

doi: 10.7690/bgzdh.2013.07.022

特种夹持装置测控系统

吴今姬¹, 赫雷¹, 周克栋¹, 陆野¹, 王清明²

(1. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094; 2. 北京意美德科技发展有限公司, 北京 100027)

摘要: 为排除射手主观性和人为偶然性对武器射击精度的影响, 研制一种新型特种夹持系统。该系统以运动控制卡为主, 采用 DSP 主频做两轴模拟量闭环控制, 实时测量特种夹持装置的运动轨迹并反馈给控制中心计算, 精确控制特种夹持装置的运动, 并通过 VC++ 软件编写控制程序, 实现了特种夹持装置模拟射手射击时的运动。实验结果表明: 该系统运动安全可靠、精度高, 具有极高的实用性。

关键词: DSP 主频; 运动控制; 模拟射手

中图分类号: TJ206 **文献标志码:** A

Measurement and Control System of Special Holding Device

Wu Jinji¹, He Lei¹, Zhou Kedong¹, Lu Ye¹, Wang Qingming²

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China;
2. Beijing E-MADE Technology Development CO., LTD, Beijing 100027, China)

Abstract: A new special holding device was developed to exclude influence caused by the subjective factors of shooter on the shooting accuracy inspection of guns. Motion control card was main unit in this control system and the DSP main frequency was used for closed-loop control of two-axis analog. The measurement and control system can measure trajectory of holding device real-time and feedback to control center to conduct calculation, and control the movement of this special holding device more precisely. The software program was written in VC++ and the simulation of shooter shooting using special holding device was realized successfully. Experimental results show that, the movement of device with gun is safe and reliable, also has high precision and great practicality.

Key words: DSP main frequency; motion control; simulating shooter

0 引言

手持武器射击时以人为架座, 其射击过程是在人-枪相互作用下, 整个人-枪系统对射击时出现的多次冲击作用的动态响应的过程^[1]。当射手对枪支进行试射时, 武器的运动会使得弹丸射出时偏离初始瞄准位置、产生射击偏差。为排除射手主观性和人为偶然性对武器射击精度的影响, 更加客观地反映武器本身射击精度的优劣^[2-4], 笔者研制了一种新型特种夹持系统充当射手, 模拟射手射击过程。该新型特种夹持系统包括机械装置与测控系统, 机械装置的功能为可靠夹持枪械, 并随枪械进行一定的运动, 测控系统为以运动控制卡为主的运动控制系统, 以 DSP 主频做两轴模拟量, 控制执行电机运动, 并通过传感器实时测量并反馈到上位机进行闭环控制, 最终实现机械装置带动枪械运动^[5]。

1 总体方案

新型特种夹持装置机械结构主要由枪械前部握持模拟子系统、枪械抵肩模拟子系统、底座、固枪机构等组成, 其结构如图 1 所示。图 1 中, Y、Z 轴方向安装有直线电机, 可控制枪管夹持夹具左右、

垂直方向的移动, X 轴方向采用滑轨, 可自由后坐滑行 500 mm, 平台尾端装有缓冲器, 吸能制动。

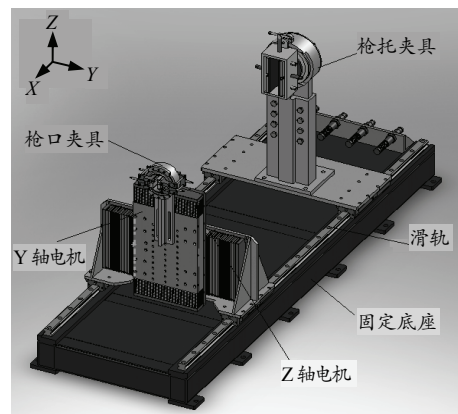


图 1 特种夹持装置机械结构

2 控制方案

2.1 测控系统的控制思路

用新型特种夹持装置代替真人射击, 要实现武器后坐运动、武器绕肩高低运动、人体前后俯仰运动和人体扭转 4 个自由度的运动^[6]。特种夹持装置在可靠夹持枪械的状态下进行射击实验时, 要求该测控系统能够测出待测枪械的最大后坐力, 并输出

收稿日期: 2013-01-04; 修回日期: 2013-01-31

作者简介: 吴今姬(1987—), 女, 吉林人, 朝鲜族, 在读硕士, 从事机械电子工程研究。

到上位机，根据数据库中已有的标准枪械的最大后坐力及枪口夹持点处的位移-时间曲线进行计算，最终拟合出待测枪械的枪口夹持点随时间变化的位移曲线。再根据此曲线来控制特种夹持装置，实时调整其运动姿态，实现真人射击中人体的反应的状态。控制系统需要使特种夹持装置在射击过程中按照拟合出的位移-时间曲线进行运动。

2.2 测控系统的控制方案

图 2 为特种夹持装置测控系统的运动控制系统结构图。具体控制过程为：前后固枪机构夹持枪械，两轴直线电机使能后，上位控制器根据拟合出的待测枪械的枪口夹持点位移-时间曲线发出对应的指令，控制两轴直线电机做闭环运动；控制可做到实时监控，并反馈数据与待测枪械的枪口夹持点位移-时间曲线进行比较，进行实时调整。



图 2 运动控制系统结构

运动控制系统采用 ADLINK 的 PCI8253 基于 DSP 的 3 轴模拟运动控制卡，该运动控制卡结合了一个 250 MHz 32 位的 MIPS 处理器、12 000 逻辑元件 FPGA、I/O 缓存电路，且控制器为完全闭环控制带脉冲前馈和 20 MHz 编码器输入。

PC 机与运动控制卡之间通过 PCI 总线进行数据传输，PCI8253 运动控制卡中集成了 DSP 与 FPGA，DSP 主要负责初始化、与上位机的通信和 PWM 信号的产生。电机采用舍弗勒旗下 IDAM 公司 L1 系列永磁同步直线电机，具有很高的加、减速度，静态、动态负荷刚性高，可以准确定位，采取主动式冷却方式，由于定子可无限延长，行程将不受限制^[7]。此外，本测控系统中为了实现闭环控制，采用奥地利 RSF 公司的单场扫描的敞开式直线光栅尺作为测量位移元件，实时测量及反馈数据到控制器。其具有独特的扫描原理，高移动速度（最高达 10 m/s），较低的机械间隙以及编码器所引起的摩擦力为零等优点，同时 MS 2x.74 系列光栅尺的分辨率可达到 1 μm，反馈时间为 300 ns，而据人体的生理反应，只有 300 ms 以后人的肌肉才能对外界进行反应，因此完全满足系统设计的要求。

运动控制系统实物图如图 3 所示。



图 3 运动控制系统实物

3 软件设计

控制系统的软件设计需要满足以下要求：

- 1) 根据实验测得不同枪械的最大后坐力及其对应的枪口夹持点处在垂直和水平方向上的位移-时间曲线，预先建立理想曲线数据库，供实验选用；
- 2) 在上位机的控制下，由平台上设置的测力传感器采集测出待测枪械的最大后坐力，并由测得的最大后坐力拟合出待测枪械的枪口夹持点在水平、垂直方向随时间变化的位移曲线；
- 3) 进行射击实验时，控制器应根据拟合出的待测枪械的位移-时间曲线结合实时测得的传感器信号进行闭环控制直线电机，使之按理想曲线运动，并通过显示屏实时反映实验曲线。

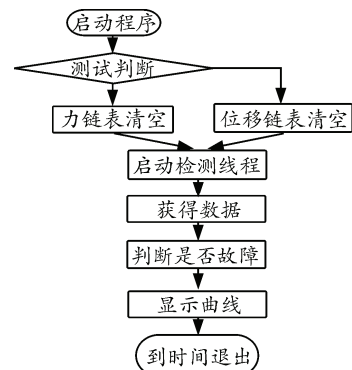


图 4 主流程图

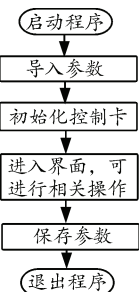


图 5 力的测试和位移测试流程图

控制系统的软件采用 Visual C++ 进行编程^[8]，有助于对系统的二次开发。图 4 为设计程序的主流程图。启动程序后，用户可对相关参数进行设置，参数设置包括运动参数、设备参数以及采集时间等。图 5~图 7 分别为力的测试和位移测试流程图，空

载运动、带载运动、带载射击流程图，以及位移时间数据转换流程图。

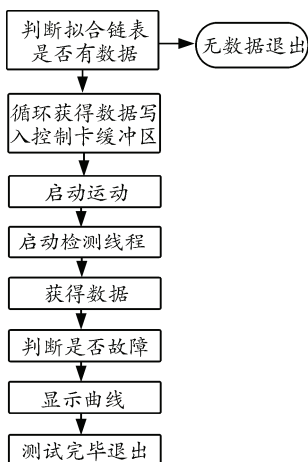


图6 空载运动、带载运动、带载射击流程图

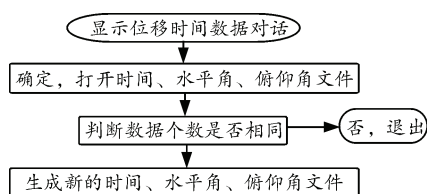


图7 位移时间数据转换流程图

4 实验结果

不同的武器，其人-枪运动特性也不相同。为了测得枪械特定的运动特性曲线，采用高速摄影与压电陀螺法相配合的测试方法。这种方法使用高速摄影法测出枪械运动的整个过程，并可以进行回放、测量、分析；使用压电陀螺法对连发武器枪口进行角位移数据测试。通过实验可测得枪身后坐位移-时间曲线、枪身水平侧转角位移-时间曲线和枪身俯仰角位移-时间曲线^[9]。对获得的实验曲线进行计算、处理，最终获得枪械的枪管夹持点在垂直(Z轴)、水平(Y轴)和前后(X轴)方向上随时间变化的位移-时间曲线。再将这些理想的位移-时间曲线组成数据库，供特种夹持装置模拟运行时使用。

在试射过程中，由平台上设置的测力传感器采集测出待测枪械的最大后坐力，并由测得的最大后坐力拟合出待测枪械的枪口夹持点在水平、垂直方向随时间变化的位移曲线；进行射击实验时，控制器根据拟合出的待测枪械的位移-时间曲线结合实时测得的传感器信号进行闭环控制直线电机，使之按理想曲线运动，并可通过显示屏实时反映实验曲线。连发射击时，枪身俯仰角位移所得曲线如图8所示。对图8分析可知，Y、Z轴方向的理想曲线与实际实验曲线之间位移误差 ≤ 0.5 mm，在允许的

误差范围内，可视为满足射击实验要求。此外，通过对软件的操作，可实现单轴实验曲线的显示、理想曲线与实际实验曲线的拟合结果的显示等操作。

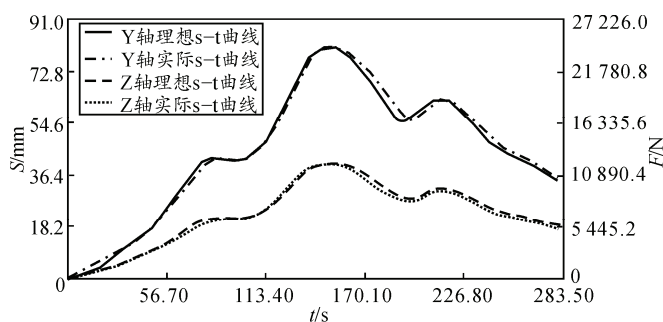


图8 射击实验拟合曲线

5 结论

笔者针对某新型特种夹持装置设计了一套运动控制系统，以DSP为主芯片的运动控制器为控制系统主要单元，再辅以上位机、驱动装置等，实现了夹持装置带动枪械模拟人体射击的过程。

从实验结果可看到，在模拟射击过程中，实时测取的位移曲线与理想位移曲线之间的误差很小，并且可完成单发及连发状态的射击实验，其功能非常完善。这充分表明：通过此新型特种夹持装置测试枪械射击精度时，排除了射手主观性和人为偶然性对武器射击精度的影响，大大提高了射击精度的可靠性，更加客观地反映了武器本身射击精度的优劣，并且其安全性能也得到了很大的提高，对检测与提高武器精度指标具有重要的意义。

参考文献：

- [1] Hatching TD, Rache A E. Study of man-weapon reaction forces application to the fabrication of a standard rifle firing fixture[J]. ADA034523, 1975.
- [2] 张海峰. 主动态模拟人体枪架控制系统的初步研究[D]. 江苏: 南京理工大学, 2008.
- [3] 李永新. 人枪相互作用模型与实验研究[D]. 江苏: 南京理工大学, 1993.
- [4] 胡敬坤. 轻武器射击平台的初步研究[D]. 江苏: 南京理工大学, 2007.
- [5] 丛爽, 李泽湘. 实用运动控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 8-32.
- [6] 包建东, 王昌明, 何云峰. 人-枪模型的建立及仿真分析[J]. 兵工学报, 2009(5): 513-517.
- [7] 韩红彬. 基于DSP的同步直线电机控制系统研究[D]. 西南交通大学, 2005.
- [8] Steven Holzner. Visual C++6 轻松进阶[M]. 北京: 电子工业出版社, 1999: 39-66.
- [9] 包建东. 人枪相互作用实验研究[D]. 江苏: 南京理工大学, 2006.