

引用格式:胡晓璐,曹祥杰,常颖.激光引偏干扰效果评估仿真试验系统设计[J].电光与控制,2019,26(7):110-113. HU X L, CAO X J, CHANG Y. Design of a simulation test system for laser decoy jamming effect evaluation[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(7):110-113.

激光引偏干扰效果评估仿真试验系统设计

胡晓璐, 曹祥杰, 常颖
(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 郑州 450047)

摘要: 根据激光引偏干扰设备的工作原理和作战模式,设计了一种激光引偏干扰效果评估仿真试验系统。该系统能够真实地模拟激光半主动制导威胁,可配合激光引偏干扰设备完成干扰效果评估试验,对激光引偏干扰效果进行评估,为评价激光引偏干扰设备的干扰能力提供依据。

关键词: 激光引偏; 干扰效果评估; 仿真试验系统

中图分类号: TN249 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2019.07.022

Design of a Simulation Test System for Laser Decoy Jamming Effect Evaluation

HU Xiao-lu, CAO Xiang-jie, CHANG Ying

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Zhengzhou 450047, China)

Abstract: According to the working principle and operation mode of laser decoy jamming equipment, a simulation test system is designed for evaluating the effect of laser decoy jamming. The system can simulate the laser semi-active guidance threat, and can cooperate with the laser decoy jamming equipment to implement the jamming effect evaluation test for evaluating the laser decoy jamming effect, which supplies a basis for evaluating the jamming ability of laser decoy jamming equipment.

Key words: laser decoy; jamming effect evaluation; simulation test system

0 引言

激光引偏干扰是对抗激光半主动制导武器实施的一种欺骗式有源干扰方式,通过发射、转发激光辐射信号,形成具有欺骗功能的激光干扰信号,扰乱或欺骗敌方激光制导系统,使其偏离被攻击目标来达到干扰。对激光引偏设备干扰效果的评估大多采用理论分析或外场试验方法。进行外场实弹飞行试验是对激光引偏设备进行检测与评估最有效、最实际的一种途径,但受到试验耗费、组织实施、安全性等客观因素的制约,具有一定的局限性^[1-3]。

本文设计的激光引偏干扰效果评估仿真试验系统,能够真实地模拟激光半主动制导威胁,构造一个集战场环境、目标特性及弹目相对运动环境模拟于一体的仿真试验环境,通过将激光引偏设备实物接入仿真试验系统,能够检测和评估激光引偏设备的干扰能力。

1 激光引偏干扰原理

激光引偏干扰原理如图1所示。

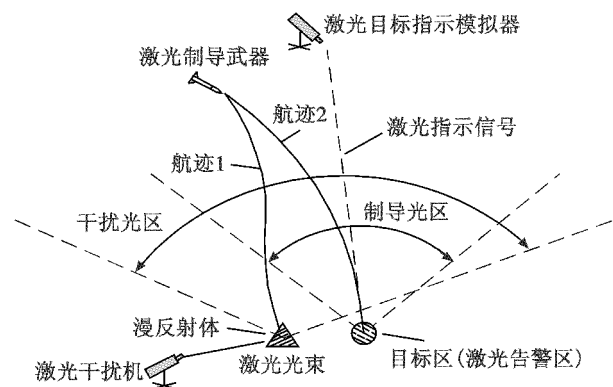


图1 激光引偏干扰原理图

Fig. 1 Schematic diagram of laser decoy jamming

首先,由激光告警设备对敌方制导信号的重复频率或码型进行识别,并根据识别出的相关参数,以某一时刻的来袭信号为同步点,预测威胁信号的到达时刻,由激光干扰系统向漫反射假目标发射信号体制相同的激光脉冲,使干扰信号进入激光导引头的的时间选通波门,

收稿日期:2018-10-19

修回日期:2018-11-28

作者简介:胡晓璐(1987—),男,安徽界首人,硕士,工程师,研究方向为光电对抗。

诱使其攻击假目标,从而达到保护目标区的目的^[4-5]。

2 系统设计

2.1 组成

激光引偏干扰效果评估仿真试验系统主要由激光目标指示模拟器、激光半主动制导模拟导引头、无人机平台、测控链路、地面控制站、控制与评估设备组成。

2.2 工作原理

无人机平台搭载激光半主动制导模拟导引头,根据地面站设置的典型激光半主动制导导弹飞行轨迹,从空中俯冲飞往目标区域,模拟来袭导弹;控制与评估设备

控制激光目标指示器朝向目标发射目标指示激光;激光半主动制导模拟导引头在侦测到激光回波信号后,给出相对于目标的位置偏差,飞控计算机根据偏差信息对无人机进行精确控制,对目标进行模拟攻击;同时,目标区域激光告警设备探测到目标指示激光后,引导激光引偏干扰设备发出干扰信号,对激光半主动制导模拟导引头进行干扰;在对抗结束后,无人机平台自动拉起复飞,进行下一次模拟攻击或根据地面指令归航,完成试验任务;控制与评估设备对整个试验数据进行采集,并对无人机平台和激光半主动制导模拟导引头下传的数据进行处理,根据干扰效果评估策略给出激光引偏干扰设备的干扰效果。系统工作原理如图2所示。

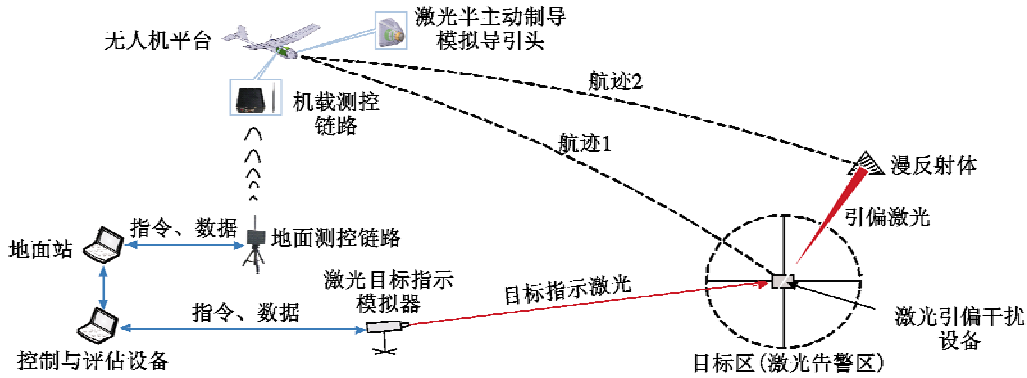


图2 系统工作原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the system working principles

2.3 激光目标指示模拟器

激光目标指示模拟器由激光器、瞄准望远镜、CCD观瞄、激光衰减器、驱动源、激光编码器、云台、三角支架组成,图3为其组成框图。激光器用于发出固定波长及频率的激光,激光衰减器可手动调节激光输出的能量,驱动电源为二极管提供工作电流,激光编码器为驱动电源提供高精度的时统信号和经编码后的调Q信号以触发泵浦源工作。

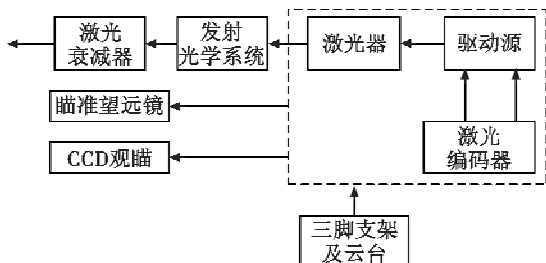


图3 激光目标指示模拟器组成框图

Fig. 3 Block diagram of laser target indicator

激光目标指示模拟器使用时安装在三角架上,在操作人员的控制下稳定输出激光信号,完成对目标的照射,发射的编码激光可引导激光制导导引头对被照目标进行攻击。照射时以选定的频率码进行激光发射,对锁定目标进行激光照射,根据时间模式的选择,

可以完成45 s或者15 s的激光照射,此时间为激光制导武器的制导窗口时间。

2.4 激光半主动制导模拟导引头

激光半主动制导模拟导引头由光学镜头、四象限探测器、模拟放大器、信号处理器等4部分组成。激光半主动制导模拟导引头与激光目标指示模拟器匹配使用,挂载到无人机平台上,模拟激光打击威胁,在无人机平台飞行过程中实时输出弹目偏差角、自转角。

2.5 无人机平台

无人机平台主要由机体结构、动力设备、伺服控制设备、飞控计算机、组合惯导、电源管理单元组成,图4为其组成框图。平台能够搭载载荷(激光半主动制导模拟导引头)模拟来袭制导武器逼近过程。

机体结构采用芳纶、弹性泡沫等高强轻质耐冲击材料设计,将机身及机翼组件模块化,便于拆装携带;零助跑手抛发射,滑降或深失速着陆、分解吸能回收方式,对地形适应能力强。

动力设备主要由锂电池、电机、螺旋桨、电调组成,主要为无人机平台提供动力支持。

伺服控制设备主要包括伺服舵机和相应的连杆机构,主要功能是将飞行控制电信号转变为无人机平台

舵面相应的转动,从而控制无人机平台的飞行姿态。

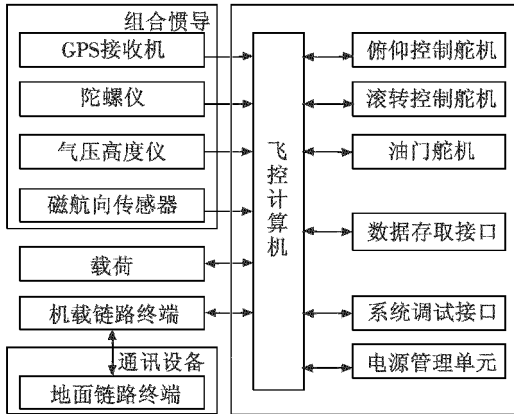


图4 无人机平台组成框图

Fig. 4 Block diagram of UAV platform

飞控计算机主要完成飞行控制与系统管理,包括自主导航控制、自主起飞与降落控制、定点盘旋控制、俯冲攻击控制、拉起控制、机上主要参数的实时记录、机载设备的故障诊断与处理、安全控制与回收控制等任务,同时,飞控计算机提供丰富的接口来完成与组合导航、电源管理、数据链路、载荷、执行机构的通信。

组合惯导主要完成位置信息、加速度信息、角速度信息、气压高度信息的采集并进行数据融合,获得飞控计算机所需要的位置、姿态、高度等导航数据。

电源管理单元在飞行器飞行期间直接或间接向机上所有用电设备连续供电。

2.6 测控链路

测控链路主要包括测控链路机载设备和测控链路地面设备。

测控链路机载设备包括机载收发组合、全向天线。机载设备接收地面遥控指令,并传送至飞行器,同时,飞行器送来的遥测信息及模拟器任务载荷的工作参数、工作状态及视频图像,将图像/遥测复合数据加密和纠错编码后,经QPSK调制和功率放大,由机上全向天线发送至测控链路地面设备。

测控链路地面设备包括地面监控设备、链路收发组合、射频前端及全向天线等。测控链路地面设备接收来自地面站的遥控指令并上传至测控链路机载设备,同时接收来自飞行器的下行数据并解码,然后传送至地面站进行处理和显示。

2.7 地面控制站

地面控制站主要由硬件平台和地面控制软件组成,用于向无人机平台的发射、飞行和回收,接收和处理系统数据及信息,并提供外部数据接口,用于向控制与评估设备传输数据信息。地面站控制软件功能见图5。

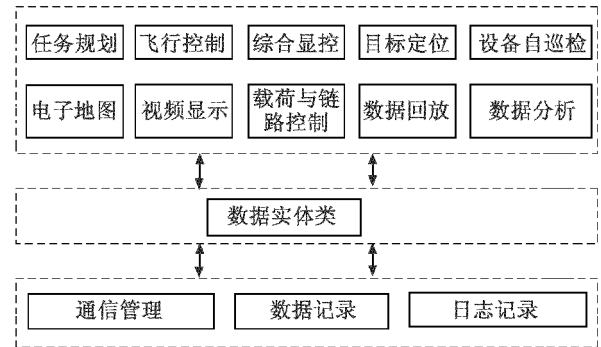


图5 地面站控制软件功能示意图

Fig. 5 Schematic diagram of ground station control software

2.8 控制与评估设备

控制与评估设备由主控计算机、数据库服务器、网络通信及接口设备,以及计算机操作系统软件、支持管理软件、系统控制软件、辅助软件和控制评估软件等组成。

3 软件设计

系统软件主要完成系统自检、设备信息交换、数据采集和存储管理、仿真试验数据分析和干扰效果评估等工作,主要由以下模块组成。

1) 通信模块。建立各载荷设备、平台设备与操控计算机间的连接,实现对数据的接收、发送、校验与解析。

2) 控制模块。控制各设备的启动、停止。通过控制各设备的工作状态、设置设备工作参数,形成预定训练环境,并根据训练模式的不同,自动生成测试流程。同时,控制模块实现对各设备的自动检测功能。

3) 显示模块。显示各设备连接状态、工作状态、工作参数和图像等信息;显示当前试验类型及试验过程,显示各种输入、输出信息。

4) 存储模块。存储系统采集及生成的日志、状态、数据、图像等信息。

5) 评估模块。采集试验数据,建立评估模型,根据不同的试验环境、不同的参试设备,对本次试验对抗效果进行评估。

4 干扰效果评估策略设计

在干扰效果评估试验中,采用模拟弹着点的方法,计算激光引偏干扰距离 L ,通过与模拟制导武器杀伤半径 R 的对比,得出激光引偏干扰设备的干扰效果。

4.1 坐标转换

试验中,为了描述两点之间位置关系,需要将激光引偏干扰设备和无人机平台GPS坐标转换为以激光引偏干扰设备为中心的站心直角坐标。设激光引偏干扰设备GPS坐标为 (L_0, B_0, H_0) ,无人机平台GPS坐标为 (L_m, B_m, H_m) ,其中: L 表示经度, B 表示纬度, H 表示

高度。

空间直角坐标系原点为地心, X 轴为地心指向本初子午面与赤道的焦点, Z 轴指向地球北极方向, XYZ 构成右手坐标系。GPS 坐标 (B, L, H) 转换为空间直角坐标系下的 (X, Y, Z) 坐标, 其算式为^[6]

$$\begin{cases} X = (N + H) \times \cos B \times \cos L \\ Y = (N + H) \times \cos B \times \sin L \\ Z = [N \times (1 - e^2) + H] \times \sin B \end{cases} \quad (1)$$

式中: N 为椭球面卯酉圈的曲率半径, $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \times \sin^2 B}}$, e 为参考椭球的第一偏心率, $e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$, a 为参考椭球的长半轴, b 为参考椭球的短半轴。

由式(1)可以得到激光引偏干扰设备空间直角坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 和无人机平台空间直角坐标 (X_m, Y_m, Z_m) 。

空间直角坐标系通过旋转和平移方法转换为站心直角坐标系: 空间直角坐标系绕 Z 轴逆时针旋转 L_0 , 绕 Y 轴顺时针旋转 B_0 (X 轴向上, Y 轴向东, Z 轴向北), 绕 X 轴逆时针旋转 α (Z 轴与正北偏角)。

绕 Z 轴逆时针旋转 L_0 对应矩阵为

$$R_Z(L_0) = \begin{pmatrix} \cos L_0 & \sin L_0 & 0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

绕 Y 轴顺时针旋转 B_0 对应矩阵为

$$R_Y(B_0) = \begin{pmatrix} \cos B_0 & 0 & \sin B_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin B_0 & 0 & \cos B_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

绕 X 轴逆时针旋转 α 对应矩阵为

$$R_X(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (4)$$

由式(2)~式(4)得到坐标系旋转矩阵 K 和平移矩阵 P , 即

$$K = R_X(\alpha) \cdot (R_Y(B_0) \cdot R_Z(L_0)) \quad (5)$$

$$P = (X_0 \ Y_0 \ Z_0)^T \quad (6)$$

可以得到无人机平台在以激光引偏干扰设备为中心的站心直角坐标系下的坐标为 (U_g, E_g, N_g) , 即

$$\begin{pmatrix} U_g \\ E_g \\ N_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \left(K \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} - P \right) \quad (7)$$

由式(7)可求得

$$\begin{cases} U_g = \cos B_0 \cos L_0 X_{m0} + \cos B_0 \sin L_0 Y_{m0} + \sin B_0 Z_{m0} \\ E_g = (-\cos \alpha \sin L_0 + \sin \alpha \sin B_0 \cos L_0) X_{m0} + (\cos \alpha \cos L_0 + \sin \alpha \sin B_0 \sin L_0) Y_{m0} - \sin \alpha \cos B_0 Z_{m0} \\ N_g = (-\sin \alpha \sin L_0 - \cos \alpha \sin B_0 \cos L_0) X_{m0} + (\sin \alpha \cos L_0 - \cos \alpha \sin B_0 \sin L_0) Y_{m0} + \cos \alpha \cos B_0 Z_{m0} \end{cases} \quad (8)$$

4.2 弹着点评估

无人机平台安装有惯性器件, 在飞行参数中具有飞机相对北方向的偏航角 ψ_f 、相对水平面的俯仰角 θ_f 及相对于 θ 轴的横滚角 ϕ_f 等参数。激光半主动制导模拟导引头在跟踪过程中输出偏差角换算成方位角 ψ_m 和俯仰角 θ_m 。则光轴指向分别为偏航角 ψ_g 、俯仰角 θ_g 、横滚角 ϕ_g , 即

$$\begin{cases} \psi_g = \psi_f + \theta_m \cdot \sin \phi_f + \psi_m \cdot \cos \phi_f \\ \theta_g = \theta_f + \theta_m \cdot \cos \phi_f - \psi_m \cdot \sin \phi_f \\ \phi_g = \phi_f \end{cases} \quad (9)$$

若俯仰角 $\theta_g < 0$, 则与地面存在交点, 设交点为 $(U_t = 0, E_t, N_t)$, 则有

$$\tan \psi_g = \frac{E_t - E_g}{N_t - N_g} \quad (10)$$

$$\tan \theta_g = -\frac{U_g}{\sqrt{(N_t - N_g)^2 + (E_t - E_g)^2}} \quad (11)$$

由式(10)和式(11), 可求得模拟弹着点坐标 (E_t, N_t) , 则弹着点与目标间的距离 L 为

$$L = \sqrt{E_t^2 + N_t^2} \quad (12)$$

而通过距离 L 和模拟制导武器的杀伤半径 R 可以评估干扰设备干扰效果: 若 $L \leq R$, 则判定干扰无效; 若 $L > R$, 则判定干扰有效。

5 结束语

本文根据激光引偏干扰原理, 设计了一种激光引偏干扰效果评估仿真试验系统, 该系统采用无人机平台搭载激光半主动制导模拟导引头的方式, 可真实地模拟激光半主动制导威胁, 同时基于该系统提出了基于弹着点评估的干扰效果评估策略, 可用于检测和评估激光引偏设备的干扰能力。

参考文献

- [1] 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): 271-274.
- [2] 赵乾, 徐利国, 范小虎, 等. 激光角度欺骗干扰半实物仿真研究[J]. 激光与红外, 2017, 47(5): 635-640.
- [3] 何衡湘, 陈亦庆, 赵刚, 等. 激光导引系统主要技术参数分析[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(3): 428-432.
- [4] 叶盛祥. 光电干扰防护系统技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [5] 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.
- [6] 王瑞革, 赵丹辉, 刘江波. 基于 GPS 技术的雷达标校方法研究[J]. 火控雷达技术, 2011, 40(2): 12-16.