

·测试、试验与仿真·

激光角度欺骗干扰半实物仿真态势构造研究

尹照武¹, 张文攀², 夏兴宇¹

(1. 63893部队, 河南 洛阳 471003; 2. 63892部队, 河南 洛阳 471003)

摘要:从激光告警与激光导引头工作原理出发,对影响激光角度欺骗干扰半实物仿真的因素进行了分析,分别对典型条件下的攻击方态势和防御方态势进行了构造,对关键参数进行了仿真分析;根据构造原则,提出了配置与联通关系。

关键词:角度欺骗;激光制导;半实物仿真;构造

中图分类号:TN249

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-05-0089-04

Research on Awareness Construction of Hardware-in-the-loop Simulation for Laser Angle Deception Jamming

YIN Zhao-wu¹, ZHANG Wen-pan², XIA Xing-yu¹

(1. 63893 Army Unit, Luoyang 471003, China; 2. 63892 Army Unit, Luoyang 471003, China)

Abstract: The factors influencing hardware-in-the-loop simulation of laser angle deception jamming are analyzed based on the operation principles of laser warning and laser guidance theory. The awareness of the attacker and defender under typical conditions is constructed respectively. Key parameters are simulated and analyzed. The relationships between configuration and connection of the equipments are put forward based on construction principles.

Key words: angle deception; laser-guided; hardware-in-the-loop simulation; construction

战术模拟仿真实验关键在于战术环境的构造。一般情况下,由于条件限制,激光导引头模拟系统和激光目标指示器模拟系统无法运动,因此激光角度欺骗干扰半实物仿真态势构造方式问题主要体现在如何在激光告警器和激光导引头处构造与真实状态相一致的激光信号环境。

1 激光接收装备工作原理分析

1.1 激光告警器

激光告警器主要用于侦察激光制导信号,识别激光制导信号来袭方向和码型,引导激光角度欺骗干扰装备转发同型编码照射假目标,以诱导激光制导武器跟踪假目标,完成保护目标的任务。由此可

知,影响激光告警器探测的主要参数为:相对位置、散射激光能量密度、制导激光编码。

由于假目标采用漫反射方式反射干扰激光,因此其对激光制导信号来袭方向的识别要求很低^[1-2],激光能量密度动态特征利用激光目标指示器前端加载动态衰减器的方法进行构造。

1.2 激光导引头

激光导引头主要用于接收激光信号,识别出其需要攻击的目标,并调整自身外弹道和姿态飞向攻击目标^[3]。由此可知,影响激光导引头探测的主要参数为:外弹道参数、导引头姿态、接收到的激光能量密度、相对视场变化。

外弹道参数可利用弹道仿真系统仿真产生。导引

头姿态可以利用弹道仿真系统仿真产生后利用小型三轴转台模拟;激光能量密度可利用外弹道参数结合初始战情设计产生后利用连续动态激光衰减装备动态控制目标指示器和角度欺骗激光器能量模拟;相对视场可利用外弹道参数结合初始战情设计产生后利用在导引头前端加装可变光阑遮挡的方式模拟。

2 仿真态势构设方式

真实战场交战环境可分为两大部分:攻击方态势和防御方态势。对于激光角度欺骗干扰装备来说,攻击方态势主要由激光目标指示器、激光制导武器和目标三部分组成;防御方态势主要由目标、激光角度欺骗干扰装备和假目标组成;两者通过目标和假目标有机结合。

2.1 攻击方态势构设

攻击方态势构设的核心是构建基于模型和部分实物在计算机和仿真设备组成的模拟环境,关键是对激光制导武器的运用方式进行建模仿真,得出逼真的弹道与激光能量密度参数。

下面以弹目相对运动学模型为例来进行建模和仿真实现,采取空间坐标变换方法对其进行推导^[4],由式1哥氏定理进行分析。

$$\frac{d\vec{R}}{dt} = \frac{\delta\vec{R}}{\delta t} + \vec{\omega} \times \vec{R} = \vec{V}_T - \vec{V}_M \quad (1)$$

其中, V_T 、 V_M 分别为目标和导弹相对地面坐标系的速度, R 为弹目相对距离。

设 ω 为目标视线坐标系相对地面坐标系的旋转角速度,其在视线坐标系中的投影可由坐标变换矩阵式(2)得到。

$$\begin{bmatrix} \omega_{xs} \\ \omega_{ys} \\ \omega_{zs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_\alpha & \sin q_\alpha & 0 \\ -\sin q_\alpha & \cos q_\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ q_\beta \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ q_\alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, q_α 和 q_β 分别为视线高低角和视线方位角。则式(1)可推导为式(3)。

$$\frac{\delta\vec{R}}{\delta t} + \vec{\omega} \times \vec{R} = \vec{R}\dot{i} + \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega_{xs} & \omega_{ys} & \omega_{zs} \\ R & 0 & 0 \end{vmatrix} = \quad (3)$$

$$\vec{R}\dot{i} + Rq_\alpha\dot{j} - Rq_\beta\cos q_\alpha\dot{k}$$

目标速度矢量 \vec{V}_T 在视线坐标系的投影可由坐

标变换得到,见式(4)。

$$\begin{bmatrix} V_{TXS} \\ V_{TYS} \\ V_{TZS} \end{bmatrix} = \mathbf{L}_{DMd}^T \mathbf{L}_{DMS} \begin{bmatrix} V_T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, \mathbf{L}_{DMd}^T 为地面坐标系至目标弹道坐标系的转换矩阵的转置矩阵(即目标弹道坐标系到地面坐标系的转换矩阵),见式(5), \mathbf{L}_{DMS} 为地面坐标系到目标视线坐标系的转换矩阵,见式(6)。

$$\mathbf{L}_{DMd}^T = \begin{bmatrix} \cos \theta_T \cos \psi_T & -\sin \theta_T \cos \psi_T & \sin \psi_T \\ \sin \theta_T & \cos \theta_T & 0 \\ -\cos \theta_T \cos \psi_T & \sin \theta_T \cos \psi_T & \cos \psi_T \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{L}_{DMS} = \begin{bmatrix} \cos q_\alpha \cos q_\beta & \sin q_\beta & -\cos q_\alpha \sin q_\beta \\ -\sin q_\alpha \cos q_\beta & \cos q_\alpha & \sin q_\alpha \sin q_\beta \\ \sin q_\beta & 0 & \cos q_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, θ_T 、 ψ_T 与 θ_M 、 ψ_M 分别为目标、导弹的弹道倾角和弹道偏角。

同理导弹速度矢量 \vec{V}_M 在目标视线坐标系上的投影可由坐标变换得到,见式(7)。

$$\begin{bmatrix} V_{MXS} \\ V_{MYS} \\ V_{MZS} \end{bmatrix} = \mathbf{L}_{DD}^T \mathbf{L}_{DMS} \begin{bmatrix} V_M \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, \mathbf{L}_{DD}^T 为地面坐标系至弹道坐标系的转换矩阵的转置矩阵,见式(8)。

$$\mathbf{L}_{DD}^T = \begin{bmatrix} \cos \theta_M \cos \psi_M & -\sin \theta_M \cos \psi_M & \sin \psi_M \\ \sin \theta_M & \cos \theta_M & 0 \\ -\cos \theta_M \cos \psi_M & \sin \theta_M \cos \psi_M & \cos \psi_M \end{bmatrix} \quad (8)$$

综合以上各式,得到弹目距离变化率 \dot{R} 弹目视线高低角变化率 \dot{q}_α 和视线方位角变化率 \dot{q}_β 的微分方程,见式(9)与式(10)。

$$\begin{aligned} \dot{R} &= V_T(\cos \theta_T \cos q_\alpha \cos(\psi_T - q_\beta) + \sin \theta_T \sin q_\beta - \\ &V_M(\cos \theta_M \cos q_\alpha \cos(\psi_M - q_\beta) + \sin \theta_M \sin q_\beta) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} R\dot{q}_\alpha &= V_M(\cos \theta_M \sin q_\alpha \cos(\psi_M - q_\beta) - \\ &\sin \theta_M \cos q_\alpha) - V_T(\cos \theta_T \sin q_\alpha \cos(\psi_T - q_\beta) - \\ &\sin \theta_T \cos q_\alpha) \end{aligned} \quad (10)$$

通过上述模型可得出激光制导武器的弹道参数,而能量密度变化可通过下面模型得到,见式(11)。

$$U_t = \frac{U_0 T_t \tau_{\text{指目}} \sigma \tau_{\text{弹目}} T_r A_s \cos \epsilon}{\pi^2 R_1^2 \theta_0^2 R_2^2} \quad (11)$$

式中, U_t 为激光导引头接收的能量; U_0 为激光目标指示器发射的单脉冲能量; σ 为激光雷达散射截面; θ_0 为激光指示器的束散角; T_t 为激光目标指示器的透过率; $\tau_{\text{指目}}$ 为激光照射路程 R_1 上的大气激光透过率; $\tau_{\text{弹目}}$ 为导引头与目标之间路程 R_2 上的大激光透过率; T_r 为导引头的透光率; A_s 为导引头接收能量面积; ϵ 为导引头光轴与目标表面法线的夹角。

设置战术条件并进行仿真:目标被蓝军侦察机发现后,蓝军携带激光制导武器采用本机照射方式对其进行轰炸。弹道仿真曲线与激光能量密度变化曲线如图1和图2所示。

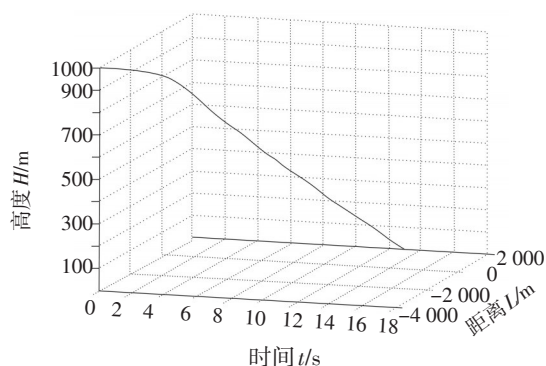


图1 弹道仿真曲线

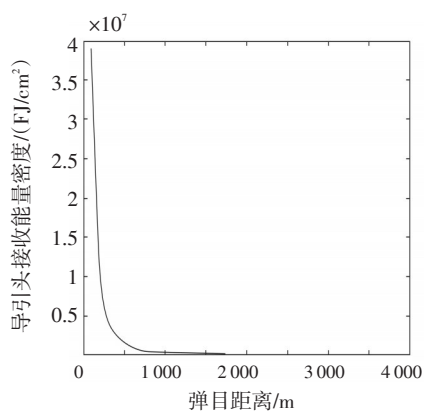


图2 激光指示信号能量链路模拟

由仿真结果可以看出,除制导末端外,制导段弹体轨迹较为平直,导引头处能量密度变化较快,弹目连线俯仰角变化范围小。由此可以得知,由于制导系统的作用,弹体末制导段运行轨迹可近似认为是直线运动。导引头处能量密度变化范围大,需要采用大动态范围的动态衰减器,而且为了模拟尽可能

大的动态范围,激光制导武器模拟器需要尽可能靠近目标,保证目标与假目标皆在导引头视场内,另由于采用本机照射情况,指示激光相对于激光告警器角度变化不大,因此可认为在一次攻击过程中指示激光只在激光告警器的一个区域告警,在本机照射目标过程中,距离不断变化,到达激光导引头的激光能量密度呈现不断增大的趋势,可通过目标指示器加载动态衰减器,模拟激光导引头接收指示激光的动态变化趋势与范围。

2.2 防御方态势构造

根据防御方装备性能与作战运用,通常将激光制导武器模拟器距离目标 x (m),角度欺骗干扰装备距离被保护目标距离为 y (m),假目标在保护目标的周围且距离目标约 z (m) 布设。

由于真假目标布设距离确定,激光导引头相对真假目标的布设距离确定,相对攻击方态势可知,导引头在固定视场下对应的战场范围大小等效到固定距离上导引头视场,其变化趋势为等效视场角随着弹目距离的减小而减小而且是连续变化,可以采用可变光阑控制导引头视场的方式实现。由于激光导引头处激光能量密度随距离减小而不断增大,在接近目标时激光能量密度变化剧烈,因此需要在激光干扰装备加载大范围动态衰减器,保证攻击方激光导引头处的干扰激光能量密度的变化趋势与范围。

3 装备配置与联通关系

装备配置与联通方式如图3所示。

目标指示器通过动态衰减器衰减照射到目标的激光能量以控制激光导引头接收到的目标反射能量密度^[5]。干扰激光器利用激光告警器信息发射干扰激光通过动态衰减器衰减照射到假目标的激光能量以控制激光导引头接收到的假目标反射能量密度。激光导引头通过可变光阑控制视场大小,通过三轴仿真转台控制姿态。弹道仿真系统计算外弹道参数和激光导引头姿态,并利用相关布站信息计算激光导引头接收到的目标和假目标激光能量密度并控制动态衰减器完成相应控制,以及利用外弹道参数、相关布站信息计算导引头相对视场变化情况并控制可变光阑完成相应控制。

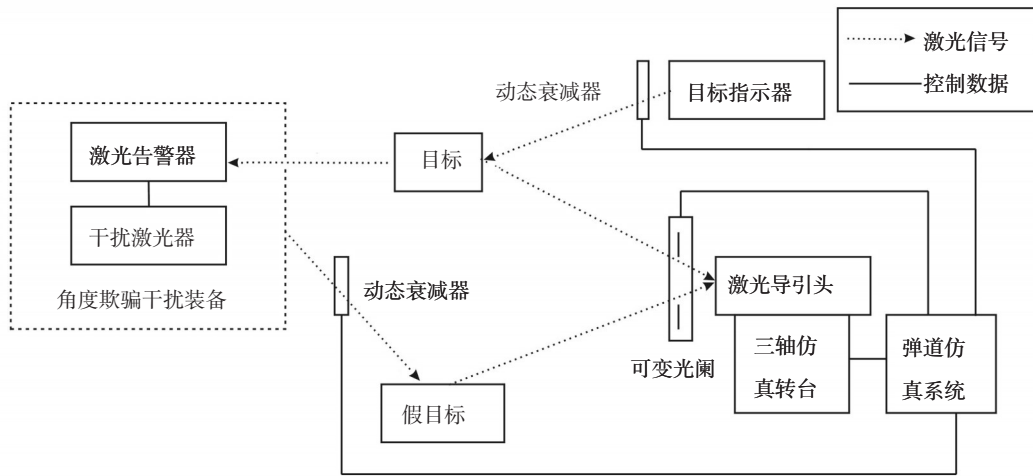


图3 装备配置与联通关系图

4 结束语

态势构造需要仔细分析装备的工作原理和各种影响因素,抓住主要因素,弱化次要因素,排除无关因素,保证模拟态势的真实度和可信度。文中建立的激光角度欺骗干扰半实物仿真态势构造方式即为这方面的初步探索。半实物仿真态势构造的真实度和可信度的校验需要长期的试验经验和精确动态参数测量保证。

参考文献

- [1] 杨在富,钱焕文,高光煌.激光告警技术发展现状[J].激光技术,2004,28(1):98-102.
- [2] 黄成功,吴军辉,姚梅,等.激光威胁源方向识别技术[J].红外与激光工程,2011,40(4):637-642.
- [3] 李慧,吴军辉,朱震,等.速率陀螺式激光导引头稳定跟踪原理分析与仿真[J].红外与激光工程,2011,40(7):1337-1341.
- [4] 李慧,吴军辉.激光制导武器角度欺骗干扰半实物仿真系统设计的探讨[J].光电子技术,2011,31(1):37-41.
- [5] 张文攀,吴军辉,胡欣,等.基于激光导引头对抗数据的光电对抗效果实验方法研究[J].红外与激光工程,2013,42(3):637-642.
- [6] 刘严严.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.
- [7] 王江.激光半主动制导武器半实物仿真系统能量链研究[J].红外与激光工程,2011,40(7):1230-1233.
- [8] 刘玉仁.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.