

doi: 10.7690/bgzdh.2015.07.010

分布式航空成像仿真及评估系统

康 圣¹, 崔麦会¹, 陈文青^{1,2}

(1. 海军装备研究院, 北京 102249; 2. 复杂舰船系统仿真重点实验室, 北京 100073)

摘要: 针对航空成像系统外场试验周期长、成本大、实验条件不可控等问题, 设计一种分布式航空成像仿真及评估系统。从系统总体需求分析入手, 得出主要功能需求和技术框架, 然后设计了仿真系统功能模块, 重点对航空成像系统指标评价算法进行了设计。研究表明: 该仿真成像技术能够有效降低航空成像系统的研发和外场试验成本, 克服时间、环境、地域等因素的限制, 从而提高系统的方案论证、设计、测试、评估和应用效率。

关键词: 建模与仿真; 分布式仿真系统; 航空成像仿真及评估系统

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Distributed Simulation and Evaluation System of Aerial Imaging System

Kang Sheng¹, Cui Maihui¹, Chen Wenqing^{1,2}

(1. Navy Academy of Armament, Beijing 102249, China;

2. Science & Technology on Complex Ship Systems Simulation Laboratory, Beijing 100073, China)

Abstract: Considering uncontrolled experimental condition, high costs and long term period, it is not convenient to take outfield experiment for aerial imaging system. In allusion to these difficulties, a distributed simulation and evaluation system of aerial imaging system was designed. First, the total needs analysis was analyzed, and then the main function requirements and the technology frame were discussed. Second, the system function module was designed. In the end, the index-evaluation system of aerial imaging system was discussed. The results indicate that this distributed simulation and evaluation system can decrease the cost between development and outfield experiment and conquer the experiment condition restriction. Utilizing this system, we can improve the efficiency of scheme demonstration, design testing and evaluation for aerial imaging system.

Keywords: modeling and simulation; distributed simulation system; simulation and evaluation system of aerial imaging

0 引言

航空成像系统在方案论证、系统设计、设备集成和评价过程中, 往往需要不断对其进行性能测试和评估。若直接对航空成像系统进行现场试验往往会耗费大量的时间和资源, 难以满足研制过程中的技术攻关和进度要求。以分布式仿真技术、目标光学辐射计算理论、光学辐射传输理论和视景仿真技术为基础, 利用虚拟现实技术能够完整再现成像链的各个环节, 实时仿真动态目标、背景、飞行平台和成像探测器状态并输出仿真图像, 能够有效缩短航空成像系统研发周期、降低研发成本, 克服时间、环境、地域的限制, 提高系统方案论证、设计、测试、评估和应用的效率。因此, 笔者对分布式航空成像仿真及评估系统进行设计研究。

1 航空成像仿真系统总体设计

1.1 系统总体要求

分布式航空成像仿真及评估系统是一个全数字仿真系统, 其主要研究对象是航空可见光、红外成像系统。通过构建目标的三维模型、大气光学传输模型、背景环境模型、飞行平台模型、可见光及红

外成像系统模型, 利用基于物理模型的视景仿真软件可以完整再现成像链的各个环节并形成目标的仿真图像, 其组成框架见图 1^[1-3]。通过仿真成像, 进而可为航空成像系统的论证、设计、测试、评估和应用提供技术支撑。此外, 系统还要充分考虑模型的可重用性和可扩展性, 为此笔者采用分布式仿真技术, 对模型进行顶层设计与规划, 以便于与其他仿真系统有效对接。

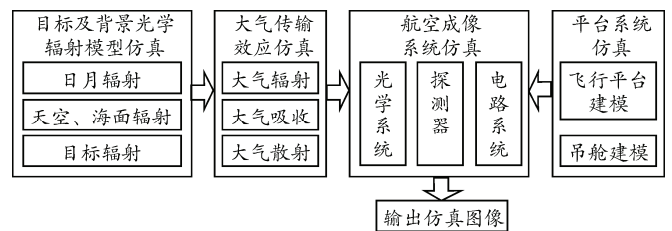


图 1 基于成像链的航空成像仿真系统组成

1.2 系统主要功能要求

1) 具备海洋环境下航空平台建模功能; 2) 具备红外/可见光数字型成像传感器建模功能; 3) 具备对舰船目标进行材质分类及光学辐射特性的建模能力; 4) 可实现在不同气象条件、航空平台运动参数、姿态以及成像传感器参数条件下, 三维舰船目

收稿日期: 2015-03-12; 修回日期: 2015-04-30

作者简介: 康 圣(1981—), 男, 河南人, 博士, 工程师, 从事光电技术、激光雷达、建模与仿真、体系设计与分析研究。

标的航空可见光、红外成像仿真；5) 具备海洋环境下航空成像装备指标的评估的功能。

1.3 系统总体技术框架

如图 2 所示，分布式航空成像仿真及评估系统构成软件从所要实现的功能上，可分为以下 3 大类。

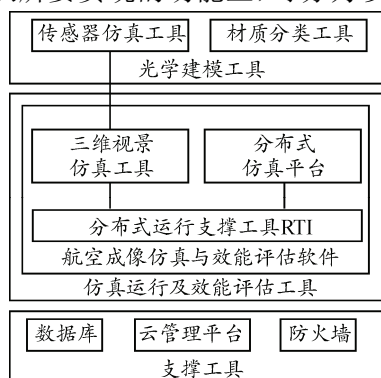


图 2 分布式航空成像仿真系统技术框架

第 1 类是光学建模工具。包括材质分类和传感器仿真工具，分别用于完成典型舰船目标的三维模型纹理的材料分类、可见光/红外两类传感器的建模及与成像质量直接相关的大气光学传输特性建模，进而为后续的视景仿真运行提供相关模型的支撑。

第 2 类是仿真运行及指标评估工具。包括三维视景仿真工具、分布式运行支撑工具 (RTI) 以及航空成像与效能评估软件。航空成像与效能评估软件是根据航空成像装备仿真及效能评估的需要，在分布式仿真平台、三维视景仿真工具基础上进行开发

的。在仿真运行前，首先需要以分布式运行支撑工具为基础建立分布式仿真平台软件与三维视景仿真软件之间的 HLA 通信协议接口^[4]，同时建立舰船目标的动力学模型、舰船目标几何特征模型、航空飞行平台动力学模型、通信传输模型、效能评估模型。然后，根据实际的仿真需求，完成仿真想定并根据需要开展实验设计。

在仿真运行中，整个分布式航空成像仿真系统以想定和动力学模型为驱动，以三维视景显示为输出工具，将仿真系统所获得的图像实时展示，同时通过 HLA 接口将实时捕获到的目标图像传输给效能评估软件进行指标评估和记录。在整个仿真实验结束后，可利用分布式仿真平台具备的仿真数据回放和分析工具对仿真结果进行回放和分析评估。

第 3 类为数据库和环境支撑软件。具体来说，为数据库软件和云计算平台，该部分对系统的建模、仿真、运行与评估提供数据和云环境的支撑。

2 仿真系统功能模块设计

航空成像仿真及评估系统由目标光学辐射建模、航空成像装备建模、海洋环境仿真、航空成像装备评估等功能模块构成。其中建模工具、想定编辑、实验设计、运行控制、综合显示、记录回放等功能由分布式仿真开发平台支撑。依托数据库、云计算环境、综合展示环境，完成海洋环境下的航空成像装备的建模与实验评估，系统功能组成如图 3。

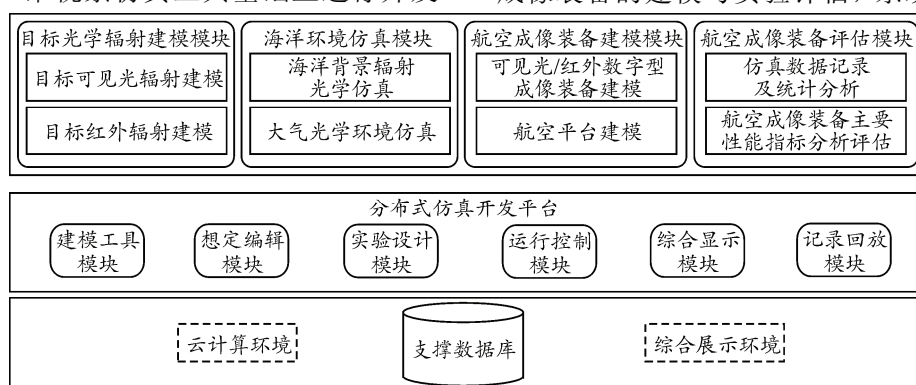


图 3 分布式航空成像仿真分系统功能组成图

2.1 目标光学辐射建模模块

目标光学辐射建模模块主要基于现有的材质分类软件，在目标三维模型基础上完成典型目标的三维纹理的材质分类并完成目标的可见光/红外辐射建模，为后续可见光/红外仿真图像输出提供支撑。

2.2 海洋环境仿真模块

海洋环境仿真模块包括海洋背景辐射光学仿真

模块及大气光学环境仿真模块。

海洋背景辐射光学仿真模块主要基于材质分类软件完成海洋背景的材质分类及辐射建模。大气光学环境仿真模块以视景仿真软件为主利用 MODTRAN4.0 大气光学传输模型，为海洋环境下的航空成像仿真提供多种影响成像质量的大气参数，包括：烟、霾、雪、雨和雾等。同时，用户可根据季节、能见度、风速、降水率等参数设置环境参数，

完成大气光学环境仿真。

2.3 航空成像装备建模模块

航空成像装备建模模块主要包括:可见光/红外数字型成像装备建模和航空平台建模 2 个模块。

可见光/红外数字型成像装备建模模块基于物理级的成像建模工具,综合考虑成像光学系统参数,传感器参数,传感器外围电路等的影响,建立可见光/红外成像装备的模型。航空平台建模模块基于分布式仿真平台以及视景仿真工具完成典型的航空飞行平台的飞行动力学模型。

综合考虑海洋环境模型、可见光/红外成像装备模型及航空平台运动状态等的影响,完成航空可见光、红外成像装备在不同条件下对目标的成像仿真。

2.4 航空成像装备评估模块

航空成像装备评估模块主要完成成像传感器地面像元分辨率、收容宽度、最大覆盖范围、目标及识别概率等战技指标的评估。

2.4.1 地面像元分辨率

地面像元分辨率指标主要依据实际飞行平台参数及成像条件,利用公式 (1) 实时计算在不同仿真时刻的地面像元分辨率值。

$$R = \frac{b \cdot L}{f} \quad (1)$$

其中: b 为探测器像元尺寸; L 为照相距离; f 为镜头焦距。

2.4.2 收容宽度

成像系统收容宽度 W 可由下式实时进行计算:

$$W = \{\tan(90^\circ - \theta_0 + \alpha_h) - \tan(90^\circ - \theta_0)\}H \quad (2)$$

式中: H 为飞行高度; α_h 为横向视场角; θ_0 为俯角初始值。

其中的横向视场角 α_h 依据下式进行实时计算。

$$\alpha_h = 2 \arctan \frac{N \times b [\rho_1 + n(1 - \rho)]}{2f} \quad (3)$$

式中: N 为横向像元数; n 为照相幅数; ρ 为横向重叠率; b 为探测器像元尺寸。

2.4.3 最大覆盖范围

最大覆盖范围指标根据飞行平台的最大航程及系统最大收容宽度计算,其计算公式见下式:

$$S_{\max} = W_{\max} \cdot D_{\max} \quad (4)$$

式中: S_{\max} 为最大覆盖范围; D_{\max} 为最大航程; W_{\max} 为最大收容宽度。

2.4.4 目标发现及识别概率

在目前各种成像系统中,判断观察等级大多采用约翰逊识别准则。约翰逊提出了观察等级与可分辨周期数的关系,如表 1 所示,此时的观察(包括发现、识别、认清)概率 $P(N_{50})$ 为 50%^[5-6]。

表 1 判断观察等级的约翰逊准则

观察等级	含义	所需线对数
发现	在视场内发现目标	1±0.25
识别	能确定目标的属性,如舰船、坦克、人等	4±0.8
认清	能确定目标的型号,如驱逐舰、护卫舰、M1 坦克等。	6.4±1.5

在确认某目标在海洋背景下在某一距离下的发现概率以及识别概率时,根据目标所成图像确认可分辨线对数 N_p 。根据式 (5)、式 (6),并参照表即可计算出在该距离下目标的发现概率 $P_D(N_p)$ 及识别概率 $P_R(N_p)$ 。

$$P(N_p) = \frac{\left(\frac{N_p}{N_{50}}\right)^E}{1 + \left(\frac{N_p}{N_{50}}\right)^E} \quad (5)$$

$$E = 2.7 + 0.7 \times \left(\frac{N_p}{N_{50}}\right) \quad (6)$$

3 重点指标的实验评估设计

在所有评估指标中对于发现概率、识别概率 2 项指标的计算,由于该指标的计算涉及目标自动检测、数字图像滤波等算法,其算法的好坏直接影响这 2 项指标的计算结果,此外在评估算法中嵌入这些算法无形中加剧了计算的复杂度,降低了计算的时效性,若成像视场中无目标会白白浪费大量的计算资源^[7]。

因此,在评估这 2 项指标时,利用目标坐标、飞行平台坐标、成像装备视场、目标几何尺寸等已知条件,判断目标是否能够形成弱目标图像,以此来触发视频、图像采集及评估工作。在评估计算处理采集图像数据时,根据目标位置信息、二维几何尺寸信息设置波门,根据波门内图像信息进行滤波、检测,并根据约翰逊准则进行指标的计算。其基本计算流程如图 4 所示。