

激光引偏干扰半实物仿真训练系统

孙春生 张爽 饶炯辉

(海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要 根据激光引偏干扰系统的工作原理和使用方法,开发了一套激光引偏干扰半实物仿真训练系统。首先按照原理相同、操作相近的原则设计了半实物仿真系统,并重点分析了其中的关键技术;然后基于自主开发的半实物仿真训练系统,探讨了其操作训练方法。试验证明,开发的半实物仿真训练系统和规划的训练方法能够模拟激光引偏干扰对抗过程中威胁来袭、任务受领与分配、系统展开布设、引偏对抗和系统撤收的全过程,可用于激光引偏干扰系统基本操作和战术演练教学。

关键词 仪器;光电对抗;激光引偏干扰;半实物仿真;操作训练

中图分类号 TN977 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP50.080027

Hardware-in-the-loop Simulation Training System for Laser Decoy Departure Jamming

Sun Chunsheng Zhang Shuang Rao Jionghui

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033, China)

Abstract According to the jamming principle and application method of laser decoy departure equipment, a hardware-in-the-loop (HWIL) simulation training system for laser decoy departure jamming is developed. The system is designed in conformity with the fundamental of "same principium and similar operation" firstly, and the key technologies are emphatically analyzed. Furthermore, the mode of operation and drilling is discussed based on the self-developed HWIL simulation training system. It is proved that the developed training system and contrived drilling means can simulate the whole process of laser decoy departure jamming, including threaten coming, task receiving and assignment, system spread and layout, cheating jamming countermeasure and equipments taking back. Consequently they can be used in essential operation and tactical drilling teaching for laser decoy departure jamming system.

Key words instrumentation; electro-optical countermeasure; laser decoy departure jamming; hardware-in-the-loop; operation and drilling

OCIS codes 120.1880; 040.5160; 140.3360

1 引言

半主动激光制导武器以其命中精度高、抗干扰能力强、效费比高等优点在现代战争中得到了广泛的应用^[1-3]。激光引偏干扰利用激光假目标诱偏来袭的激光制导武器以保护真实目标的安全,是對抗激光半主动制导武器的有效手段^[4]。为了评估和测试激光引偏干扰系统的对抗效能,前人已做了大量研究。文献[5-7]研究了激光引偏干扰的干扰机理并建立了仿真分析模型。文献[8-9]研究了激光引偏干扰的干扰效果评估方法。文献[10-11]设计了激光引偏干扰半实物(HWIL)仿真试验系统以检验激光引偏干扰装备对制导武器的干扰效果。这些研究主要是对激光引偏系统固有性能和指标的测试,或是对其能够达到的干扰效果的评估,没有考虑装备使用的因素。而装备的使用方法直接影响着系统的最终干扰效果,即作战效能。寻求最优的使用方法,才能发挥其最大作战效能。在实装使用训练受限的情况下,从激光引偏干扰系统操作训练的角度出发,建立相应的半实物仿真训练系统,无疑是保障激光引偏干扰系统发挥应有效能的合适选择。

收稿日期: 2013-03-28; 收到修改稿日期: 2013-05-22; 网络出版日期: 2013-07-11

作者简介: 孙春生(1977—),男,博士,讲师,主要从事光电对抗技术、光电探测与信息处理等方面的研究。

E-mail: scs96581@163.com

本文面向激光引偏干扰系统的操作训练,根据激光引偏干扰系统的工作原理和使用方法,设计了激光引偏干扰半实物仿真训练系统,并基于此系统探讨了激光引偏干扰系统操作训练方法。

2 激光引偏干扰的原理与使用方式

典型的激光引偏干扰系统主要由激光告警器、激光信息综合处理器、干扰激光器、伺服转向装置、显控中心和假目标等组成,使用时布设在被保护目标的周围,如图 1 所示。

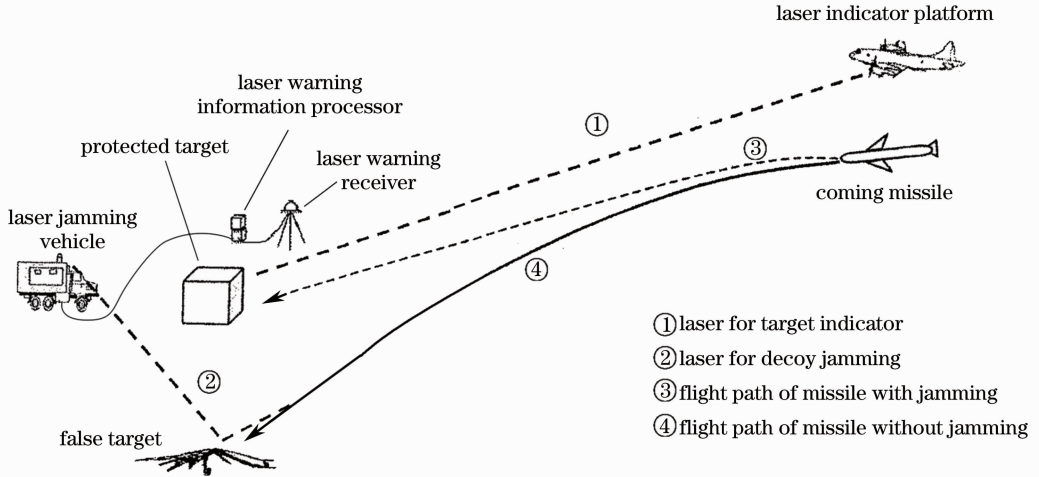


图 1 典型的激光引偏干扰系统的组成、使用与引偏效果示意图

Fig. 1 Sketch map of composition, application and decoy result for typical laser decoy departure jamming system

图 1 中干扰激光器、伺服转向装置和显控中心集成在激光干扰车上。激光引偏干扰的基本思想是利用假目标的牺牲换来被保护目标的安全。激光引偏对抗的基本过程为:激光告警设备探测到来袭的激光威胁信号后,经信息综合处理器对威胁信号进行编码识别和复制后,送给控制器驱动干扰激光器发出与来袭激光完全相同或相关的干扰激光,干扰激光经伺服转向装置投射到选定的漫反射假目标物体上,在漫反射物体上形成欺骗激光信号,诱骗来袭的激光制导武器改变弹道攻击假目标,从而达到防护被保护目标的目的。引偏效果如图 1 所示。

3 激光引偏干扰半实物仿真训练系统

3.1 研制目标与设计原则

激光引偏干扰半实物仿真训练系统的研制目标为:能够在实验室复现激光引偏干扰警戒探测、威胁解析、决策控制和引偏干扰的全过程,以用于激光引偏干扰装备的操作演练教学。

根据拟定的研制目标和应用环境,确定了“功能相同、操作相近、自激运行、简约可行”的设计原则。即激光引偏干扰半实物仿真训练系统在功能上与典型实装相同;在组成上简化硬件结构和数量以节约成本,且部分硬件的功能由显控中心软件代替实现;在操作上与实装相近,也就是主要人机交互硬件或软件界面与典型实装相同;增加指示激光器及其控制系统,使系统能够在指示激光的激励下模拟整个激光引偏干扰过程。

3.2 系统设计

根据研制目标与设计原则,激光引偏干扰半实物仿真训练系统由激光目标指示器、激光告警器、告警信息综合处理器、干扰激光器及转向装置、显控中心和漫反射板假目标等组成,如图 2 所示。

半实物仿真训练系统中,激光目标指示器用来模拟半主动激光制导过程中的激光指示平台,架设在实验室的三面墙壁上,共 7 组,可模拟 7 个不同方位来袭的目标指示激光,激光目标指示器的发光体制、编码及方位经激光驱动控制器由显控中心通过 RS485 总线控制;激光告警器和激光告警信息处理器由实装改造而成,用来完成对来袭激光威胁的探测和编码的识别,并将威胁信息送显控中心处理;干扰激光及转向装置用来模拟激光引偏过程中的干扰激光和潜望伺服装置,干扰激光器的方位和俯仰角经二维组合转台及其控制

器由显控中心控制,干扰激光器与指示激光器相同,也由显控中心控制;显控中心由台式机、串口卡和显控软件组成,完成对系统的控制决策、信息显示、数据分析处理和通信控制;漫反射板参照实装自制,用作激光假目标,共6块。为便于直观教学演示,每组激光目标指示器包括一支 $1.06\ \mu\text{m}$ 近红外激光器和一支 $532\ \text{nm}$ 绿光激光器,同组内的两支激光器相对于激光告警器的方位相同,近红外激光器用于模拟来袭的激光威胁信号,绿光激光器用于直观演示;干扰激光器则直接用 $532\ \text{nm}$ 绿光激光器代替。

3.3 关键技术

3.3.1 目标指示激光的模拟

从训练教学的角度出发,目标指示激光的模拟主要追求功能上的相似性,即能模拟半主动激光制导过程中不同编码及方位的指示激光束照射。考虑到实际对抗过程中,同一目标可能面临一束或多束指示激光的照射,仿真训练系统必须能够同时驱动一支或多只激光指示器发光,并能在不同的激光器之间灵活切换。因无需测试实装的性能指标,本系统没有考虑指示器光斑大小及能量密度与实际使用过程中的相似性,每只模拟指示激光器的光束发散角直接设定为 $25\ \text{mrad}$ 。指示激光器的编码及方位由上位机通过 RS485 总线控制。指示激光器的组成及控制结构如图 3 所示。

图 3 中的上位机即为显控中心,通过 RS485 总线与各指示激光器相连。指示激光器是 RS485 总线上的一个从机设备,由地址编码开关设定单元、微控制单元 (MCU) 控制电路和激光器组成。其中地址编码开关设定单元为各个从机设备分配唯一地址,采用 4 bit 的拨码开关,因此总线上最多可连接 16 个从机设备,工作前人工设定好拨码开关的状态,对应的设备就有了自己的地址码。MCU 控制电路单元包括脉冲宽度调制 (PWM) 频率调制输出部分和 RS485 通信部分,PWM 频率调制输出部分通过设置 MCU 的 PWM 调制寄存器的相关参数,输出一定频率的 PWM 信号,用以改变激光器的发光频率和编码;RS485 通信部分用来与上位机进行通信,通过 RS485 总线接收上位机发送过来的指令,并返回相关的数据给上位机。工作时 MCU 通过接收上位机发送过来的不同指令值来修改 PWM 寄存器的相关参数,使其输出与上位机指令相对应的频率值,PWM 频率在 $1\sim 10\ \text{kHz}$ 之间受控可调;激光器受 MCU 电路单元的控制发出不同体制和编码的激光。

3.3.2 干扰决策策略的实现

干扰决策策略主要指激光威胁来袭时选择假目标的策略,即探测到同方位或不同方位内的一批或多批来袭威胁时,首先确定来袭威胁的等级,然后选择适合的假目标作为引偏假目标的方法。此处的同方位指的是激光告警器方位分辨率范围内的角度区域,即相邻方向的来袭光束,如告警器不能分辨出方位的不同就认为是同一方位。干扰决策策略直接关系到引偏干扰的效能甚至成败。理想的干扰决策策略应根据来袭威胁的编码、重频和能量信息选择最合适的假目标。本仿真系统中忽略能量信息,只利用编码和重频信息,编码码位复杂和重频高者优先级高。

来袭威胁的优先级确定后,选择优先级高的威胁为干扰对象,不妨假定探测到的高优先级威胁方位角为

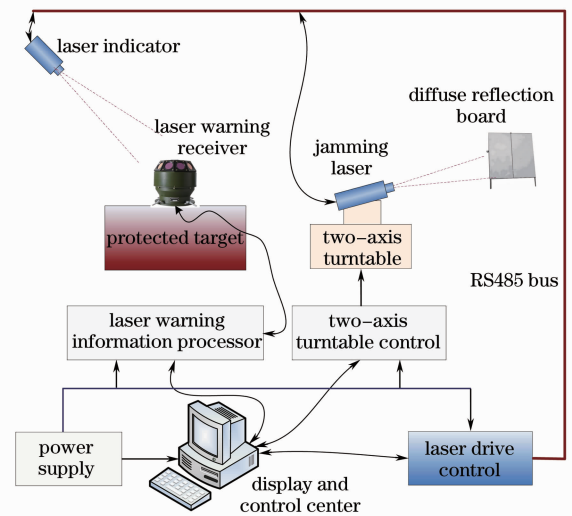


图 2 激光引偏干扰半实物仿真训练系统组成示意图
Fig. 2 Composition of HWIL simulation training system for laser decoy departure jamming system

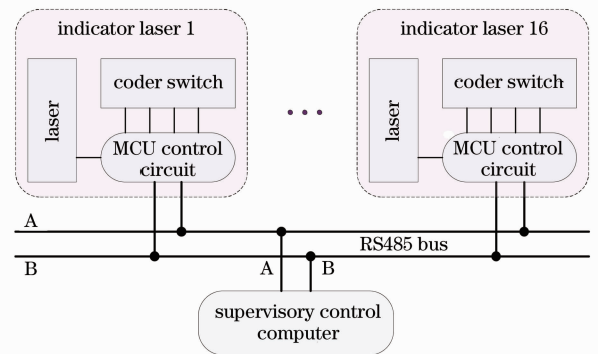


图 3 指示激光器组成与控制结构示意图
Fig. 3 Sketch map of composition and control structure of indicator laser

θ_{ma} 。选择假目标时需考虑假目标本身的性能参数和布设参数,一旦假目标类型确定并布设完成后,需考虑的典型参数包括假目标的有效防护角 θ_{ts} 、假目标相对于被保护目标的布设方位角 θ_{ta} 和假目标反射面的朝向方位角 θ_{tw} ^[3]。选择假目标时,假目标的布设方位角 θ_{ta} 应在来袭方位的镜像方向上下 45° 附近,即

$$\theta_{ta} \approx \text{mod}(\theta_{ma} + 180^\circ \pm 45^\circ, 360^\circ), \quad (1)$$

式中 $\theta_{ma} + 180^\circ \pm 45^\circ$ 表示来袭方位 θ_{ma} 镜像方向上下 45° , $\text{mod}(*, 360^\circ)$ 表示对 * 实施 360° 取模,以将角度限定在 $[0^\circ, 360^\circ)$ 的区间内,并且不改变方位的实际指向。

选择假目标时,还需保证来袭弹体方向(近似为 θ_{ma})在假目标的有效引偏空域内,即

$$\theta_{ma} - \theta_{ts} < \theta_{tw} < \theta_{ma} + \theta_{ts}. \quad (2)$$

满足(1)、(2)式条件的假目标即为合适的假目标。若同时有一个以上的假目标满足条件,则选择参数更靠近(1)、(2)式中间值的假目标为最终引偏假目标。

3.3.3 显示软件与人机交互软件的设计

显控中心完成对系统的控制决策、信息显示、数据分析处理和通信控制,是实装和仿真训练系统中人机交互的主要设备。其中的显示软件与人机交互软件不仅决定了人机交互的友好性,更决定着仿真训练系统显示、操作上与实装的一致性,最终影响着系统的训练效果。

本仿真系统的显示软件和人机接口软件参照典型实装中显控中心的界面和功能设计。显示软件按功能可分为假目标布站显示、干扰态势显示和人机交互控制界面显示等模块,分别完成假目标布站信息显示、干扰态势显示和人机交互信息的显示。人机接口软件采用二级菜单、对话框和功能键、快捷键的方式,实现人机交互和系统指挥控制。

4 激光引偏干扰系统的操作训练

4.1 基本操作训练

基本操作训练主要用于引偏干扰系统组成、功能、工作原理和操作方法的分项教学训练,包括展开布设、电气连接、上电自检、假目标存储、引偏干扰和设备撤收等内容。

展开布设指的是将引偏干扰系统内的子设备布放在合适的位置,将各子设备的布设参数调整到位,且需考虑子设备布设参数之间的协同。展开布设完成后,就可以进行电气连接了,即连接各子设备之间的电气电缆。接着对各子设备进行通电自检,以检测电气连接是否正常及设备本身是否存在故障。上电自检确定无故障之后,还需存储在展开布设阶段布放的假目标方位参数,以便显控中心生成干扰决策矩阵。假目标存储完成之后,当激光威胁来袭时,若假目标布设合理,显控中心就会根据干扰决策矩阵选择合适的假目标人工或自动进行引偏干扰。设备撤收实际上是展开布设、电气连接和上电自检的逆过程,即首先下电,然后断开电气连接,最后回收各子设备。

4.2 战术想定演练

在熟悉激光引偏干扰系统基本操作的基础上,就能够基于建立的半实物仿真训练系统,按照引偏干扰系统在实际应用过程中可能面临的对抗环境,想定三种典型的威胁场景,进行激光引偏干扰对抗系统的战术对抗训练。三种典型的威胁场景为:受领任务时已明确敌方威胁的来袭方位,不妨称之为定向干扰对抗;受领任务时只知道敌方来袭威胁的方位范围,不妨称之为角区域干扰对抗;受领任务时尚不能判断敌方来袭威胁的方位范围,不妨称之为全向干扰对抗。

定向干扰可重点对假目标布设的位置、告警器北向基准的对准、干扰激光器与告警器方位基准的一致性 & 操作的规范性等进行训练。角区域干扰可重点对假目标布设的数量和位置、各号手之间的组织协调性等因素进行训练。全向干扰可重点对战备等级转换的速度和流程优化等因素进行训练。

5 结束语

面向激光引偏干扰系统的操作训练,设计了一套激光引偏干扰半实物仿真训练系统。该设计遵循了“功能相同、操作相近、自激运行、简约可行”的设计原则。设计的仿真训练系统已应用于实验教学,能够在实验

室复现激光引偏干扰警戒探测、威胁解析、决策控制和引偏干扰的全过程。还基于设计的系统探讨了激光引偏干扰系统的操作训练方法,此方法对于实装操作训练具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 Dong Hongjun, Zhou Zhongliang, Wang Long. Subpixel location algorithm for laser spot in fish-eye imaging laser warning system [J]. Chinese J Lasers, 2011, 38(9): 0917002.
董红军,周中亮,王 龙. 鱼眼成像型激光告警系统光斑中心亚像元定位方法[J]. 中国激光, 2011, 38(9): 0917002.
- 2 Zhuang Xinyu, Chen Zhaobing. Current status and its developing trend of semiactive laser guided weapon [J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(6): 6-10.
庄昕宇,陈兆兵. 半主动激光精确末制导武器的发展现状与趋势[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(6): 6-10.
- 3 Li Shiwei, Zhang Jilong, Wang Zhibin, *et al.*. Detecting and warning system design of lase attacking direction [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48(6): 060403.
李世伟,张记龙,王志斌,等. 激光来袭方向探测与告警系统的设计[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(6): 060403.
- 4 Sun Chunsheng, Zhang Xiaohui, Rao Jionghui, *et al.*. Layout of diffuse reflection board used for laser decoy [J]. Laser & Infrared, 2013, 43(3): 252-255.
孙春生,张晓晖,饶炯辉,等. 激光引偏干扰中漫反射板假目标的布设方法[J]. 激光与红外, 2013, 43(3): 252-255.
- 5 Xu Daisheng, Wang Jianyu. Interactional effect between laser cheating jammer and laser guidance system [J]. J Infrared and Millimeter Waves, 2006, 25(1): 77-80.
徐代升,王建宇. 激光欺骗式干扰与激光制导系统相互作用效应研究[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(1): 77-80.
- 6 Tong Zhongcheng. Simulation research on ahead-time of laser-angle-cheating jamming signal [J]. Acta Armamentarii, 2008, 29(5): 633-636.
童忠诚. 激光角度欺骗干扰信号超前时间的仿真研究[J]. 兵工学报, 2008, 29(5): 633-636.
- 7 Liu Yanyan, Yan Xiusheng, Gao Wenqing, *et al.*. Mathematics simulation analysis of the laser deception jamming [J]. Journal of CAEIT, 2011, 6(3): 397-401.
刘严严,闫秀生,高文清,等. 激光角度欺骗干扰效果的数学仿真分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6(3): 397-401.
- 8 Li Shuanggang, Nie Jinsong, Li Hua, *et al.*. Assessment of effectiveness on angle deceptive jamming to semi-active laser-guided weapon [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(1): 41-45.
李双双,聂劲松,李 化,等. 对激光半主动制导武器的角度欺骗干扰的效能评估[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 41-45.
- 9 Liu Yuren, Li Shicheng, Fu Xin. Evaluation of angle deception jamming effectiveness using hardware-in-the-loop simulation [J]. Electro-Optic Technology Application, 2008, 23(3): 79-81.
刘玉仁,李世诚,付 欣. 基于半实物仿真的激光角度欺骗干扰效果评估[J]. 光电技术应用, 2008, 23(3): 79-81.
- 10 Dang Dongni, Li Bin, Fan Dongqi. Design of semi-physical simulation test system for laser jamming of angle deception [J]. Laser & Infrared, 2007, 37(5): 397-401.
党冬妮,李 斌,范东启. 激光角度欺骗干扰半实物仿真试验系统设计[J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 397-401.
- 11 Wang Yunping, Zhao Changming, Li Yan, *et al.*. Hardware-in-the-loop simulation system for laser-angle-deception jamming [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(5): 1217-1222.
王云萍,赵长明,李 岩,等. 激光角度欺骗干扰半实物仿真试验系统[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(5): 1217-1222.