


(a) 脉冲位置跟踪仿真响应曲线

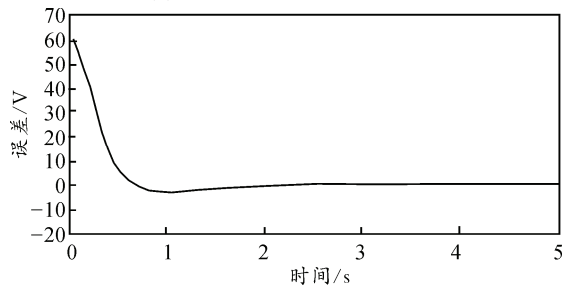


(b) 脉冲位置跟踪仿真误差响应曲线

图 8 脉冲位置跟踪仿真实验



(a) 60°位置跟踪响应曲线



(b) 60°位置跟踪误差响应曲线

图 9 坦克炮伺服控制系统阶跃 60°位置实验结果

从图 8 仿真曲线分析可知:利用 BP 神经网络 PID 整定之后的坦克炮伺服控制系统响应曲线显示了良好的跟踪特性,基于 BP 神经网络 PID 控制器,当坦克炮伺服控制系统启动时即开始工作,过渡时

间较短,超调量较小,具有良好的稳定性和动态特性,可有效地削弱干扰引起的波动影响,稳态误差小,系统稳态响应精度较高。

坦克炮伺服控制系统高低机系统阶跃 60°给定位置实验结果如图 9。由坦克炮伺服控制测试平台的阶跃响应曲线可知:其最大误差为 0.8°,该响应曲线可表述出测试平台整体动态性能以及良好的跟踪能力,测试平台的控制系统误差保持在设计所允许的范围内,满足测试平台系统设计性能指标要求。

4 结论

笔者研发并设计一套坦克炮伺服控制系统测试平台。给出了坦克炮伺服控制系统测试平台的总体控制方案,通过 LABVIEW 软件建立系统的三闭环控制模型,测试平台也可使上位机与下位机进行信息通信,对坦克炮伺服系统的高低射角与竖直方向角实时测量,并将所测试数据发送到中央监测平台进行总体测控处理。测试平台通过神经网络 PID 控制算法使坦克炮实时跟踪目标,并验证坦克炮伺服控制系统本身的稳定性、精度以及快速性。通过实验验证与分析可知,实验结果能够满足坦克炮伺服控制测试要求。

参考文献:

- [1] 蔡建平,沈陆娟. 坦克炮控伺服系统未知摩擦的自适应补偿控制[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(4): 64-68.
- [2] 冯亮,马晓军,冯东. 坦克炮控伺服系统的滑模非线性摩擦补偿控制[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(12): 63-65.
- [3] 马晓军,冯亮,袁东,等. 坦克炮控系统非线性特性及自适应补偿控制[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(11): 1-5.
- [4] 王洪艳,王庆林,左哲,等. 基于干扰观测器的坦克伺服系统滑模变结构控制[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(14): 4487-4491.
- [5] 王钦钊,谷晓伟,李小龙,等. 基于高机动条件下的坦克火控系统[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 19-21.
- [6] 陈睿麟,奚天鹏,谈金祝,等. 基于 LABVIEW 的神经网络 PID 温度控制系统研究[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(12): 262-264.
- [7] 朱东旭,邱晓波,刘家健,等. 坦克炮控系统摩擦扰动补偿研究[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(1): 125-128.
- [8] 陈怀忠. 基于 BP 神经网络 PID 算法的水箱液位控制系统设计[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(12): 81-84.
- [9] 蒋鼎国. 基于改进型 BP 神经网络 PID 控制器的温室温度控制技术[J]. 实验研究与探索, 2015, 34(1): 9-13.
- [10] 郑晓斌. 神经网络模糊 PID 技术在光伏系统 MPPT 控制器中的应用[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2015, 38(1): 102-111.