

11-17-2020

Construction and Test Method of A Semi-physical Simulation System for Laser Driving Guidance Weapon

Zhang Xiang

1. Xi'an Institute of Modern Control Technology,Xi'an 710065,China;;

Mengyan Liu

1. Xi'an Institute of Modern Control Technology,Xi'an 710065,China;;

Zhang Peng

1. Xi'an Institute of Modern Control Technology,Xi'an 710065,China;;

Kewei Zhu

1. Xi'an Institute of Modern Control Technology,Xi'an 710065,China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Construction and Test Method of A Semi-physical Simulation System for Laser Driving Guidance Weapon

Abstract

Abstract: To achieve the previous semi-physical simulation of the laser beam-guided weapon, the two-dimensional translation system must be used. But the technical index of the two-dimensional translation system is not high enough to meet the requirements of the relative motion simulation speed and acceleration of the projectile. To solve the problem, *a new method and test method for the semi-physical simulation system of laser driving guidance weapon* is proposed. The “two-axis turret + load bracket” simulation system construction method is adopted to replace the linear motion of the two-dimensional translation system by the *rotational angular motion* of the two-axis turret to simulate the relative motion and position change of the missile in the laser information field. The experimental results verify the good simulation effect of the proposed method.

Keywords

laser beam, semi-physical simulation, relative motion, angular motion

Authors

Zhang Xiang, Mengyan Liu, Zhang Peng, Kewei Zhu, and Xiaodong Yan

Recommended Citation

Zhang Xiang, Liu Mengyan, Zhang Peng, Zhu Kewei, Yan Xiaodong. Construction and Test Method of A Semi-physical Simulation System for Laser Driving Guidance Weapon[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(11): 2192-2198.

一种激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及试验方法

张翔¹, 刘梦焱¹, 张鹏¹, 朱克炜¹, 闫小东²

(1. 西安现代控制技术研究所, 陕西 西安 710065; 2. 中国人民解放军 93811 部队, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 激光驾束制导武器半实物仿真必须借助二维平动系统, 但由于二维平动系统受限于技术指标不高, 无法满足弹目相对运动模拟速度和加速度要求较高的武器系统开展仿真试验的弊端, 提出一种新的激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及试验方法。采用“二轴转台+负载支架”的仿真系统构建方式, 利用二轴转台的转动角运动代替二维平动系统的线运动来实现导弹在激光信息场中弹目相对运动和位置变化的模拟, 很好地解决了传统方法存在的种种弊端, 试验结果进一步验证了该方法具有很好的仿真效果。

关键词: 激光驾束; 半实物仿真; 相对运动; 角运动

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 11-2192-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-FZ0437

Construction and Test Method of A Semi-physical Simulation System for Laser Driving Guidance Weapon

Zhang Xiang¹, Liu Mengyan¹, Zhang Peng¹, Zhu Kewei¹, Yan Xiaodong²

(1. Xi'an Institute of Modern Control Technology, Xi'an 710065, China; 2. No.93811 Troop of PLA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: To achieve the previous semi-physical simulation of the laser beam-guided weapon, the two-dimensional translation system must be used. But the technical index of the two-dimensional translation system is not high enough to meet the requirements of the relative motion simulation speed and acceleration of the projectile. To solve the problem, a new method and test method for the semi-physical simulation system of laser driving guidance weapon is proposed. The “two-axis turret + load bracket” simulation system construction method is adopted to replace the linear motion of the two-dimensional translation system by the rotational angular motion of the two-axis turret to simulate the relative motion and position change of the missile in the laser information field. The experimental results verify the good simulation effect of the proposed method.

Keywords: laser beam; semi-physical simulation; relative motion; angular motion

引言

激光驾束制导武器用激光束跟踪目标, 导弹飞行在激光束中, 弹上设备感受导弹在光束中的

位置, 形成引导指令, 使导弹飞向目标。由于其制导精度高、制导设备轻、低成本高可靠等突出特点, 受到了世界军事强国的广泛关注, 并且已经在地对空和反坦克等类型的导弹中得到很好地应用^[1-2]。

激光驾束制导武器在外场飞行靶试之前都要在实验室内进行半实物仿真试验, 对其工作性能和战技指标进行考核验证。参与半实物仿真的制



收稿日期: 2019-04-18 修回日期: 2019-08-23;
作者简介: 张翔(1982-), 男, 内蒙古包头, 博士, 高工, 研究方向为系统仿真; 刘梦焱(1991-), 男, 河南平顶山, 硕士, 研究方向为系统仿真; 张鹏(1982-), 男, 陕西西安, 硕士, 研究方向为系统测试。

<http://www.china-simulation.com>

• 2192 •

导控制部件一般包括观瞄制导装置、激光接收机、弹载计算机、舵机。此类武器装备在作战使用时, 射手通过观瞄制导装置上的光学瞄准镜瞄准、跟踪目标, 锁定目标后发射导弹, 观瞄制导装置上的激光发射器向目标发射激光信息场, 导弹进入信息场后由安装在导弹尾部的激光接收机敏感其在激光信息场中的位置, 并将得到的俯仰、偏航线偏差信号送给弹载计算机, 由弹载计算机形成控制指令并传送给执行机构舵机来修正弹道, 使导弹一直沿着瞄准线飞行, 直至命中目标。传统的激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及试验方法采用“负载支架+二维平动系统”的弹目相对运动和位置变化模拟方式(也是仿真系统构建方式)^[3-5], 即将观瞄制导装置固定安装在负载支架上, 其光轴中心对准安装在二维平动系统上的激光接收机, 用二维平动系统来模拟导弹在俯仰、偏航方向上的线运动, 仿真时由观瞄制导装置上的激光发射器输出激光信息场给激光接收机进行敏感^[3-5], 从而构造出一个实验室内模拟激光驾束制导武器飞行全过程的半实物仿真试验环境。然而该方法并不是在所有情况下都能使用, 存在着以下问题:

(1) 二维平动系统受技术能力发展水平的限制其速度和加速度指标相对较低, 与转台相比指标差距在 2 个量级以上, 无法满足某些弹目相对运动模拟速度和加速度要求较高的武器系统开展仿真试验。其次, 二维平动系统的负载能力受自身结构、材料、尺寸及刚度的限制较大, 其负载不会太重, 且随着负载重量和所需模拟的位移行程的增加, 速度和加速度指标会显著下降, 对于负载重量超过其指标范围的参试部件来说, 也无法开展仿真试验。

(2) 采用此方法开展仿真试验需要借助二维平动系统来模拟导弹在俯仰、偏航方向上的线运动, 然而多数科研单位所配备的运动模拟设备为转台, 对于没有二维平动系统的单位来说仿真试验无法开展。

(3) 二维平动系统由于需要按照导弹飞行过程中弹目实际的位移行程来进行设计, 其框架和地基占用的空间很大, 对于实验室空间无法满足二维平动系统占地要求的单位来说, 设备如何摆放, 仿真系统如何布局存在着很大问题。

鉴于此, 本文给出了一种新的激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及试验方法。采用“二轴转台+负载支架”的仿真系统构建方式, 利用二轴转台的转动角运动代替二维平动系统的线运动来实现导弹在激光信息场中弹目相对运动和位置变化的模拟^[6], 解决了传统方法存在的开展半实物仿真必须借助二维平动系统; 由于二维平动系统的技术指标受限, 无法满足弹目相对运动模拟速度和加速度要求较高的武器系统开展仿真试验; 由于实验室空间较小, 无法使用二维平动系统满足弹目相对运动模拟的要求等弊端; 试验结果进一步验证了本文方法具有很好的仿真效果, 具有很好的工程应用前景。

1 激光驾束制导武器半实物仿真系统构建

传统的激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及试验方法采用“负载支架+二维平动系统”的仿真系统构建方式(弹目相对运动和位置变化模拟方式), 即将观瞄制导装置固定安装在负载支架上, 其光轴中心对准安装在二维平动系统上的激光接收机, 用二维平动系统来模拟导弹在俯仰、偏航方向上的线运动, 仿真时由观瞄制导装置上的激光发射器输出激光信息场给激光接收机进行敏感^[7], 从而构造出一个实验室内模拟激光驾束制导武器飞行全过程的半实物仿真试验环境。传统的激光驾束制导武器半实物仿真系统的实验室布局如图 1 所示。

从图 1 可以看出, 传统的激光驾束制导武器半实物仿真系统中观瞄制导装置由于安装在负载支架上不能运动其发射的激光信息场的指向固定不变, 导弹在激光信息场中的相对运动和位置变

化由二维平动系统负载激光接收机进行俯仰、偏航线运动来进行模拟。

不同于传统方法, 本文方法采用“二轴转台+负载支架”的仿真系统构建方式来实现激光架束制导武器半实物仿真。其核心思想是利用二轴转台的转动角运动代替二维平动系统的线运动来实现导弹在激光信息场中弹目相对运动和位置变化的模拟。在本文方法中, 观瞄制导装置安装在二轴

转台上, 因而其发射的激光信息场的指向可随转台的转动而改变; 激光接收机固定安装在负载支架上, 不能运动。本文方法半实物仿真系统实验室布局如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 本文方法中导弹在激光信息场中的相对运动和位置变化由二轴转台负载观瞄制导装置进行俯仰、偏航角度转动来进行模拟。

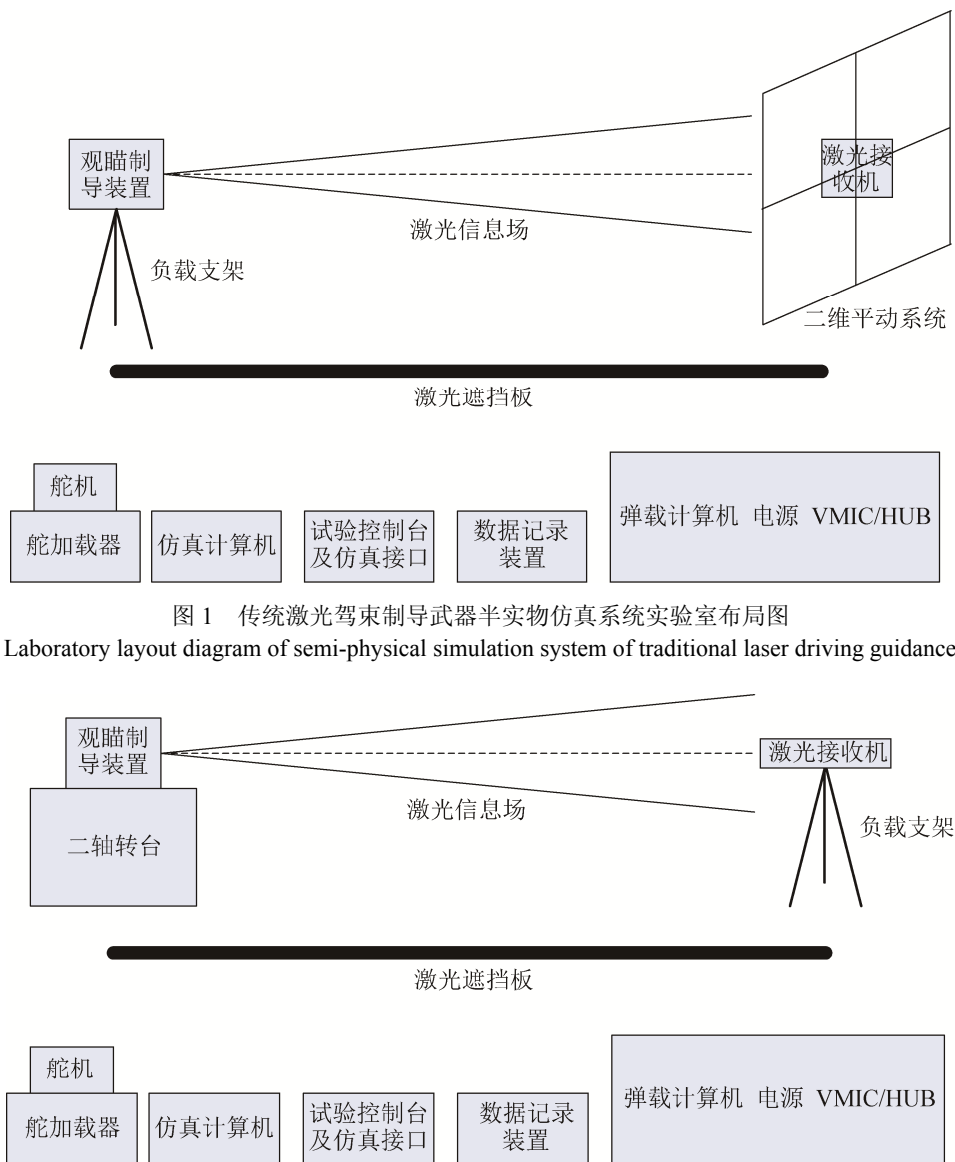


图 1 传统激光驾束制导武器半实物仿真系统实验室布局图

Fig. 1 Laboratory layout diagram of semi-physical simulation system of traditional laser driving guidance weapon

图 2 本文方法半实物仿真系统实验室布局图

Fig. 2 Laboratory layout of semi-physical simulation system

激光制导武器在作战使用时, 利用观瞄制导装置上的激光发射器产生激光信息场^[8]; 导弹发射后在激光信息场中飞行; 导弹尾部安装的激光接收机敏感其在激光信息场中的位置, 由弹载计算机根据该实时位置产生控制指令控制导弹飞行直至命中目标。根据激光驾束制导武器的工作原理和作战使用规程, 本文提出的激光驾束制导武器半实物仿真系统主要由二轴转台、仿真计算机、舵加载器、试验控制台及仿真接口、数据记录装置、电源、实时网络系统、观瞄制导装置、激光接收机、弹载计算机、舵机等组成, 具体实现方案为:

观瞄制导装置安装在二轴转台上, 激光接收机固定安装在负载支架上。通过二轴转台的转动来模拟导弹飞行过程中每一时刻在激光信息场中的相对运动和位置变化。在仿真试验过程中, 通过弹目相对几何关系计算出二轴转台的俯仰和偏航角度的控制信息。由于观瞄制导装置中的激光

发射器(用于产生激光信息场)安装在二轴转台上随转台一起转动, 导致激光信息场的指向也按照该运动规律进行运动, 对于安装在负载支架上的激光接收机来说, 由于其能够敏感出在激光信息场中的位置, 因而激光场方向的改变相当于模拟出导弹偏离了激光场中心位置多少的改变, 即通过这种方式可以模拟出此时导弹在激光信息场中的位置, 并将得到的俯仰、偏航线偏差信息送给弹载计算机, 由弹载计算机形成控制指令, 传给舵机来修正弹道, 使导弹一直沿着瞄准线飞行, 直至命中目标。采用这种方法进行半实物仿真与导弹制导原理及实际飞行过程是基本一致的。

2 激光架束制导武器半实物仿真系统改进

使用本文方法开展激光驾束制导武器半实物仿真试验的工作原理如图 3 所示。

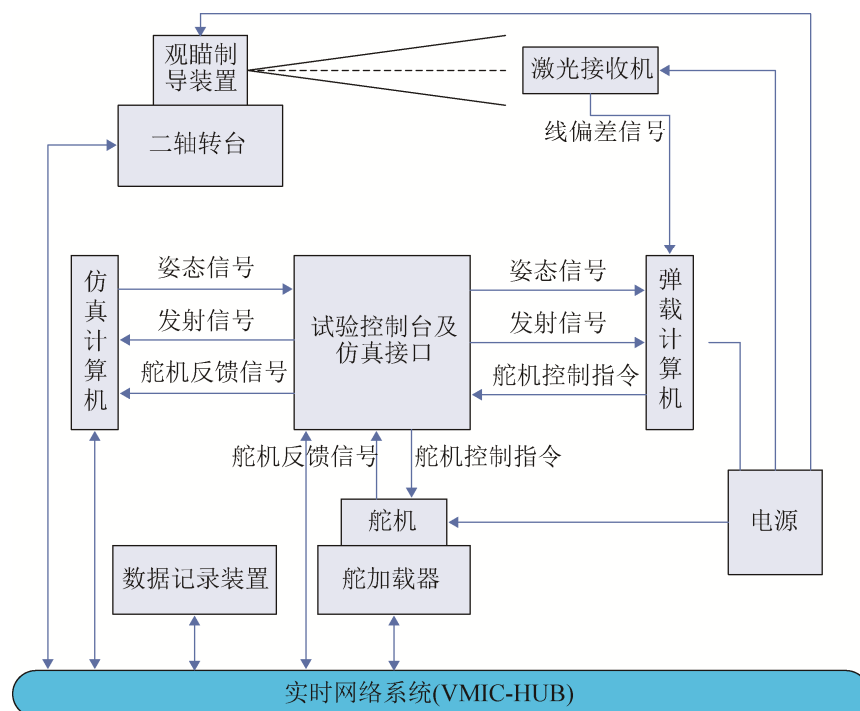


图 3 本文方法半实物仿真系统工作原理及系统连接图

Fig. 3 Working principle and system connection diagram of method semi-physical simulation system

如图 3 所示, 半实物仿真系统工作原理和试验流程为: 仿真时, 试验控制台给出仿真时序, 按时序给观瞄制导装置、激光接收机、弹载计算机和舵机上电, 并在零秒时刻向仿真计算机和弹载计算机发出同步发射信号, 观瞄制导装置上的激光发射器开始输出激光信息场信号。仿真计算机开始运行仿真程序, 根据导弹动力学、运动学、目标运动学方程, 解算出导弹俯仰、偏航线偏差信号, 根据这一信息及弹目几何关系求出控制二轴转台转动的转角信号, 由转台带动观瞄制导装置(激光信息场)运动。激光接收机敏感其在激光信息场中的位置, 并将获得的俯仰、偏航线偏差信号送给弹载计算机, 姿态信号则通过仿真接口送给弹载计算机。弹载计算机综合所有输入信号按照制导控制系统模型形成制导控制指令, 送舵机执行。舵机的偏转信号反馈经仿真接口送仿真计算机, 仿真计算机根据舵机反馈计算舵偏角, 按照导弹飞行力学进行计算形成控制力和控制力矩, 控制导弹按预定弹道飞行; 同时, 仿真计算机根据舵偏角实时解算出不同时刻舵面所受的铰链力矩, 送舵加载器给舵机进行实时加载, 模拟导弹飞行过程中舵面所受到的气动载荷。通过上述过程, 构成激光驾束制导武器实时半实物仿真闭环。

在上述过程中, 仿真计算机控制转台进行转动所需给出的转角信号计算如下:

$$\alpha = \arcsin(\Delta Y / X) \quad (1)$$

$$\beta = \arcsin(\Delta Z / X) \quad (2)$$

式中: α 为控制转台俯仰方向运动需要转过的角度; β 为控制转台偏航方向运动需要转过的角度; X 为转台回转中心到支架负载中心的距离; ΔY 和 ΔZ 分别为导弹在俯仰、偏航方向偏离了激光信息场中心的距离(导弹俯的俯仰、偏航线偏差信号)。

综上所述可以看出, 相比传统方法, 本文方法具有以下优点:

(1) 传统的基于“负载支架+二维平动系统”的仿真方式并不适用所有情况, 这是由于二维平

动系统受技术能力发展水平的限制其速度和加速度指标相对较低(一般为速度几米/s, 加速度为十几米/s², 即使是最高水平的系统也仅能做到速度十几米/s, 加速度几十米/s²), 对于某些弹目相对运动速度和加速度较高的武器系统来说, 由于二维平动系统的技术指标无法满足运动模拟需求, 使用传统方法无法开展仿真试验。其次, 二维平动系统受自身结构、材料、尺寸及刚度的限制较大, 其负载不会太重, 一般仅能负载几公斤至十几公斤的重量, 且随着负载重量和所需要模拟的位移行程的增加, 速度和加速度指标会显著下降, 对于负载重量超过其指标范围的参试部件来说, 也无法开展仿真试验。而本文方法采用“二轴转台+负载支架”的方式来实现弹目相对运动和位置变化过程的模拟, 众所周知, 转台的速度和加速度指标可轻易高出二维平动系统 2 个量级以上, 其速度可达几百度/秒, 加速度可达几千度/s², 负载重量可达几十公斤至上百公斤, 以至于当前任何一种激光驾束制导武器系统, 使用转台都可以满足其开展半实物仿真所需的指标要求, 而不像使用二维平动系统一样受到诸多限制。

(2) 传统的激光驾束制导武器仿真需要借助二维平动系统来模拟导弹在俯仰、偏航方向上的线运动, 然而多数单位所配备的仿真设备多为转台, 对于没有二维平动系统的单位来说本文方法是一种简单、有效、实用的替代方案。

(3) 二维平动系统由于需要按照导弹飞行过程中弹目实际的位移行程来进行设计, 其框架和地基占用的空间很大, 相比而言, 转台所需的实验室空间要小得多, 在实验室面积有限的情况下, 使用本文方法进行仿真可大大节约实验室空间, 同时有利于实验室布局。

3 半实物仿真试验实施步骤

本文给出了一种通用的激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及方法, 能够满足不同类型激光驾束制导武器内场半实物仿真试验的需求, 具

有很好的通用性。在开展半实物仿真试验时, 参与试验的部件一般为观瞄制导装置、激光接收机、弹载计算机、舵机, 所使用的仿真设备为二轴转台、仿真计算机、舵加载器、试验控制台及仿真接口、数据记录装置、电源、实时网络系统等, 试验具体实施可按以下步骤进行:

step 1: 将观瞄制导装置安装在二轴转台的回转中心上, 将激光接收机固定安装在负载支架上, 并将支架负载中心的高度调节至与转台回转中心高度等高, 使得观瞄制导装置的光轴中心对准激光接收机的中心;

step 2: 调节观瞄制导装置上激光发射器输出的激光能量, 设置到合适的大小;

step 3: 按照图 3 所示的连接关系对各参试部件和仿真设备进行连接;

step 4: 此时仿真系统已搭建完成, 按照本文第 2 节给出的工作原理和试验流程即可开展激光驾束制导半实物仿真试验。

4 试验结果分析

利用本文方法对某型激光驾束制导导弹开展了半实物仿真试验, 参与试验的制导控制部件有观瞄制导装置、激光接收机、弹载计算机、舵机, 所使用的仿真设备有二轴转台、仿真计算机、舵加载器、试验控制台及仿真接口、数据记录装置、电源、实时网络系统等。设置了多种误差因子和试验条件对本文方法的有效性进行了考核验证, 这些误差因子主要包括: 理想环境、初始扰动、横风、发动机推力偏心、重压心距误差、舵面效率误差等。

通过随机数产生, 经过上述误差因子(理想环境、初始扰动、横风、发动机推力偏心、重压心距误差、舵面效率误差等)组合生成若干个半实物仿真条件, 根据这些条件进行半实物仿真试验, 图 4~5 给出了 2 组随机试验条件下弹上计算机指令和舵机反馈指令的对比, 该制导武器有 4 个通道的指令, 分别为通道 1 指令、通道 2 指令、通道 3 指令

以及通道 4 指令。其中, 通道 1 指令和通道 3 指令用于导弹俯仰方向姿态控制; 通道 2 指令和通道 4 指令用于导弹偏航方向姿态控制。当弹上计算机指令与舵机反馈指令较为一致时, 表明导弹舵机实际执行的结果与控制系统设计的结果一致, 从而能够验证本文算法的有效性。如图 3~4 所示, 弹上计算机指令与舵机反馈指令基本重合匹配良好, 与该制导武器的设计指标相符。经过对所有半实物仿真试验结果数据的综合统计, 该型制导武器的使用性能及环境适应性能能够满足主要战术技术指标要求, 验证结果充分证明了本文方法的有效性。

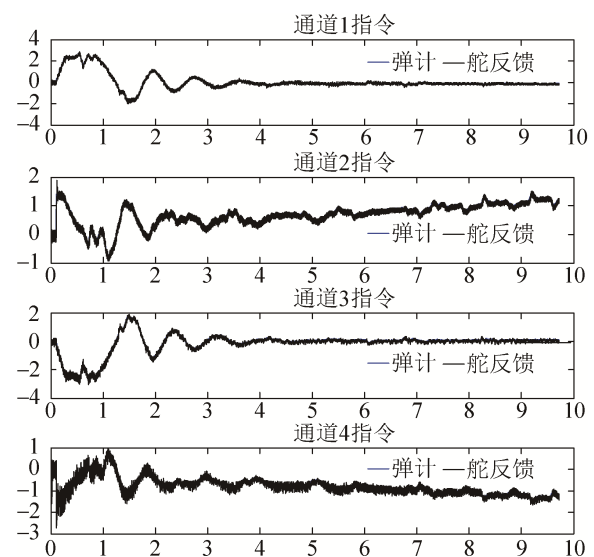


图 4 试验条件 1 试验结果
Fig. 4 Test conditions 1 test results

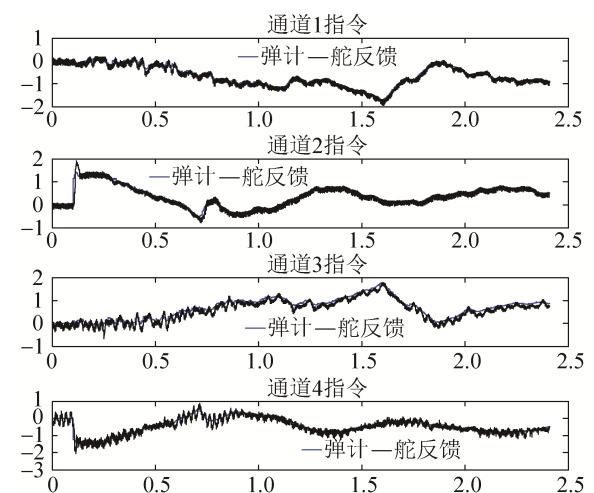


图 5 试验条件 2 试验结果
Fig. 5 Test conditions 2 experimental results

5 结论

本文提出了一种新的激光驾束制导武器半实物仿真系统构建及试验方法,解决了传统方法必须借助二维平动系统或由于二维平动系统能力不足无法对高速高机动目标进行仿真的不足。在试验时,将观瞄制导装置安装在二轴转台上,激光接收机固定在负载支架上,通过二轴转台的转动来模拟导弹飞行过程中每一时刻在激光信息场中的相对运动和位置变化,实现了激光驾束制导武器半实物仿真。该仿真系统构建方案及试验方法简单、实用,能够很好地满足此类武器系统半实物仿真试验的需求。

参考文献:

- [1] 张翼飞, 邓方林. 激光制导技术的应用及发展趋势[J]. 中国航天, 2004(6): 40-43.
Zhang Yifei, Deng Fanglin. Application and Development Trend of Laser Guidance Technology[J]. China Aerospace, 2004(6): 40-43.
- [2] 李智勇, 郁文贤. 低维超平面结构在高光谱图像异常检测中的应用[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(2): 194-199.
Li Zhiyong, Yu Wenxian. Application of Low-dimensional Hyperplane Structure in Abnormal Detection of Hyperspectral image[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(2): 194-199.
- [3] 于洵, 李博, 姜旭, 等. 激光驾束制导仪信息场半实物仿真研究[J]. 应用光学, 2011, 32(3): 401-406.
Yu Wei, LI Bo, Jiang Xu, et al. Semi-physical Simulation of Information Field of Laser Driving Guidance Instrument[J]. Journal of Applied Optics, 2011, 32(3): 401-406.
- [4] 易琰, 邹辉慧, 曹勇. 激光驾束制导信息场仿真系统设计[J]. 装甲兵工程学院学报, 2011, 25(3): 49-52.
Yi Yi, Zou Huihui, Cao Yong, et al. Design of Simulation System for Laser Beam Guidance Information Field[J]. Journal of Armored Force Engineering Institute, 2011, 25(3): 49-52.
- [5] 李云霞, 徐荣甫, 刘敬海. 激光光驾束制导仪性能测试系统研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(6): 474-477.
Li Yunxia, Xu Rongzhen, Liu Jinghai. Research on Performance Testing System of Laser Driving Guidance Instrument [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(6): 474-477.
- [6] 李云霞, 刘敬海, 赵尚弘. 激光驾束制导光场信息的模拟技术[J]. 光子学报, 2003, 32(4): 395-397.
Li Yunxia, Liu Jinghai, Zhao Shanghong, et al. Simulation Technology of Laser Beam Guidance Light Field Information[J]. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(4): 395-397.
- [7] 吕百达, 季小玲, 罗时荣, 等. 激光的参数描述和光束质量[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(1): 14-17.
Lü Baida, Ji Xiaoling, Luo Shirong, et al. Parameter Description and Beam Quality of Laser[J]. Infrared and Laser Engineering, 2004, 33(1): 14-17.
- [8] 赵尚弘, 白晋涛, 陈国夫, 等. 激光驾束制导 1.06 μm 激光照射器的研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(2): 1-3.
Zhao Shanghong, Bai Jintao, Chen Guofu, et al. Research on Laser Beam Steering 1.06 μm Laser Illuminator[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2001, 2(2): 1-3.