

· 测试、试验与仿真 ·

水面舰艇光电干扰系统建模与仿真

徐大伟

(中国人民解放军海军驻锦州地区军事代表室, 辽宁 锦州 121000)

摘要:介绍了基于HLA平台的水面舰艇光电干扰仿真系统的组成、主要模型及工作流程,对其中的反舰导弹运动模型和红外场景三维模型进行了详细描述,并对仿真结果进行了分析。文中建立的仿真系统可用于舰艇光电干扰演练和性能评估。

关键词:水面舰艇;光电干扰;HLA

中图分类号: TN972

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-06-0068-05

Simulation of Electro-optical Jamming System on Surface Ship

XU Da-wei

(Military Representative Office of Navy of the PLA in Jinzhou, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The composition, main models and operation flow of the surface ship electro-optical jamming simulation system based on high level architecture (HLA) are introduced. The anti-ship missile motion and Infrared scene three-dimension models are described in detail. And the simulation results are analyzed. The simulation system can be used in ship electro-optical jamming training and characteristic assessment.

Key words: surface ship; electro-optical jamming; high level architecture (HLA)

在信息化条件下的海战中,舰艇面临的最大威胁是来自空中的光电制导武器,如激光制导、红外成像制导、电视制导导弹等。因此水面舰艇光电干扰系统成为各国海军研究的重点。由于计算机仿真技术的快速发展,基于计算机技术的全数字仿真成为分析问题、解决问题的有效方案。计算机仿真能够根据对象实际处理流程进行数学建模,通过计算机模拟复现实际对象具体处理的全过程。文中对大型水面舰艇的光电干扰系统进行建模仿真,为舰艇电子对抗演练、战术对抗、战法和训法研究、装备论证、性能评估等提供参考。

1 仿真系统组成

水面舰艇光电干扰仿真系统由环境仿真单元、仿真控制单元、威胁源仿真单元、探测仿真单元、指

挥决策单元、干扰仿真单元、态势显示单元、作战效果评估单元、数据库单元等构成,仿真系统组成如图1所示。

(1)环境仿真单元主要模拟自然环境对舰艇内各种装备及光电干扰过程产生的各种影响。例如,环境造成的光电成像设备的性能下降、电磁波能量的衰减、气流对导弹飞行的扰动等。

(2)仿真控制分单元提供对抗双方的初始设置和实时监控对抗全过程,可根据需要进行对抗过程开始、推进、暂停、结束,并且能够对仿真过程进行记录和回放。

(3)威胁源仿真单元主要模拟舰艇面临的光电侦察威胁和反舰导弹威胁。

(4)探测仿真单元、指挥决策单元、干扰仿真单元用来模拟光电干扰装备的功能。探测仿真单元搜集各类战场情报信息,为平台自身的安全提供保

障。指挥决策单元具有汇集情报信息、进行态势分析和干扰决策、管理可利用资源等功能。干扰仿真单元模拟干扰设备功能,对威胁类目标进行干扰。

(5)态势显示单元主要完成战场三维和二维态势显示。

(6)作战效果评估单元能够对在线和离线的数据进行分析、统计,给出综合效能评估结果。

(7)数据库单元能够动态存入仿真想定、仿真过程和仿真结果数据,支持仿真记录回放和效能评估。

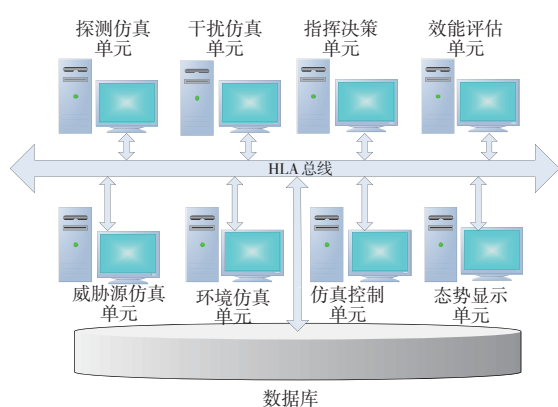


图1 仿真系统结构组成

2 仿真系统主要模型

水面舰艇光电干扰系统涉及的模型非常丰富,主要包括:运动平台模型建模(包括飞机、导弹、舰船等)、光电干扰装备功能模块建模、威胁类型模型建模(光电精确制导武器模型)、效能评估模型、仿真系统控制模型、环境模型、数据库模型等。以下章节分析了其中几种重要的模型建模技术。

2.1 反舰导弹运动模型

反舰导弹运动模型建模是系统建模的重点和难点。反舰导弹发射后,导弹在惯导系统控制下左右转弯,进入初始航向,然后自动下滑到预定高度。到达作战海面上空时,导弹再次下降,在预定的航线分段点转入最后攻击航线进行掠海飞行。在接近目标时,导弹爬升到一定高度,导引头开始搜索;发现目标后,自动跟踪,将导弹导向目标,使导弹击中目标舰吃水线上方,将其击毁。

通常,导弹沿六自由度运动,即导弹姿态运动和质心运动。反舰导弹作为控制对象,其建模主要考

虑动力学模型建模和运动学模型建模。

惯性坐标系下的导弹质心运动方程的形式如下

$$m \frac{dv_M}{dt} = R + G \quad (1)$$

式中, m 为导弹质量(kg); $\frac{dv_M}{dt}$ 为导弹质心相对惯性坐标系的加速度(m/s^2); G 为地球引力(N); R 为空气动力(N)。

为确定导弹质心相对于惯性坐标系的运动轨迹,需要建立导弹质心相对于惯性坐标系运动的运动学方程如下

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_x \\ \frac{dy}{dt} = v_y \\ \frac{dz}{dt} = v_z \end{cases} \quad (2)$$

用反舰导弹的运动速度 V_M 及弹道倾角和弹道偏角描述导弹的质心运动学方程为

$$\begin{cases} x = V_M \cos \sigma \cos \theta \\ y = V_M \cos \sigma \sin \theta \\ z = -V_M \sin \sigma \end{cases} \quad (3)$$

式中, σ 为弹道倾角; θ 为弹道偏角。

反舰导弹姿态的运动学方程可直接应用导弹转动角速度 ω 在弹体坐标系的投影导出。

$$\begin{cases} \omega_{x_b} = \gamma - \varphi \sin \psi \\ \omega_{y_b} = \psi \cos \gamma + \varphi \cos \psi \sin \gamma \\ \omega_{z_b} = \varphi \cos \psi \cos \gamma - \psi \sin \gamma \end{cases} \quad (4)$$

即

$$\begin{cases} \gamma = \omega_{x_b} + \omega_{y_b} \frac{\sin \gamma \sin \psi}{\cos \psi} + \omega_{z_b} \frac{\cos \gamma \sin \psi}{\cos \psi} \\ \psi = \omega_{y_b} \cos \gamma - \omega_{z_b} \sin \gamma \\ \varphi = \omega_{y_b} \frac{\sin \gamma}{\cos \psi} + \omega_{z_b} \frac{\cos \gamma}{\cos \psi} \end{cases} \quad (5)$$

式中, ω 为转动角速度; γ 为导弹滚转角; ψ 为导弹偏航角; φ 为导弹俯仰角。

根据上面建立的运动模型编写程序,可以得到反舰导弹的运动轨迹及姿态等。为了模拟反舰导弹在真实环境中的作战情况,在模拟程序中还加入了气动偏差模型程序及风干扰模型程序,从而可以模拟多种作战环境对反舰导弹制导控制系统的影响。

2.2 红外三维场景模型

红外三维场景的产生,首先根据仿真目标的几何外形和红外辐射特性,利用三维建模软件建立红

外三维模型,生成多边形文件。红外三维模型中红外纹理的灰度起伏反映的是物体表面红外辐射值的空间分布情况。一般对红外辐射的计算都是通过普朗克公式实现的。而对辐射值的研究又主要集中在对物体表面温度场分布的研究,满足物体实际的温度场分布一定程度上决定了红外纹理的客观真实性,而纹理细节是在整体特性上进行微观调制。所以在对模型表面的温度分布场进行研究时,将温度场分为两部分:一部分是由物体的固有属性决定的宏观均值温度;另一部分是由对应的可见光纹理(或实测反演数据)决定的微观纹理特征。

通常情况下目标可以认为是灰体或是不同灰体的组合,而灰体的反射是漫反射,发射是漫发射的,其辐射亮度与辐射出射度存在如下关系式

$$L = \frac{M}{\pi} \quad (6)$$

式中, L 为目标辐射亮度; M 为目标辐射出射度。灰体的辐射出射度为

$$M = \varepsilon M_b \quad (7)$$

根据普朗克辐射定律,对于黑体,其辐射出射度为

$$M_b = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1} d\lambda \quad (8)$$

式中, M_b 为黑体辐射出射度; λ 为波长; C_1 为第一辐射常量= $3.742 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$; C_2 为第二辐射常量= $1.43882 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$; T 为黑体表面温度; ε 为灰体的发射率。

由式(6)、式(7)、式(8)可得

$$L = \varepsilon \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{C_2/\lambda T} - 1} d\lambda / \pi \quad (9)$$

由式(9)可以看出,目标各部分辐射亮度与目标的温度场及发射率相对应。得到了这个对应关系,通过比较模型的最高温度和最低温度,解算出模型中各种材质的灰度等级,作为制作红外纹理的一个依据。

红外三维模型建模后,利用实时视景仿真软件Vega调用三维模型,对三维模型进行实时渲染。在这部分,还要考虑各种目标以及观察者的运动状态,对场景中的静态及动态目标进行实时模拟;还要读取气象条件数据,使用封装成动态链接库的大气吸收、大气散射、大气湍流等大气传输效应数据。输出图像经过修正后,得到三维红外外场景图像。

2.3 数据库模型

数据库模型包括综合基础数据库和数据库管理系统。其中综合基础数据库存储的是仿真过程各个阶段产生的数据,包括想定数据、作战过程数据、作战结果数据以及各种模型等。数据库管理系统具有典型的数据存储、查询、修改、统计等功能。数据库模型可以动态地为整个仿真系统提供试验数据的调用与存储,支撑各种仿真试验以及效能评估,其中数据存储是通过ODBC驱动器的标准接口和关系数据库标准语言SQL存储在Oracle8.1.17数据库系统中。

ODBC是为客户端应用程序访问关系数据库时提供的一个标准接口,对不同的数据库,ODBC提供了一套统一的API,使得应用程序可以应用所提供的API,访问任何关系提供了ODBC驱动程序的数据库,而且,由于ODBC已经成为一种标准,所以现在几乎所有的关系数据库都提供了ODBC的驱动程序,从而使得ODBC应用更加广泛。SQL是一种介于关系代数与关系演算之间的结构化查询语言,它是一个综合的、功能极强同时又简捷易学的语言。SQL语言集数据查询(data query)、数据操作(data manipulation)、数据定义(data definition)和数据控制(data control)功能于一体,它具有综合统一、高度非过程化、面向集合的操作方式、以同一种语法结构提供两种使用方式和语言简捷等特点。Oracle8.1.17是Oracle公司开发研制的产品,Oracle的面向对象特征将面向对象的对象引入到关系型数据库中,使Oracle成为混合型的对象-关系型数据库。

为满足对系统管理的需求,系统应具备如下的数据库表:用户登录表、文件属性表、实验数据分类表、数据类型表、系统表、实验数据明细表等多种表。在数据库系统的开发过程中,必须注意代码、表和数据库列命名的标准化和规范化,这样用户能够对数据库的各种存储数据清晰明了,在使用过程中能够快速有效地对数据进行存储、查询和修改等。经系统运行测试,数据库系统的数据处理时间小于100 ms,数据存储空间达到200 M,能够满足仿真系统使用需求。

3 仿真系统工作流程

水面舰艇光电干扰仿真系统采用高层体系结

构HLA架构整个仿真系统,利用HLA提供的分布式仿真运行支撑软件RTI作为仿真系统的支撑,为系统提供一个仿真软件环境。RTI能够将符合仿真要求的对象连接起来,完成对象之间的交互、仿真时间的管理、数据的发送和接收等。系统利用模型编辑工具软件生成对象模型文件,利用规划生成方案软件生成执行方案。态势显示平台利用实时三维建模工具Creator与视景驱动软件Vega设计并开发,实现了一个地形复杂、运动实体多样、环境效果逼真的虚拟视景平台,该仿真平台可切换多种视点模式,提供了多种操纵界面,满足视景仿真需要。

系统根据仿真模拟的不同的光电干扰过程,制定相应的作战想定方案,运用相应的数学仿真模型,在作战仿真平台上对不同想定进行推演和验证,并对对抗效果进行评估,比较分析在不同条件下系统的作战能力。首先,根据舰艇所面临的作战环境、主要威胁类型及作战装备等条件,选择不同的光电干扰模型组件组成相应的威胁目标、保护目标、光电干扰装备等,通过人机交互进行想定设置,确定加入系统的装备模型;其次,利用仿真运行支撑软件作为仿真运行支撑,利用仿真控制软件对仿真过程进行控制,控制仿真启动、推进、暂停、结束等;最后,利用效能评估模型对仿真过程进行在线或离线的效能评估,检验系统的作战效能,得出系统作战效能指标并对其进行定性定量分析,对光电干扰装备作战能力进行评价。仿真系统工作流程如图2所示。

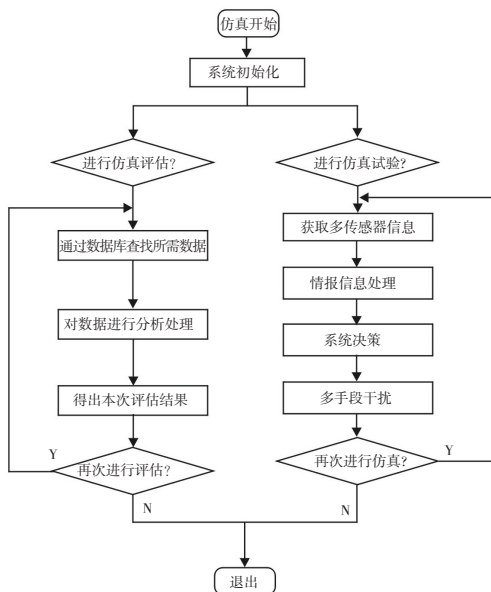


图2 仿真系统的工作流程图

4 仿真试验结果

基于以上仿真模型,建立了仿真试验系统,并进行了仿真试验。在没有光电干扰的情况下,反舰导弹导引头能够稳定跟踪目标,制导系统能够根据导引头指令调整飞行轨迹并击中目标。图3a~图3c给出了在无干扰条件下,导弹锁定、跟踪、击中舰船目标的过程。可以看出,导弹能够很好的锁定、跟踪目标,从而完成引导导弹击中目标的作战使命。无干扰条件下攻击目标过程及弹目关系如图3、图4所示。

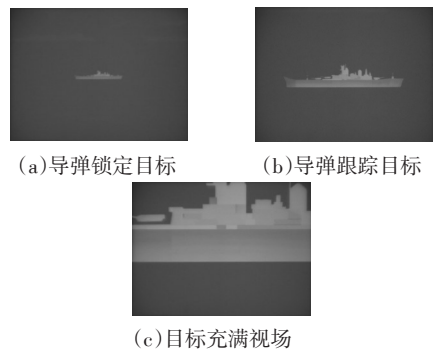


图3 无干扰条件下攻击目标过程

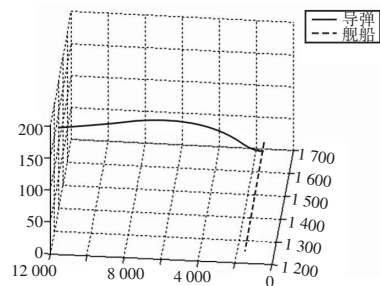


图4 无干扰条件下弹目坐标关系图

在干扰能量不是很大的情况下,在远距离产生的光斑很难将大目标遮蔽,反舰导弹脱靶信息偏差不大,跟踪比较稳定,命中目标几率很大。有干扰条件下攻击目标过程及弹目关系如图5、图6所示。

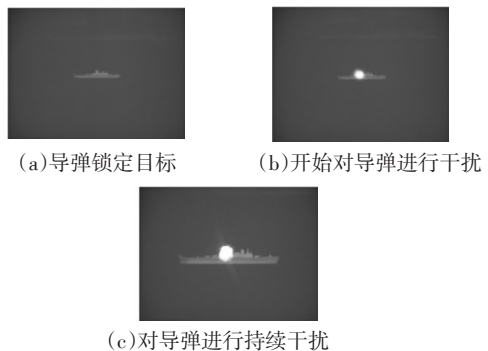


图5 有干扰条件下攻击目标过程

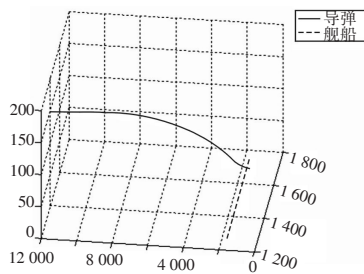


图6 有干扰条件下弹目坐标关系图

干扰功率达到一定程度情况下,在远距离产生的光斑能够遮蔽目标图像,造成反舰导弹脱靶信息偏差很大,比较容易产生脱靶信息很大的情况。干扰能量较大情况下攻击目标过程及弹目关系如图7、图8所示。

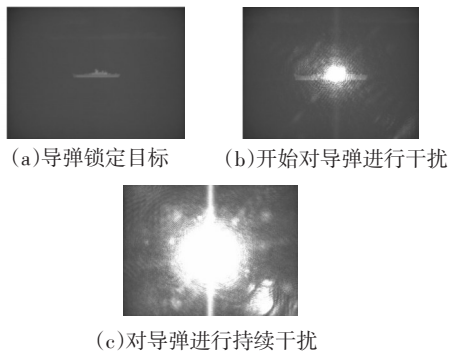


图7 干扰能量较大情况下攻击目标过程

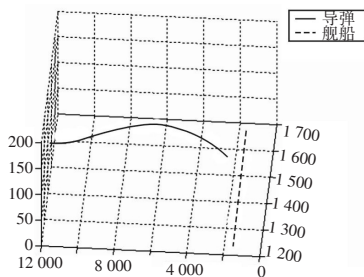


图8 干扰能量较大条件下弹目坐标关系图

对比以上试验数据可以看出,当干扰功率达

到一定程度后,能够影响导弹对目标的跟踪过程,从而使导弹偏离攻击目标,导致导弹命中概率的降低。

5 结 语

从仿真系统组成、模型建模、工作流程等方面介绍了一种水面舰艇光电干扰仿真系统的仿真方法。该系统的优点是系统中使用的各种数学模型和软件模块通用性较好,可以产生各种海战场环境下编队作战预案,从而可以为水面舰艇对抗部队提供良好的操作平台,适合舰艇的作战训练。

参考文献

- [1] 郭齐胜,董志明,李亮,等. 系统建模与仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2007: 667-672.
- [2] 毕义明,刘良,刘伟,等. 军事建模与仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2009: 179-202.
- [3] 钱杏芳,林瑞雄,赵亚男. 导弹飞行力学[M].北京:北京理工大学出版社,2008:28-48.
- [4] 黎铁冰,黄高明,饶德虎. 舰艇编队电子对抗系统仿真研究[J]. 计算机仿真,2009,26(11):10-13.
- [5] 陈旗,蒋贵银,宋士琼,等.水面舰艇编队电子对抗仿真系统研究[J]. 舰船科学技术,2010,32(6):27-31.
- [6] 李鹏,胡炎.反舰导弹典型运动建模与仿真[J].计算机仿真,2010(5).
- [7] 刘剑威,吴传利,徐国亮. 反舰导弹典型攻击模式及运动仿真研究[J]. 指挥控制与仿真,2006(10).
- [8] 李俊山,王蕊,李建军. 三维视景仿真可视化建模技术[M]. 北京:科学出版社,2011:156-165.
- [9] 刘兴堂.导弹制导控制系统分析、设计与仿真[M]. 西安:西北工业大学出版社,2006:344-354.
- [10] 陈琪锋,孟云鹤,陆宏伟.导弹作战应用[M]. 北京:国防工业出版社,2014:344-354.